

## Construção e Meio Ambiente



Editores

**Miguel Aloysio Sattler**

**Fernando Oscar Ruttkay Pereira**

A série **Coletânea Habitare** é um dos canais de disseminação do conhecimento produzido com o apoio do Programa de Tecnologia de Habitação. Financiado pela Finep e Caixa Econômica Federal desde 1994, o Habitare vem direcionando recursos para o desenvolvimento de pesquisas no campo da habitação de interesse social. O objetivo de diferentes produtos publicados pelo Programa como esta Coletânea, que chega ao sétimo volume, é disponibilizar os resultados dessas pesquisas.

A Coletânea Habitare reúne artigos em livros temáticos. As edições estão organizadas em trabalhos de autoria dos coordenadores das pesquisas e seus colaboradores, apresentando propostas e resultados dos estudos financiados pelo Programa Habitare.

Inserção urbana e avaliação pós-ocupação; inovação e gestão da qualidade e produtividade; normalização e certificação; utilização de resíduos na construção; processo de gerenciamento do mutirão, assim como inovação tecnológica na habitação, são temas já abordados. Este sétimo volume da Coletânea trata da relação da construção e o meio ambiente. Assim como os demais volumes da Coletânea e de outras séries publicadas com apoio do Programa Habitare, está disponível para *download* gratuito no portal [www.habitare.org.br](http://www.habitare.org.br)

Grupo Coordenador do Programa de Tecnologia de Habitação - Habitare



# Construção e Meio Ambiente

Coletânea HABITARE

Volume **7**

Editores

**Miguel Aloysio Sattler**  
**Fernando Oscar Ruttkay Pereira**

2006

Porto Alegre



© 2006, Coletânea HABITARE

**Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC**

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar - Centro  
90035-190 - Porto Alegre - RS  
Telefone (51) 3316-4084  
Fax (51) 3316-4054  
<http://www.antac.org.br/>

**Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP**

Presidente: **Odilon Antonio Marcuzzo do Canto**  
Diretoria de Inovação para o Desenvolvimento  
Econômico e Social

**Eliane de Britto Bahruth**

Diretoria de Administração e Finanças

**Fernando de Nielander Ribeiro**

Diretoria de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
**Carlos Alberto Aragão Carvalho Filho**

**Grupo Coordenador Programa HABITARE**

Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP  
Caixa Econômica Federal - CAIXA  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e  
Tecnológico - CNPq  
Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Ministério das Cidades  
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente  
Construído - ANTAC  
Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas  
Empresas – SEBRAE  
Comitê Brasileiro da Construção Civil da Associação  
Brasileira de Normas Técnicas - COBRACON/ABNT  
Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC  
Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em  
Planejamento Urbano e Regional - ANPUR

**Apoio Financeiro**

Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP  
Caixa Econômica Federal - CAIXA

**Editores da Coletânea HABITARE**

Roberto Lamberts - UFSC  
Carlos Sartor - FINEP

**Equipe Programa HABITARE**

Ana Maria de Souza  
Angela Mazzini Silva

**Editores do Volume 7**

Miguel Aloysio Sattler  
Fernando Oscar Ruttkey Pereira

**Texto da capa**

Arley Reis

**Revisão**

Giovanni Secco

**Projeto gráfico**

Regina Álvares

**Editoreção eletrônica**

Amanda Vivan

**Imagens da capa**

.....

**Fotolitos, impressão e distribuição**

Prolivros Ltda.  
[www.prolivros.com.br](http://www.prolivros.com.br)

**Catálogo na Publicação (CIP).**

**Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).**

C764

Construção e Meio Ambiente / Editores Miguel Aloysio Sattler [e] Fernando Oscar Ruttkey Pereira. — Porto Alegre : ANTAC, 2006. — (Coleção Habitare, v. 7)

296 p.

ISBN 85-89478-14-9

1. Construção. 2. Meio ambiente. I. Miguel Aloysio Sattler. II. Fernando Oscar Ruttkey Pereira. III. Série

CDU 69:658

## Sumário

1. Introdução _____	4
Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttkay Pereira	
2. Durabilidade de componentes da construção _____	20
Vanderley M. John e Neide Matiko Nakata Sato	
3. Impacto ambiental das tintas imobiliárias _____	58
Kai Loh Uemoto, Paula Ikematsu e Vahan Agopyan	
4. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil _____	96
Sebastião Roberto Soares, Danielle Maia de Souza e Sibeli Warmling Pereira	
5. Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida _____	128
Doris C. C. K. Kowaltowski, Lucila C. Labaki, Silvia A. Mikami G. Pina, Vanessa Gomes da Silva, Daniel de Carvalho Moreira, Regina C. Ruschel, Stelamaris Rolla Bertoli, Edison Fávero e Lauro L. Francisco Filho	
6. Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização _____	168
Vanderley M. John, Sérgio C. Ângulo e Henrique Kahn	
7. Gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social: foco na gestão de requisitos do cliente e no projeto do sistema de produção _____	208
Fernanda Lustosa Leite, Fábio Kellermann Schramm e Carlos Torres Formoso	
8. Sistema de avaliação de fornecedores de materiais e componentes na indústria da construção civil – integração das cadeias produtivas _____	240
Margaret Souza Schmidt Jobim e Helvio Jobim Filho	
9. Projetos HABITARE/FINEP, equipes e currículos dos participantes _____	278

# COLETÂNEA HABITARE

1.

4

# 1. Introdução

Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttkay Pereira

**E**ste volume da Coletânea Habitare reúne os principais resultados dos projetos de pesquisa na área de Tecnologia da Habitação, contemplados com recursos da FINEP/FNDCT e do CNPq. Os projetos foram viabilizados pelo Programa Habitare, em seu Edital IV, lançado em 2000, que contemplou as seguintes Linhas de Ação: **Inovação Tecnológica, Construção e Meio Ambiente e Procedimentos Inovadores em Gestão Habitacional para População de Baixa Renda.**

Neste volume são referidos especificamente os projetos ligados à Linha de Ação em **Construção e Meio Ambiente**, que tem como objetivos específicos:

- a) o desenvolvimento de métodos de avaliação do impacto ambiental dos materiais e das tecnologias destinados à construção civil;
- b) o desenvolvimento de diretrizes de projeto e operação visando ao uso racional da energia na habitação;
- c) o desenvolvimento de tecnologias de baixo impacto ambiental; e
- d) a elaboração de propostas de políticas públicas para incentivar a reciclagem de resíduos e a redução do impacto ambiental.

Os projetos apoiados neste Edital estão relacionados às Linhas Temáticas de **Impactos Ambientais da Habitação**, incluindo **Materiais e Componentes** e considerando as **Cadeias Produtivas, Tecnologias de Reciclagem e Redução de Perdas na Construção**.

A importância dessa Linha de Ação do Programa Habitare é assinalada em inúmeros documentos, entre os quais o Relatório do CIB, que em sua publicação nº 237 (2000) aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, determinando impactos ambientais que devem ser motivo de preocupação a todos os envolvidos nas inúmeras cadeias produtivas envolvidas.

Tão preocupantes quanto os impactos associados ao consumo de matéria (em seus estados sólido, líquido e gasoso) e energia são aqueles resultantes dos resíduos gerados (também na forma sólida, líquida e gasosa), assim como a qualidade do ambiente que se proporciona às gerações atual e futuras. Tais aspectos ambientais sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

Dentro desse enfoque, os desafios para todos aqueles envolvidos nesse setor, visando às futuras gerações, poderiam ser traduzidos em estratégias sintetizadas da seguinte forma:

- a) reduzir e otimizar o consumo de materiais e energia;
- b) reduzir os resíduos gerados; e
- c) preservar e, na medida do possível, melhorar a qualidade do ambiente natural e construído.

**Reduzir e otimizar o consumo de materiais e energia** pode ser traduzido em inúmeras ações, entre as quais: o planejamento ambiental de construções; a adoção de estratégias bioclimáticas em projetos de edificações; a redução na utilização

de recursos materiais e energéticos escassos; o incentivo à utilização de materiais com menor conteúdo energético; o incentivo ao uso de fontes energéticas sustentáveis na produção de materiais e na produção e uso de edificações; e o desenvolvimento de materiais e componentes de maior durabilidade.

**Reduzir os resíduos gerados** implica o desenvolvimento de projetos que contemplem o desmonte e reúso de materiais e componentes, a reciclagem de resíduos de materiais e componentes não reutilizáveis e o incentivo ao uso de materiais e componentes que gerem menos resíduos, sólidos e gasosos.

**Preservar e melhorar a qualidade do ambiente natural e construído** significa: a) desenvolver projetos de construções e urbanísticos voltados à qualidade de vida que contemplem, em primeiro lugar, o ser humano, com preservação dos sistemas de suporte da vida; b) evitar o uso de materiais e componentes que em seu ciclo de vida coloquem em risco a saúde ou a segurança do ser humano; c) priorizar o desenvolvimento de edificações e comunidades sustentáveis e, tanto quanto possível, auto-sustentáveis; e d) na medida do possível, banir a utilização de produtos tóxicos, nocivos à saúde humana ou, na sua impossibilidade imediata, estabelecer estratégias para a sua redução gradativa.

Evidentemente, a superação de tais desafios requer uma educação para a sustentabilidade, que gradualmente seja estendida a toda a sociedade e que priorize os princípios éticos. Para a implementação de tais ações, todos os participantes das cadeias produtivas associadas à produção do ambiente construído (que envolvem projetistas, produtores de materiais, componentes e sistemas construtivos, construtores, etc.) necessitam se conscientizar da dimensão dos impactos que podem causar, para então atuar em estreita cooperação no desenvolvimento de uma **Construção** em harmonia com o **Meio Ambiente**.

Muitos autores prevêem o aumento da responsabilidade por parte dos fabricantes, que acompanharão de perto seus produtos, da matéria-prima até a entrega, aumentando a pressão para que sejam desenvolvidos novos materiais, utilizando materiais não-escassos, renováveis ou reciclados, de preferência locais, que requeiram menos transporte (em consequência, consomam menos energia e minimizem emissões); sistemas que facilitem o desmonte e a reutilização; ferramentas de projeto capazes de prognosticar e orientar o aumento da vida útil de materiais, componentes e sistemas construtivos; e uma nova logística objetivando menores impactos ambientais.

Os projetos de pesquisa contemplados no edital em foco, particularmente na linha de Ação em **Construção e Meio Ambiente**, descritos neste livro, possibilitam avanços em diversas direções. Nos capítulos são apresentadas as principais contribuições e conclusões de projetos desenvolvidos nas três linhas temáticas. Os Capítulos 2 a 5 relatam estudos focados na linha temática **Impactos Ambientais da Habitação**, incluindo **Materiais e Componentes** e considerando as **Cadeias Produtivas**.

O projeto **Estruturação de Rede Nacional de Estações de Envelhecimento Natural para Estudos da Durabilidade de Materiais e Componentes de Construção Civil**, apresentado no Capítulo 2, implantou, opera e tem disponibilizado à comunidade técnica, acadêmica ou industrial uma rede de quatro estações de envelhecimento natural, constituídas por estações identificadas a climas significativamente distintos, localizadas nas cidades de São Paulo, Rio Grande, Belém e Pirassununga. O projeto busca, pois, conhecer as transformações que os materiais sofrem quando expostos às diferentes solicitações do clima e de contaminantes, que afetam a sua **durabilidade**, complementando e esclarecendo os resultados de métodos tradicionais de envelhecimento acelerado. O projeto possui, adicionalmente, uma grande importância econômica, já que a degradação de materiais e componentes exige dispendiosas atividades de manutenção e limita a vida útil das construções.

Este projeto persegue e aprofunda uma linha de investigação iniciada em um projeto de pesquisa anterior, **Mapeamento Geográfico dos Agentes de Degradação dos Materiais**, coordenado por Lima e Morelli (2003), também viabilizado pelo Programa Habitare, e que teve por objetivo elaborar, para todo o território nacional, mapas de agressividade ambiental relacionados com a degradação dos materiais de construção.

O Capítulo 3 apresenta o projeto **Impacto Ambiental das Tintas Imobiliárias**, que visou levantar e fornecer critérios ecológicos às indústrias nacionais de tinta, de modo a minimizar o seu impacto ambiental. O projeto busca, desse modo, subsidiar as indústrias para que elas possam se adequar aos teores de compostos orgânicos voláteis (VOC), definidos como *qualquer composto orgânico que participa de reações fotoquímicas na atmosfera, que contribuem para a poluição atmosférica, afetando a saúde do trabalhador durante a fase de construção do edifício, como também reduzindo a qualidade do ar presente no interior do edifício, prejudicando a saúde dos usuários*, propostos internacionalmente, e, paralelamente, **conscientizar** o meio técnico sobre os efeitos da emissão desses compostos durante a execução da pintura e do uso do edifício. O projeto buscou, ainda, desenvolver a metodologia utilizada para identificar e quantificar o VOC de tintas látex, esmalte sintético, vernizes e solventes, e apresentar os resultados preliminares obtidos no estudo.

As análises realizadas no projeto mostraram que os produtos usados na pintura de edifícios, como as tintas látex, vernizes, esmaltes sintéticos e solventes, contêm na sua composição uma mistura de solventes (VOCs), alguns com mais de 60 substâncias. Algumas das substâncias encontradas comprometem a **qualidade do ar** no interior de edifícios, gerando problemas identificados como a Síndrome de Edifícios Doentes (SED). Tais substâncias são consideradas **nocivas à saúde** das pes-

soas. Outras substâncias, sensíveis fotoquimicamente, contribuem para a **formação do ozônio da troposfera**, considerado um dos principais poluentes atmosféricos.

O projeto Análise do Ciclo de Vida de Produtos (Revestimentos, Blocos e Telhas) do Setor Cerâmico da Indústria da Construção Civil, apresentado no Capítulo 4, sob o título **A Avaliação do Ciclo de Vida no Contexto da Construção Civil**, analisou os aspectos ambientais relacionados à produção de pisos e tijolos cerâmicos em quatro empresas localizadas no estado de Santa Catarina. Os autores, em sua análise, adotam como estrutura básica para o estudo o processo produtivo (a fábrica) de pisos e tijolos, valendo-se da ferramenta da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), adotando como categorias de impacto: o consumo de matéria-prima (argila); o uso de água; o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis (óleo diesel, gás natural e carvão mineral); a degradação de áreas pela disposição de resíduos; o aquecimento global (resultante de emissões de CO e CO<sub>2</sub>); e a acidificação e o prejuízo à saúde humana (em função de emissões de NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>). Os autores destacam que os aspectos considerados no estudo enfatizam, essencialmente, a qualidade ambiental, não levando em conta a saúde e a segurança ocupacional, nem aspectos de qualidade de produto.

Os autores destacam o importante papel que a ACV vem assumindo nos processos de tomadas de decisões em empresas, e que a sua aplicação na avaliação ambiental de sistemas e elementos construtivos possibilita uma análise mais detalhada e crítica da etapa de especificação de materiais e a promoção de melhorias ambientais, que, muitas vezes, orientam as decisões econômicas nas diversas etapas do ciclo de vida do sistema considerado. Entretanto, também ponderam que a sua aplicação para a avaliação de impactos ambientais associados à construção civil apresenta diversas limitações, especialmente quando comparada à sua utilização no meio

industrial. Destacam, nesse particular, a dificuldade em obtenção de informações e bases de dados confiáveis e completas para os materiais utilizados no setor da construção civil, o que ocorre devido à grande variedade e composição química de materiais utilizados pelo setor e à própria dinâmica de alteração e renovação, à qual estão sujeitos os espaços arquitetônicos e o meio ambiente urbano.

O Capítulo 5 apresenta o projeto **Análise de Parâmetros de Implantação de Conjuntos Habitacionais de Interesse Social: Ênfase nos Aspectos de Sustentabilidade Ambiental e de Qualidade de Vida**.

O objetivo desse projeto de pesquisa foi o de estabelecer diretrizes de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social. O projeto se vale de técnicas e métodos empregados nos diagnósticos de Avaliação Pós-Ocupação (APO), amplamente abordados em volume específico da Coletânea Habitare (2002), aplicando-a a cinco conjuntos habitacionais localizados na cidade de Campinas, SP. A APO foi orientada por tópicos relacionados à qualidade espacial, morfológica, contextual, visual, perceptiva, social e funcional. O estudo resultou em **indicadores de qualidade de vida e diretrizes de implantação**.

Os autores do projeto concluem que é necessário repensar o processo de projeto de empreendimentos habitacionais de interesse social, indicando mudanças em três frentes: política, conceitual e programas de acompanhamento. Entendem que os resultados das pesquisas acadêmicas devem ser usados para estimular as políticas habitacionais a abandonar **as soluções defasadas e baseadas em quantidade, em detrimento da qualidade dos programas habitacionais**. Adicionam que a fase de projeto requer uma nova abordagem e uma análise sistemática para evitar a repetição de modelos inapropriados e que novos métodos de avaliação habitacional deveriam enfatizar os **indicadores de sustentabilidade e de qualidade de vida**.

Como terceiro e último passo, propõem que a população seja envolvida **de modo a participar ativamente** do processo de tomada de decisão dos projetistas e programas de acompanhamento, para ajustes das configurações físicas.

O Capítulo 6 descreve os resultados de um projeto inserido na linha temática **Tecnologias de Reciclagem**, tendo por título **Normalização do Uso de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição: Uso de Novas Técnicas de Fabricação**.

Esse projeto teve por objetivo o aperfeiçoamento da normalização para emprego de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), como **agregados reciclados** em concretos. O trabalho aprofunda um estudo prévio dos mesmos autores, Metodologia para Desenvolvimento de Reciclagem de Resíduos, publicado no Volume 4 da Coletânea Habitare (2003).

Para assinalar a importância de pesquisas associadas à reciclagem dos RCD, os autores referem que tais resíduos representam de 13% a 67%, em massa, dos resíduos sólidos urbanos, tanto no Brasil como no exterior, e cerca de duas a três vezes a massa de resíduos domiciliares. Os autores destacam que classificar o RCD mineral em resíduos de concreto, de alvenaria ou mistos não garante agregados reciclados com composição e propriedades físicas constantes, o que dificulta a sua inserção nos diversos setores de agregados. Os agregados graúdos de RCD reciclados são compostos de conteúdos distintos de massa, dentro dos intervalos de densidade, sendo uma mistura de subgrupos de agregados separados em faixas de massa específica aparente, o que influencia nas propriedades de resistência à compressão, módulo de elasticidade, retração, fluência e absorção de água dos concretos com eles produzidos.

Concluem, pois, que a massa específica aparente é um parâmetro de controle

de qualidade que pode ser facilmente empregado em **usinas de reciclagem**, para caracterizar os lotes de agregados de RCD reciclados, direcionando-os para os mercados em que serão mais competitivos.

Os Capítulos 7 e 8 se inserem na linha temática **Redução de Perdas na Construção**.

O projeto Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social: Modelo Integrado de Desenvolvimento de Produto e Gestão da Produção para Redução de Perdas, apresentado no Capítulo 7, teve por objetivo geral desenvolver um modelo de **gestão integrada de projeto e produção** para empreendimentos habitacionais de interesse social, enfatizando a redução de **perdas dos vários recursos** envolvidos na construção desses empreendimentos, tais como tempo, materiais, mão-de-obra, equipamentos e capital. O projeto desenvolvido aprofunda um projeto anterior, Alternativas para Redução dos Desperdícios de Materiais nos Canteiros de Obras, publicado no Volume 2 da Coletânea Habitare (2003).

Na presente publicação são apresentados os três principais resultados obtidos nos diversos estudos empíricos realizados ao longo do projeto de pesquisa. O primeiro é um Modelo Integrado de Gestão de Projeto e Produção em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (GEHIS), o Modelo GEHIS, que no entender dos autores é a principal contribuição do projeto. O segundo é o Modelo Descritivo do Processo de Desenvolvimento de Empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial (PAR), e o terceiro é o Modelo de Elaboração do Projeto do Sistema de Produção (PSP) em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social, que enfatiza a necessidade de **integração entre projeto e produção**, concebido a partir de um conjunto de princípios de gestão.

Finalmente, o Capítulo 8 descreve o projeto intitulado **Um Sistema de Avaliação de Fornecedores de Materiais e Componentes da Indústria da Construção Civil – Integração das Cadeias Produtivas**.

O objetivo da pesquisa foi o de propor critérios para seleção e avaliação de fornecedores de materiais e componentes integrantes da cesta básica do PBQP-H. Os pesquisadores consideraram um conjunto de 31 materiais e componentes, tendo, para a seleção e avaliação de fornecedores, efetuado um diagnóstico junto a 36 empresas construtoras do Rio Grande do Sul.

Os autores do projeto de pesquisa concluíram que, apesar do razoável patamar de desenvolvimento gerencial na amostra de empresas construtoras estudadas no estado do Rio Grande do Sul (incluindo as cidades de Porto Alegre, Santa Maria e Pelotas), com um elevado percentual de conhecimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade, uma das principais dificuldades dessas empresas está associada à **qualidade dos materiais de construção**. Concluem, ainda, os pesquisadores que a preocupação com os aspectos ambientais deve estar presente na etapa de projeto. Vários aspectos associados à **percepção e prática das questões ambientais**, por parte das empresas construtoras, são levantados e discutidos.

## Referências

CIB. **Agenda 21 para a construção sustentável**. Relatório. Publicação 237. São Paulo, 2000.

LIMA, M. G.; MORELLI, F. Mapeamento dos agentes de degradação dos materiais. In: ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos (Ed.). **Coletânea**

**Habitare: Normalização e Certificação na Construção Habitacional.**

ANTAC, 2003. p. 55-67.

ABIKO, Alex Kenya; ORNSTEIN, Sheila (Ed.). Coletânea Habitare/FINEP –

**Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de**

**Interesse Social.** FAUUSP, 2002. 373 p.

JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem

de resíduos. In: ROCHA Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley M. (Ed.). **Coletâ-**

**nea Habitare: Utilização de Resíduos na Construção Habitacional.**

ANTAC, 2003. p. 8-71.

AGOPYAN, V. et al. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos

canteiros de obras. In: FORMOSO, Carlos Torres; INO, Akemi (Ed.). **Coletâ-**

**nea Habitare: Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disse-**

**minação do Conhecimento na Construção Habitacional.** ANTAC, 2003. p.

225-249.

CONSTRUÇÃO E MEIO AMBIENTE: DIAGNÓSTICO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA HABITAÇÃO, INCLUINDO MATERIAIS E COMPONENTES CONSIDERANDO AS CADEIAS PRODUTIVAS - 4 PROJETOS				
Título do projeto	Análise de Parâmetros de Implantação de Conjuntos Habitacionais de Interesse Social: Ênfase nos Aspectos de Sustentabilidade Ambiental e de Qualidade de Vida	Análise do Ciclo de Vida de Produtos (Revestimentos, Blocos e Telhas) do Setor Cerâmico da Indústria da Construção Civil	Impacto Ambiental das Tintas Imobiliárias	Impacto Ambiental das Tintas Imobiliárias
Coordenador e instituição executora	Doris Catharine Cornelle Knatz Kowaltowski UNICAMP/DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	Sebastião Roberto Soares UFSC/DEPTº DE ENGª SANITÁRIA E AMBIENTAL	Vahan Agopyan Kai Loh Uemoto EPUSP/ DEPTO DE ENGA. DE CONSTRUÇÃO CIVIL	Vanderley Moacyr John PCC/USP
Recursos financeiros				
Ênfase metodológica	Avaliação Pós-Ocupação	Análise de Ciclo de Vida	Análises laboratoriais	Implantação de infra-estrutura e criação de bancos de dados
Objetivos	- Criar diretrizes que possibilitem o aumento da qualidade de vida e qualidade global dos empreendimentos habitacionais voltados à habitação de interesse social	Realizar diagnóstico de impactos ambientais, através da análise do ciclo de vida, de produtos cerâmicos (materiais estruturais e de revestimento) em indústrias do Estado de Santa Catarina, visando a consolidação e difusão de métodos, técnicas e ferramentas capazes de gerar dados qualitativos e quantitativos para a análise e hierarquização de impactos ambientais neste setor da indústria da construção.	- Levantar e fornecer critérios ecológicos às indústrias de tinta para que estas possam adequar os teores de componentes orgânicos voláteis (VOC) e de substâncias tóxicas (biocidas e pigmentos anticorrosivos) em tintas imobiliárias de modo a minimizar o impacto ambiental.	- Implantar infra-estrutura para estudo da durabilidade de materiais e componentes de edificações, nas condições climáticas brasileiras, possibilitando o desenvolvimento tecnológico de produtos existentes e a produção de novos materiais e componentes de construção. - Desenvolver e normalizar métodos de exposição ao envelhecimento natural para estudo de materiais orgânicos e não metálicos. - Aplicar os métodos na avaliação de materiais expostos ao envelhecimento natural
Entidades participantes	FUNCAMP/UNICAMP/ DCC(SP)	UFSC; ENS-LARESO (SC) e FAPEU	FUSP; EPUSP; IQ-USP; UFRGS/ICB e USP/UFGA (SP)	FUSP; EPUSP; UFGA e FURG

<p>Resultados Alcançados</p>	<p>- O projeto implantou e opera uma rede de 4 estações de envelhecimento natural localizadas em São Paulo, Rio Grande, Belém e Pirassununga.</p> <p>As estações oferecem estrutura para 4 projetos de pesquisa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudo da lixiviação de biocida, em tinta de base aquosa, e sua relação com o crescimento de microrganismos.</li> <li>"Estudo da durabilidade de tintas acrílicas, por meio da exposição de películas livres ao envelhecimento natural. "Estudo da influência da pintura sobre a durabilidade de perfis de PVC rígido para esquadrias.</li> <li>"Desenvolvimento de Tecnologia para Fabricação de Telhas de Fibrocimento / Cirm Cel.</li> </ul>	<p>São apresentados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- os resultados da caracterização química de 6 amostras de tinta;</li> <li>- as identificações qualitativas e quantitativas, por GC-MS, dos principais constituintes do VOC, nas tintas e nos filmes, obtidos após 24 horas e 7 dias de secagem;</li> <li>- os cromatogramas dos VOCs emitidos pelas amostras, na forma líquida, em filmes obtidos após 24 horas de secagem e em filmes obtidos após 7 e 14 dias de secagem e</li> <li>- os efeitos causados por alguns dos constituintes presentes no VOC, na saúde do homem.</li> </ul>	<p>- Os autores aplicaram metodologia de ACV, ao processo produtivo de quatro indústrias de Santa Catarina, atuando na produção de pisos e tijolos cerâmicos. Os estudos consideraram desde a extração da argila, passando por todas as etapas de produção, até a embalagem e o carregamento das peças para saída da fábrica.</p>	<p>- Os autores apresentam uma lista preliminar de diretrizes para orientar projetos habitacionais de interesse social, para obter projetos mais sustentáveis e de melhor qualidade, baseada em tópicos estudados, que levam em consideração as peculiaridades locais da cidade de Campinas, SP.</p>
<p>Observações</p>	<p>- No caso da produção de pisos, não foram inventariados os subsistemas de produção dos demais componentes utilizados, como esmaltes e tintas.</p>			

**CONSTRUÇÃO E MEIO AMBIENTE: TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM - 1 PROJETO  
CONSTRUÇÃO E MEIO AMBIENTE - REDUÇÃO DE PERDAS NA CONSTRUÇÃO - 2 PROJETOS**

Título do projeto	Normalização do Uso de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição: Uso de Novas Técnicas de Fabricação	Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social: Modelo Integrado de Desenvolvimento de Produto e Gestão da Produção para Redução de Perdas	Sistema de Avaliação de Fornecedores de Materiais e Componentes da Indústria da Construção Civil - Integração das Cadeias Produtivas
Coordenador e instituição executora	Vanderley Moacyr John PCC/USP	Carlos Torres Formoso NORIE / UFRGS	Alberto Souza Schmidt Margareth Schmidt PPGEP/UFSM
Recursos financeiros			
Ênfase metodológica	Análises laboratoriais	Desenvolvimento de estudos de caso de curta duração, com intervenção nos processos analisados	Análise do estudo de caso realizado junto a um grupo de empresas do estado do Rio Grande do Sul
Objetivos	- Apresentar um método de controle de qualidade para emprego dos agregados graúdos reciclados, provenientes da fração mineral dos resíduos de construção e demolição (RCD), em concretos, a partir de uma ferramenta de caracterização	- Desenvolver um modelo para a gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social, o qual integra as funções de desenvolvimento de produto e de gestão da produção, assim como propor métodos para o desenvolvimento de competências nas organizações para a sua implementação.	- Formular diretrizes para promover a integração das cadeias produtivas da construção civil, demonstrando a aplicabilidade de um sistema de avaliação para o processo de seleção de fornecedores, como forma de qualificação e integração das cadeias.
Entidades participantes	FUSP/EPUSP (SP)	FAURGS; UFSM, UFPEL, SINDUSCON-SM e SINDUSCON-PELOTAS (RS)	
Resultados Alcançados	Os autores propõem um método de controle de qualidade baseado na caracterização direta de amostras representativas, provenientes de lotes de agregados de RCD produzidos.	Um produto genérico foi desenvolvido no primeiro empreendimento PAR e utilizado como base para o projeto do produto específico dos demais. Os principais clientes no PDP de empreendimentos PAR foram identificados a partir de entrevistas semi-estruturadas com diversos agentes do processo e da análise de documentos. As atividades exercidas por cada agente foram representadas no modelo do PDP.	O trabalho realizado apresentou uma proposta de critérios para seleção e avaliação de fornecedores de materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H.

<p>Resultados Alcançados (cont.)</p>	<p>Os resultados experimentais demonstraram que a massa específica aparente dos agregados controlou a resistência mecânica de concretos, confeccionados com mesmo consumo de cimento - ou relação água/cimento A soma dos teores de aglomerantes e de cerâmica vermelha também se revelou um indicador eficiente do desempenho mecânico. As mesmas conclusões foram obtidas para o módulo de elasticidade e absorção de água dos concretos.</p> <p>Os resultados revelam que a porosidade dos agregados tem duas origens principais: teor de aglomerantes e de cerâmica vermelha. Tanto o teor de aglomerantes, quanto o teor de cerâmica vermelha diminui com o aumento da massa específica aparente.</p>		
<p>Observações</p>	<p>Além de classificar agregados reciclados de acordo com sua porosidade, o método permite estimar indiretamente o nível de contaminantes.</p>	<p>O modelo identificou oportunidades de captação de requisitos que podem, cada uma, ser foco de estudos mais aprofundados. Também se constatou que os principais agentes não conheciam em profundidade o perfil dos clientes finais e suas necessidades. Assim, existe um grande potencial de aumentar o valor do produto, através da captura dos requisitos do cliente, tanto os explícitos como os latentes.</p>	<p>Há continuidade da proposta, através do projeto GESTHAB, desenvolvido em rede com sete instituições de ensino do país. Várias regiões já possuem indicadores para distintos fornecedores, além de um cadastro atualizado de fornecedores. Os autores pretendem, até o final do projeto, divulgar os indicadores dos fornecedores de materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H. m nmm</p>

**Vanderley M. John** é engenheiro civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (1982). Mestre em Engenharia Civil (1987) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. É doutor em Engenharia (1995) e livre-docente (2000) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Fez pós-doutorado no Royal Institute of Technology na Suécia (2000-2001). É professor associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Diretor do CB 02 da ABNT desde 1995, representa esta organização no conselho técnico do PBQP-H. Participou diversas vezes da diretoria executiva da ANTAC, tendo sido seu presidente entre 1993 e 1995. Foi pesquisador do IPT no período de 1988 a 1995 e professor da UNISINOS (1986-1988). Atua nas áreas de Ciência de Materiais para Construção e Infra-estrutura, com ênfase em Reciclagem de Resíduos e Aspectos Ambientais.  
E-mail: john@poli.usp.br

**Neide Matiko Nakata Sato** é física pelo Instituto de física da Universidade de São Paulo, USP (1975), mestre e doutora em Engenharia Civil pela USP (1983 e 1998). Atuou como pesquisadora no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT. Atualmente é pós-doutoranda da Escola Politécnica da USP e professora do Centro Universitário Nove de Julho - UNINOVE.  
E-mail: neidesato@uol.com.br

# 2.

## Durabilidade de componentes da construção

Vanderley M. John e Neide Matiko Nakata Sato

*“Tudo que se vê não é  
Igual ao que a gente viu há um segundo  
Tudo muda o tempo todo no mundo”  
Nelson Motta*

### Introdução

**N**a natureza nada é eterno, tudo o que existe, vivo ou inanimado, está em permanente transformação. Algumas dessas transformações, que acontecem rapidamente, podem apresentar interesse na vida prática e, portanto, devem ser consideradas em atividades de engenharia e arquitetura.

No contexto do ambiente construído, interessa conhecer as transformações que os materiais sofrem e que afetam a sua durabilidade, que é a capacidade de o edifício e suas partes manterem o seu desempenho ao longo do tempo, entendida como a capacidade de um produto de cumprir a função para a qual ele foi projetado. Embora a degradação de materiais específicos, como a madeira, tenha sido objeto de estudo sistemático há muito tempo – existem sólidos indícios que os antigos já compreendiam as causas da degradação da madeira e, em projeto, tomavam medi-

de especialistas se reuniu em torno do CIB e da RILEM, em uma comissão hoje denominada CIB W080/RILEM TC 140 (Prediction of Service Life of Building Materials and Components), para propor uma metodologia genérica para lidar com o problema de forma sistemática. Já em 1978 ocorreu a primeira conferência da série de dez da International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC). No final da década de 1980, foi publicado o primeiro documento que sistematiza a metodologia e, no início deste século, a série de normas ISO 15686 – Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning. No Brasil, os primeiros estudos no tema são de Francisco Romeu Landi (Poli/USP) e Wanderley Flauzino (IPT). No final dos anos 1990, a Antac estabeleceu um grupo de trabalho sobre o tema, que já realizou vários *workshops*, mas os conceitos não são de domínio público, apesar da sua importância.

A degradação de materiais e componentes possui grande importância econômica, pois exige dispendiosas atividades de manutenção e limita a vida útil das construções. De forma geral, assume-se que o volume de recursos consumidos nas atividades de manutenção de uma estrutura projetada adequadamente pode consumir o mesmo volume de recursos financeiros utilizados para a sua construção. Notícias sobre os efeitos da degradação da infra-estrutura pública, incluindo escolas, hospitais, pontes e rodovias, causando, inclusive, algumas mortes perfeitamente evitáveis, têm recebido ampla cobertura da imprensa. Por outro lado, a superação da carência de ambiente construído adequado no país requer não a construção, mas a formação de um estoque de casas, estradas, pontes, hospitais, etc., que esteja disponível para as gerações futuras. Sem a formação desse estoque, o país estará condenado a uma reconstrução permanente, com enormes custos econômicos, sociais e ambientais.

Como um aumento substancial da durabilidade das construções, na maioria das vezes, pode ser obtido com pequenas alterações de projeto, com aumento marginal das cargas ambientais e do custo, a durabilidade é uma ferramenta importante para o desenvolvimento sustentável.

A estimativa de vida útil de um produto nas condições de uso é um dos requisitos para a realização de uma análise do ciclo de vida de produto. É, também, fundamental em análises de desempenho econômico, a partir do conceito de custo global, que inclui não apenas os custos de construção, mas também os custos de manutenção e mesmo de demolição.

## Durabilidade e Desempenho

### O conceito de desempenho

A análise da eficiência de uma construção deve ser feita pelo grau de satisfação com que o produto construído atende às funções para as quais ele foi projetado ou, em outras palavras, atende às necessidades dos seus usuários. Essa análise, em grande parte, independe da solução material adotada.

O Quadro 1 apresenta as necessidades dos usuários, tal como definidas pela ISO 6241 para edifícios, que incluem durabilidade e economia.

Segurança	Adaptação ao uso
Estrutural	Conforto
Ao fogo	Acústico
No uso	Tátil
Estanqueidade	Antropodinâmico
Ar	Higrotérmico
Água	Adaptação ao uso
Pureza do ar	Economia
Higiene	Durabilidade

Quadro 1 – Necessidades dos usuários de acordo com a ISO 6241. Desenvolvida há mais de 20 anos, a lista não inclui necessidades relativas à preservação do ambiente.

## Desempenho e vida útil

Durabilidade é a capacidade do edifício e suas partes de manterem ao longo do tempo o desempenho, quando expostos a condições normais de uso. Durabilidade não é uma propriedade inerente de um material ou componente. A durabilidade de um produto pode ser descrita pela variação do desempenho ao longo do tempo, ou seja, como a capacidade do produto em atender às demais necessidades dos usuários varia ao longo do tempo (Figura 1). A variação de desempenho pode ser descrita de forma mais conveniente por meio de um indicador de degradação, característica mensurável que permite o acompanhamento do(s) efeito(s) dos processos de degradação no desempenho. Por exemplo, quando a cor é uma característica relevante no desempenho, a variação da cor pode ser utilizada como um indicador de degradação.

Ao contrário do senso comum, durabilidade não é uma propriedade do material, mas o resultado da interação entre o material e o ambiente que o cerca, incluindo aspectos de microclima. Assim, um mesmo material apresenta funções de desempenho *versus* tempo diferentes para diferentes condições de exposição. Como a durabilidade é uma função do desempenho, um mesmo material pode apresentar funções de desempenho *versus* tempo diferentes se forem mantidas as condições de exposição mas alterada a função do material.

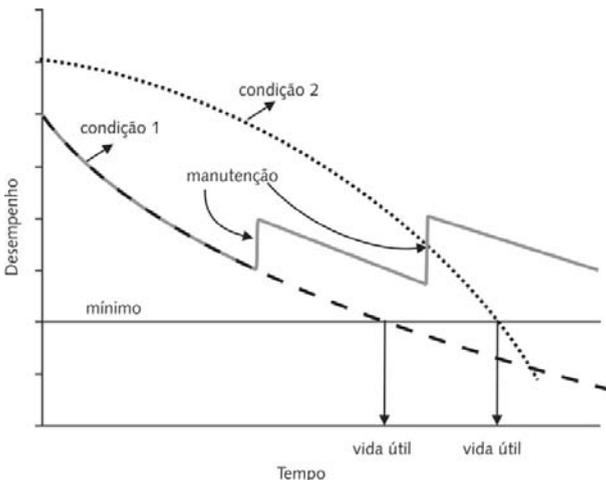


Figura 1 – Função de desempenho versus tempo descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais. Atividades de manutenção podem recuperar o desempenho perdido, postergando o fim da vida útil.

A vida útil (em inglês, *service life*) é o período durante o qual um produto tem desempenho igual ou superior ao mínimo requerido, ou seja, as necessidades dos usuários são atendidas. A vida útil é, portanto, uma quantificação da durabilidade em determinadas condições.

## Obsolescência

Muitas vezes construções ou suas partes se tornam inadequadas para cumprir a função para a qual foram projetadas, sem que ocorra a degradação dos materiais empregados, mas tão-somente por mudanças nas necessidades dos usuários para as quais a construção não pode ser adaptada a um custo competitivo. Isso ocorre em decorrência da evolução tecnológica na área da construção, por mudanças de cultura por parte dos usuários, por razões econômicas, por mudanças sociais (Figura 2) ou até pelo desaparecimento da função para a qual o produto foi desenhado. Os gasômetros existentes nas grandes cidades brasileiras são exemplo de obsolescência funcional.

Os efeitos da mudança cultural são facilmente observáveis em acabamentos ou até em fachadas de edifícios. Os revestimentos cerâmicos, cujas vidas úteis ultrapassam 100 anos, são substituídos muito antes de qualquer degradação no seu desempenho tecnológico.



Figura 2 – O presídio do Carandiru sendo demolido por ter se tornado socialmente obsoleto

## Agentes de degradação

Os agentes (ou fatores) de degradação são quaisquer entes que agem sobre os materiais ou componentes de uma construção e que provocam alterações nos materiais que diminuem o seu desempenho.

Os agentes de degradação podem ser de natureza mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica (Quadro 2).

Natureza	Classe
Agentes mecânicos	Gravidade Esforços e deformações impostas ou restringidas Energia cinética
Agentes eletromagnéticos	Vibrações e ruídos Radiação Eletricidade Magnetismo
Agentes térmicos	Níveis extremos ou variações muito rápidas de temperatura
Agentes químicos	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutros
Agentes biológicos	Vegetais e microrganismos Animais

Quadro 2 – Natureza dos agentes de degradação (ISO 15686-2, 2001)

A origem dos agentes de degradação é diversa: o meio ambiente (clima, poluição, ventos, componentes do ar como o O<sub>3</sub>), o carregamento da construção (cíclico

ou contínuo), biológica (fungos, bactérias, roedores, vegetais), produzidos pelo uso da construção (como o desgaste por abrasão, impactos) ou até mesmo incompatibilidade química ou física entre materiais (corrosão eletrolítica) ou entre fases de um mesmo material (a reação alcali-agregado no concreto). O Quadro 3 apresenta a lista de agentes ou fatores de degradação publicada originalmente pela ISO 6241.

Fatores de uso	Carregamento
Desgaste	Deformação lenta
Atividades de manutenção	Fadiga
Projeto	Água e seus derivados
Incompatibilidade	Cargas de uso
Química	Ambientais
Física	Radiação
Biológicos	Temperatura
Roedores	Água
Fungos	Constituintes do ar e poluentes
Bactérias	Gelo/degelo
...	Vento

Quadro 3 – Fatores de degradação de acordo com a ISO 6241/1984

Muitas vezes um agente de degradação de uma natureza causa efeito de caráter diverso. Esse é o caso da temperatura: além de a elevação da temperatura provocar um aumento na taxa de degradação, tal como previsto por Arrhenius, ela também provoca variações dimensionais, que podem levar ao surgimento de tensões.

## Microclima e a degradação

Os agentes de degradação presentes na atmosfera (muitas vezes descritos como ambientais), isto é, clima e poluição, são muito importantes e, na maioria das vezes, determinantes da degradação dos materiais utilizados no envelope do edifício e das demais construções. Por sua natureza, a intensidade desses fatores varia no espaço e, do ponto de vista da engenharia, o mapeamento deles é importante. A variação espacial pode ser descrita em diferentes escalas (Figura 3). A escala macro pode ser descrita por meio de mapas confeccionados a partir dos dados climatológicos, como chuva, vento e temperatura (inclusive amplitude térmica), podendo incluir dados de poluição. Na descrição ao nível meso, os efeitos do terreno e do ambiente construído devem ser levados em conta. No nível local, a distância de fontes de poluição, sombreamento, etc., também deve ser incluída. Alguns efeitos locais, como efeito de ruas e rodovias na concentração de poluentes, já estão descritos pelos modelos de dispersão de poluentes. Já o microclima descreve condições ambientais nas quais o material está inserido, que são o resultado do clima local mediado por decisões de projeto. Um exemplo da influência do microclima determinado por decisões de projeto é o efeito da introdução de beirais que protejam as paredes de madeira da chuva e, ao manterem a madeira seca, evitam o ataque por fungos apodrecedores (Figura 3). Assim, o projeto define a durabilidade de uma solução construtiva.

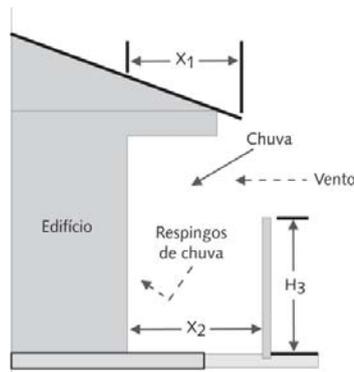
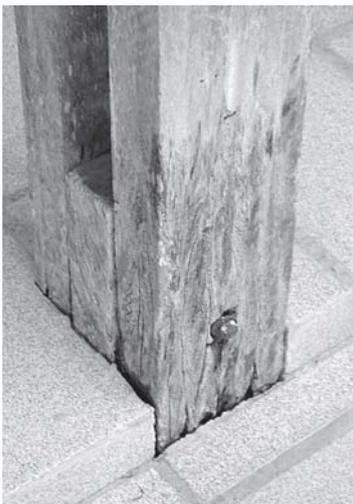


Figura 3 – Esquema analítico da influência de detalhes de projeto no controle do tempo durante o qual a estrutura de madeira permanece úmida e, portanto, suscetível à biodegradação (FOLIENTE et al., 2002). Imagem mostrando a influência do microclima na biodeterioração de madeira.

## Sistemas de informações geográficas e os fatores de degradação<sup>1</sup>

Nos anos recentes surgiram os sistemas de informações geográficas (SIG), sistemas que permitem georreferenciar uma base de dados, facilitando a recuperação e o tratamento de dados para quaisquer coordenadas específicas. Essas ferramentas permitem a apresentação da intensidade dos diferentes agentes de degradação nos diferentes pontos de uma determinada região geográfica. Dependendo do refinamento dos dados, é possível apresentar dados desde o nível macro até o nível local (HAAGENRUD et al., 1996).

O mapeamento GIS da intensidade de parâmetros atmosféricos já é uma prática comum em boa parte do mundo, incluindo cidades da Turquia (ELBIR, 2004) e Oslo (HAAGENRUD, 2004). A Figura 5 apresenta um mapa de amplitude térmica média mensal, produzido no Brasil a partir de dados meteorológicos, utilizando ferramenta SIG.

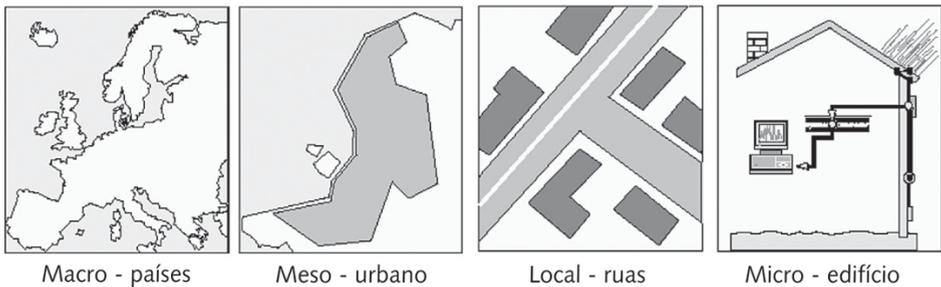


Figura 4 – Escalas geográficas segundo as quais é possível descrever a variação dos agentes de degradação ambiental (HAAGENRUD, 2004)

<sup>1</sup> O uso de ferramentas SIG em estudos de durabilidade é objeto do projeto. Mapeamento dos Agentes de Degradação dos Materiais, estudo integrado ao Programa de Tecnologia de Habitação (Habitare), da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), sob coordenação da Prof.<sup>a</sup> Maryangela G. Lima.

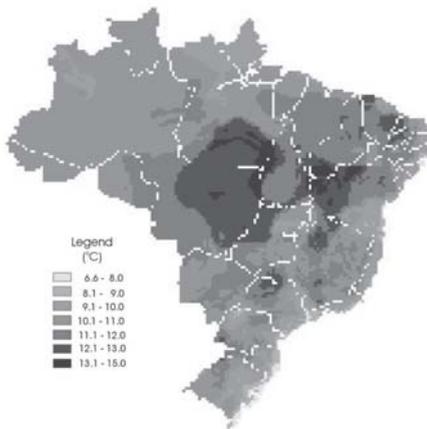


Figura 5 – Mapa da amplitude térmica média mensal para o Brasil, produzido a partir de dados climatológicos usando ferramenta SIG, produzido pelo projeto Habitare coordenado pela Prof.<sup>a</sup> Maryangela G. Lima (ITA)

## Sinergismo entre agentes

Em condições normais de uso, um produto está normalmente exposto a mais de um fator de degradação, simultaneamente. Nessa situação existe a possibilidade de sinergia entre os diferentes fatores de degradação: a degradação resultante é diferente da soma das degradações produzidas pelos fatores, individualmente. Um exemplo de sinergia é a interação entre ciclos de molhagem e secagem e a velocidade de carbonatação de concretos. Esse fato causa dificuldades adicionais ao estudo da degradação, tanto em termos de simulação da degradação em laboratório quanto na interpretação de resultados de envelhecimento, em condições reais de uso.

## Mecanismos de degradação

Os agentes de degradação provocam alterações no material, através de reações químicas, processos físicos ou mecânicos, causando perdas do desempenho de um produto. Corrosão eletrolítica em metais e dissolução de rochas carbonáticas por chuvas ácidas são exemplos de mecanismos de degradação. A compreensão dos mecanismos de degradação é a base científica da durabilidade, o que facilita a criação de modelos de degradação, orientando medidas para o aumento da resistência dos materiais à degradação e auxiliando no desenvolvimento de ensaios de envelhecimento acelerado.

## Indicadores de degradação

Os indicadores de degradação são propriedades, preferencialmente quantificáveis, que expressam o impacto da degradação no desempenho do produto. Em outras palavras, um indicador de degradação é uma propriedade do produto relevante para o desempenho na aplicação em questão, ou que possa ser facilmente correlacionada com o desempenho.

Indicadores de degradação comuns incluem variação de cor ou brilho, de propriedades mecânicas, como energia de fratura, alterações em rugosidade, perda de massa, etc.

Indicadores de degradação que possam ser medidos de forma não destrutiva apresentam grandes vantagens, pois permitem acompanhar a evolução do desempenho de um mesmo exemplar ao longo do tempo.

## Métodos de estudo de envelhecimento

Para realizar a previsão da durabilidade dentro de um prazo de tempo razoável, algumas estratégias podem ser realizadas:

- a) ensaios de envelhecimento acelerado;
- b) ensaios de envelhecimento natural; e
- c) estudos de campo.

### Ensaio de envelhecimento acelerado

Os ensaios de envelhecimento acelerado são realizados em laboratório, simulando a ação de agentes de degradação em intensidades muito superiores às esperadas em condições reais de uso.

É importante observar que não existem ensaios de envelhecimento acelerado universais: para cada mecanismo (ou combinação de agente de degradação com material) é necessário um ensaio completamente diferente.

Existem vários equipamentos utilizados nesse tipo de ensaio. Equipamentos que expõem as amostras a ciclos de calor, água e radiação UV (como Weather-

Ometer, da Atlas, e o Q-Sun, da Q-Panel) e às câmaras de C-UV, que combinam condensação com radiação ultravioleta, são utilizados em estudos de polímeros e são disponíveis comercialmente. Esses equipamentos utilizam lâmpadas de xenônio, que vão perdendo a eficiência ao longo do tempo e, portanto, possuem vida útil limitada. Esses equipamentos são irrelevantes no estudo de materiais pétreos, metálicos ou cimentícios, a menos que tais materiais tenham em sua superfície uma película orgânica, situação na qual se analisará a durabilidade da película.

As câmaras de carbonatação acelerada, onde a umidade é controlada e o teor de CO<sub>2</sub> é superior ao da atmosfera (algumas vezes com valores até 100% acima dos encontrados na atmosfera), à pressão atmosférica ou até à alta pressão, permitem acelerar as reações de carbonatação de materiais cimentícios, reações que tornam possível a corrosão do aço eventualmente embutido.

Equipamentos de molhagem e secagem são utilizados para acelerar o envelhecimento de compósitos de cimento reforçado com celulose ou outras fibras vegetais (DIAS, 2005). Um exemplo de um desses equipamentos pode ser visto na **Figura 5**. O aquecimento em atmosfera úmida é um método eficiente para acelerar a degradação de alguns produtos, como o das fibras de vidro utilizadas como reforço de matriz alcalina cimentícia, conforme demonstrado por Litherland, Oakley e Proctor (1981) e Aindow, Oakley e Proctor (1984), através da comparação de resultados de ensaios acelerados com ensaios de envelhecimento natural, em diferentes condições climáticas.

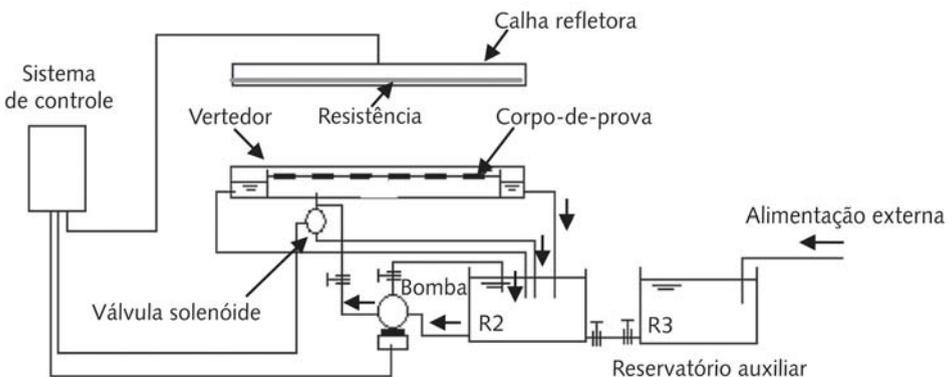


Figura 6 – Equipamento de envelhecimento acelerado de compósitos de fibrocimento, através de ciclos de molhagem e secagem, desenvolvido na Escola Politécnica da USP (DIAS, 2005), no âmbito de projeto Habitare/Finep

Os ensaios acelerados introduzem, muitas vezes, alterações nos mecanismos de degradação (por exemplo, a carbonatação pode levar à formação de produtos outros que não a calcita), dificultando a extrapolação das conclusões para situações de uso. Esse é um aspecto que sempre deve ser verificado.

Além disso, normalmente, esses ensaios implicam a exposição de pequenas amostras a um ou mais agentes simultaneamente, enquanto, em condições de uso, outros agentes de degradação certamente estão presentes. No caso de materiais cimentícios, cuja matriz sofre melhora contínua de suas propriedades mecânicas ao longo do tempo, devido à hidratação continuada, a exposição de corpos-de-prova ao envelhecimento acelerado, em idades em que a hidratação ainda não se completou, pode levar a conclusões incorretas, com o ganho de resistência mecânica devido à hidratação podendo compensar a perda provocada pela degradação acelerada.

## Envelhecimento natural

A exposição de corpos-de-prova aos agentes atmosféricos é técnica universalmente adotada, seja em estudos de corrosão, carbonatação, polímeros e tintas. Via de regra, os corpos-de-prova expostos são de pequenas dimensões e ficam orientados de forma a maximizar a exposição à radiação solar.

Nesses sítios de envelhecimento, as condições ambientais como temperatura, radiação em diferentes faixas, umidade, vento, pH da chuva, partículas no ar e concentração de poluentes ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , etc.) são monitoradas de forma permanente, e o indicador de degradação é medido periodicamente. Dessa forma, expondo um mesmo material em sítios diferentes, é possível correlacionar intensidades de agentes de degradação com variação no desempenho (ver item Funções dose-resposta, a seguir). O projeto Durar teve por objetivo estruturar um embrião de rede brasileira de estações de envelhecimento natural.

O prazo para obtenção de resultados desses estudos é longo, mas a degradação decorrente de fatores atmosféricos é a que o material irá enfrentar em condições de uso. Uma forma de acelerar a obtenção de resultados é utilizar técnicas que sejam extremamente sensíveis a pequenas variações nas propriedades em questão.

As normas técnicas ASTM Method G7-89 – “Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Non-metallic Materials” e ISO 9226 – “Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity” padronizam os estudos de envelhecimento natural.

Uma variante recente, que acelera o envelhecimento natural, são os suportes de corpos-de-prova ativos, que acompanham a trajetória do sol, mantendo em todas as horas do dia uma exposição máxima à radiação natural.

Uma limitação dos ensaios de envelhecimento natural é que fatores de uso e aqueles relacionados com a interação entre os diversos materiais e componentes da construção não são considerados.

## Envelhecimento em uso

A exposição de materiais em construções submetidas a condições reais de uso é uma forma interessante de acompanhar a degradação de produtos. A principal vantagem é a ausência de qualquer artifício no processo, com todos os fatores de degradação atuando simultaneamente na intensidade real. Eventuais incompatibilidades com outros materiais ou produtos presentes nos edifícios, efeitos de manutenção e montagem, bem como os efeitos dos fatores de uso são detectáveis.

Por outro lado, muitas vezes não é possível medir acuradamente a intensidade dos fatores de degradação que atuam, de fato, sobre o produto, o que introduz dificuldades para a modelagem baseada em funções dose-resposta.

Uma possibilidade interessante é realizar estudos em um universo de edifícios que empreguem um mesmo produto, o que torna possível identificar a distribuição da vida útil de uma população de determinado produto. John (1987) apresenta uma metodologia desenvolvida pelo Ministério do Japão que permite, a partir de uma inspeção baseada em escala qualitativa, estimar o nível de degradação de um universo de componentes e até mesmo estimar a distribuição da sua vida útil ou a vida útil média.

Nível de degradação	Condições do componente
1	Sem deterioração ou minimamente deteriorado
2	Requer tarefas de manutenção e pequenos reparos
3	São necessárias operações de reparo parciais
4	São necessários reparos para ampliação da vida útil do componente
5	Extensa degradação. Necessidade de reposição do componente

Quadro 4 – Escala qualitativa de nível de degradação proposta por Ishizuka (JOHN, 1987)

## Funções dose-resposta

A intensidade da degradação pode ser correlacionada com a dose de agentes de degradação a que o material esteve exposto. Quando existirem dados da degradação do material submetido a várias doses dos agentes de degradação por período de tempo considerável, é possível estimar a correlação por regressão entre a dose dos agentes gerando uma “função dose-resposta”. Essa função pode ser ajustada por regressão múltipla.

Nos últimos anos uma série de funções dose-resposta foi construída a partir do envelhecimento de amostras padrão, em diferentes estações de envelhecimento, estabelecidas em diferentes sítios (HAAGENRUD, 2004). Um dos estudos mais abrangentes foi patrocinado pela ONU ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, conhecida como ICP Materials<sup>2</sup>. Esse estudo gerou funções dose-resposta a partir de 39 sítios de envelhecimento natural, em 12 países europeus, de materiais como aço, chapas galvanizadas, rochas naturais e alumínio.

<sup>2</sup> O link <http://www.corr-institute.se/ICP-Materials> apresenta excelente material sobre o estudo.

Abaixo são apresentados dois exemplos de funções dose-resposta produzidas para aço e rocha calcária de Portland.

Aço (N=148, R<sup>2</sup>=0,68)

$$ML = 34 [SO_2]M^{0,33} \exp\{0,020Rh + f(T)\}t^{0,33}$$

f(T) = 0,059(T-10) quando T < 10°C, e f(T) = -0,036(T-10) para T > 10°C

Calcário de Portland (N=100, R<sup>2</sup>=0,88)

$$R = 2,7 [SO_2]^{0,48} \exp\{-0,018T\}t^{0,96} + 0,019Rain[H^+]t^{0,96}$$

T é a temperatura, em °C; Rh é a umidade relativa, em %; [pp] é a concentração de SO<sub>2</sub>, em µg/m<sup>3</sup>; t é o tempo, em anos; Rain a precipitação pluviométrica, em mm e [H<sup>+</sup>] a acidez (mg/l). Como indicadores de degradação foram utilizadas: variação de massa (ML é perda de massa, g/m<sup>2</sup>), profundidade da reação, medida a partir da superfície (R, µm), espessura lixiviada, etc.

Uma forma conveniente de gerar ferramentas de projeto, a partir de funções dose-resposta, é a construção dos mapas de degradação ou vida útil para o material. O trabalho pioneiro foi o de Scheffer (1971), que, a partir do conhecimento básico da influência da temperatura no crescimento de fungos xilófagos e de resultados de envelhecimento natural de amostras, em diferentes regiões climáticas, gerou uma equação matemática que expressa o risco de degradação, em função da temperatura e disponibilidade de umidade. Foliente et al. (2002) realizaram trabalho similar, que resultou em mapas de deterioração de madeira para a Austrália, produzidos a partir do conhecimento básico da influência da temperatura no crescimento de fungos xilófagos e de resultados de envelhecimento natural de amostras, em diferentes regiões climáticas, e gerou uma equação matemática que expressa o risco de degradação, em função da temperatura e disponibilidade de umidade.

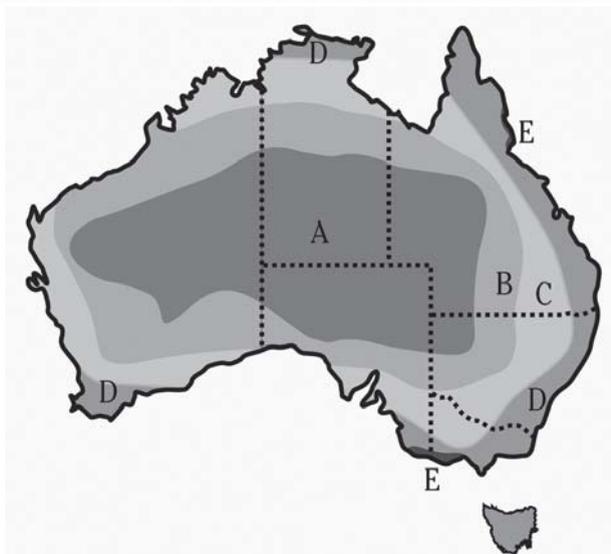
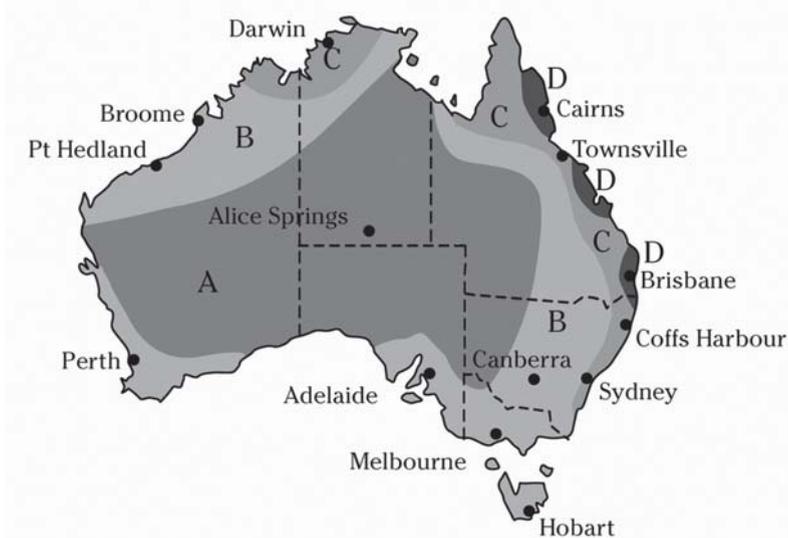


Figura 7 – Mapa de risco de biodeterioração de madeiras expostas ao intemperismo natural, em contato com o solo (à esquerda) e acima do solo (à direita), na Austrália. (FOLIENTE et al., 2002)

Podem, também, ser estimados impactos ambientais da degradação. Reiss et al. (2004) usam as funções dose-resposta para calcular a contaminação ambiental causada pela lixiviação do zinco e do cobre, presentes nos produtos da corrosão, para o ambiente, pela chuva.

## Previsão da vida útil de referência

A estimativa da vida útil de determinada solução construtiva apresenta grande interesse do ponto de vista de engenharia, por permitir estimar o impacto de decisões de projeto em atividades e custo de manutenção, impacto ambiental e até na vida útil final da edificação.

A norma ISO 15686-2:2001 apresenta metodologia para previsão de vida útil de componentes da construção, que é resumida na Figura 8. A metodologia proposta pode ser utilizada para um simples estabelecimento de uma função de desempenho *versus* tempo, para um local específico, ou pelo estabelecimento de funções dose-resposta válidas para uma gama de condições ambientais.

A previsão de vida útil de acordo com a metodologia se baseia em um processo iterativo, com tomadas de decisão durante as etapas intermediárias, permitindo melhorar as previsões, em função do conhecimento disponível. As etapas estabelecidas no fluxograma são descritas resumidamente a seguir.

### Definição do problema

Inicialmente, devem ser definidos o problema e o escopo do estudo. O estudo pode ser bem específico como quando se quer determinar, por exemplo, a sensibilidade da previsão de vida útil de um componente a pequenas alterações nas condições de uso. Pode ser, também, um estudo mais genérico, com o objetivo de estudar um componente submetido a diversas condições de exposição e de uso e determinar o seu desempenho ao longo do tempo, em todas as aplicações previstas para o componente.

Essa etapa de definição envolve, ainda, a identificação do contexto ambiental, levando em conta o uso do componente e os agentes que atuam na construção, no sentido amplo.

Como durabilidade depende da função que o produto exerce, a identificação das características e dos critérios de desempenho, críticos na aplicação em questão, é

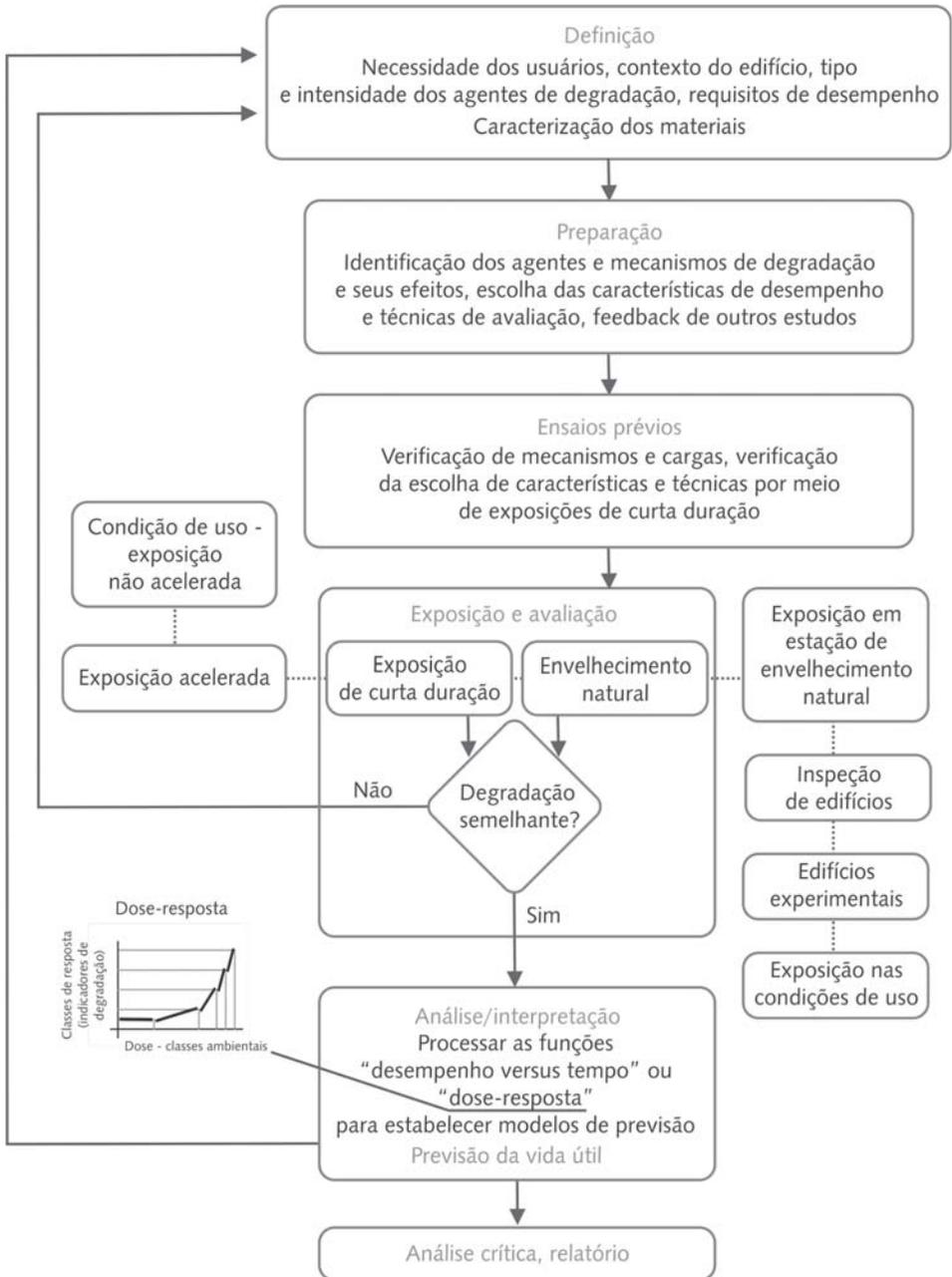


Figura 8 – Metodologia para previsão da vida útil de componentes de edifícios

também necessária. Segue um exemplo que mostra a importância do tema: em polímeros e madeira utilizados como acabamentos (ou estética), as alterações de cor e brilho são relevantes; já quando esses produtos cumprem função estrutural, as alterações de aparência podem muitas vezes ser negligenciadas.

Finalmente, são importantes as caracterizações química, física e da microestruturais dos materiais, pois as perdas de desempenho serão produzidas por alterações nos materiais. A compreensão exata da combinação de agentes de degradação e mecanismos de degradação depende da identificação das alterações das propriedades físico-químicas que a degradação provoca nos materiais.

## Preparação

Depois da definição do escopo do estudo devem ser identificados os agentes de degradação, mecanismos e indicadores de degradação, relevantes na aplicação específica, e as intensidades máximas e mínimas esperadas. O Quadro 3 apresenta os agentes de degradação mais comuns (ISO 15686-2, 2001).

A revisão bibliográfica é importante fonte de informações nessa etapa. A CIB Publication-295 (CIB, 2004) apresenta uma boa revisão sobre os principais mecanismos e fatores de degradação de alguns dos materiais comumente empregados na construção.

A identificação equivocada dos agentes, fatores e mecanismos de degradação elimina qualquer possibilidade de sucesso do estudo, pois leva ao projeto de ensaios de envelhecimento acelerado e seleção de indicadores de degradação equivocados. Um exemplo prático: um estudo realizado no Brasil escolheu submeter painéis de concreto armado a ensaio de envelhecimento acelerado, por ciclos de molhagem e secagem, que acelerou a hidratação da matriz de cimento, melhorando o desempenho geral do produto. Como o mesmo estudo utilizou a resistência mecânica como indicador de degradação, concluiu, erroneamente, que a durabilidade do produto era infinita, pois o envelhecimento melhorava progressivamente o desempenho mecânico. O real problema de degradação – corrosão das armaduras após carbonatação – não foi analisado.

## Ensaio prévios

A importância de um conjunto de ensaios prévios, bem realizados, combinado com uma ampla revisão bibliográfica, nunca pode ser subestimada. Korman et al. (2002) relatam o emprego de radiação UV e ciclos de calor e umidade no envelhecimento acelerado de concreto reforçado com fibras de aço, a ser exposto à abrasão por água – procedimento totalmente inadequado ao envelhecimento acelerado do produto, uma vez que o concreto e o aço são insensíveis à radiação UV e o concreto, quando exposto à umidade e ao calor, melhora seu desempenho mecânico, utilizado como indicador de degradação.

Assim, os ensaios prévios são feitos para testar hipóteses adotadas e resolver dúvidas, ou seja, a sua realização é uma etapa importante do processo. Experimentos mal formulados podem levar a conclusões equivocadas, com conseqüências desastrosas. Mesmo que o equívoco seja percebido mais adiante, as conseqüências são graves, uma vez que os estudos de degradação envolvem considerável volume de recursos e podem se estender por períodos relativamente longos, tornando cara e demorada a correção do problema.

Aspectos como identificação dos agentes de degradação relevantes, confirmação e detalhamento dos mecanismos envolvidos, estimativa das intensidades dos agentes de degradação identificados para realizar envelhecimento acelerado, sem alterações significativas nos mecanismos de degradação, teste da adequação e da precisão dos indicadores de degradação e das técnicas utilizadas para acompanhar a variação deles são muito importantes.

## Programas de exposição ao envelhecimento

Os programas de exposição ao envelhecimento devem ser cuidadosamente planejados, levando-se em conta o escopo do estudo e os resultados das etapas anteriores de definição do estudo, preparação e ensaios prévios.

Um programa convencional deve combinar estudos de curta duração com estudos de longa duração. Estudos de curta duração incluem tanto os ensaios acelera-

dos projetados para intensificar a ação do agente relevante quanto os ensaios de envelhecimento natural e, até mesmo, em uso, utilizando-se ferramentas de medida suficientemente sensíveis, que permitam confirmar as tendências de degradação em longo prazo. Ensaios de longo prazo podem incluir envelhecimento natural, construção de protótipos e envelhecimento em uso. As degradações observadas em exposições de curta duração aceleradas devem ser comparadas com as observadas nas condições de uso. Se nos ensaios de curta duração forem induzidos mecanismos não representativos das condições de uso, o programa de exposição deve ser alterado.

Quando se pretende produzir funções dose-resposta, é necessário que o programa de estudos inclua situações em que o produto seja exposto a diferentes intensidades dos diversos fatores de degradação relevantes. O planejamento estatístico é fundamental para permitir a generalização de conclusões. Deve-se mencionar que a variabilidade das propriedades pode aumentar significativamente com o envelhecimento, particularmente em estudos em que pode haver diferenças de microclima.

Atenção particular deve ser dedicada à possível ocorrência de microclimas que alterem substancialmente as condições ambientais em relação ao entorno, particularmente em estudos em condições reais de uso (edifícios).

## Análise e interpretação

A partir de avaliações de desempenho efetuadas ao longo dos vários programas de exposição, é determinada a vida útil prevista, envolvendo duas ou três etapas (ISO 15686-2:2001):

- a) a partir de dados de avaliação de desempenho são estabelecidas as funções desempenho *versus* tempo ou dose-resposta, nas condições de exposição;
- b) se as condições de exposição não abrangerem as condições em que o componente vai ser avaliado, deve ser determinada a função desempenho *versus* tempo ou dose-resposta na condição desejada, sintetizando, modelando e/ou interpolando ou extrapolando as funções estabelecidas em (a); e

c) a função desempenho *versus* tempo ou dose resposta, obtida nas etapas (a) ou (b), é utilizada para determinar a vida útil prevista para o componente.

## Planejamento da vida útil, conforme a ISO 15686

A norma ISO 15686-2:2001 define planejamento de vida útil como um processo de projeto que procura garantir, na medida do possível, que a vida útil de um edifício seja igual ou superior à vida de projeto, levando em conta (e, preferencialmente, otimizando) os custos globais (do ciclo de vida) do edifício. Implica, portanto, estimar a vida útil de cada parte do edifício e planejar as substituições das partes que tenham vida útil menor que a projetada, para a construção como um todo.

O processo inclui a definição da vida útil de projeto, definida como aquela “pretendida pelo projetista e cliente para sustentar as decisões de especificação”. Esse valor pode ser estabelecido com base em critérios econômicos, ambientais ou até mesmo técnicos.

Assim, parte do processo de planejamento de vida útil constitui-se na otimização do custo global, um parâmetro de avaliação da performance econômica do edifício. O custo global é composto do custo de construção mais o custo de manutenção, operação e demolição da construção, menos seu custo residual, sendo todos os valores considerados para uma mesma data (valor presente).

O centro da metodologia é o cálculo da vida útil estimada do componente (VUEC), nas condições reais do projeto, a partir dos dados da vida útil prevista pelas funções desempenho *versus* tempo ou dose-resposta, denominada vida útil de referência do componente (VURC), pela multiplicação por fatores que levem em conta particularidades do projeto, conforme a equação abaixo:

$$\text{VUEC} = \text{VURC} \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

Os fatores de A até G levam em conta o efeito das diferenças entre as condições de uso esperadas no projeto e as condições observadas durante o processo de

previsão da VURC, especificamente:

- (A) quantidade de componentes;
- (B) nível de projeto;
- (C) nível de execução do serviço;
- (D) ambiente interno;
- (E) ambiente externo;
- (F) condições de uso; e
- (G) nível de manutenção.

Esse ajuste é conhecido pelo método dos fatores e é uma forma simplificada de ajustar uma informação geral – vida útil de referência – às peculiaridades de projeto, caso seja considerado necessário, documentando-se todas as correções feitas.

Uma parte essencial do planejamento da vida útil da construção é a percepção de que esta é limitada pela vida útil das partes não substituíveis, como componentes estruturais, fundações, etc. Uma falha na estimativa da vida útil estimada desses componentes afeta a vida útil projetada para toda a construção.

Idealmente, a estimativa da vida útil de referência do componente seria fornecida pelo fabricante, estimada a partir de estudos de previsão de vida útil, conforme especificado no item anterior. A União Européia emitiu uma diretiva tornando obrigatório que os fabricantes de materiais declarem a vida útil dos seus produtos (The Council of the European Communities. Directive 89/106/EEC, 1998), e algumas normas técnicas e códigos de prática já adotam modelos para a previsão da vida útil em diferentes condições ambientais.

Na ausência desses dados, existem outras fontes para previsão da vida útil, como, por exemplo, a experiência ou observações anteriores de materiais de construção semelhantes ou utilizados em condições similares; avaliações de durabilidade feitas em processos de concessão de certificados de Aprovação Técnica; dados publicados em literatura; e códigos de obras.

## A rede DURAR de sítios de envelhecimento natural

O projeto **Rede Brasileira de Estações de Envelhecimento Natural para Estudo da Durabilidade** implantou e opera uma rede de quatro estações de envelhecimento natural, que está disponível para a comunidade técnica, acadêmica ou industrial.

As estações estão localizadas em São Paulo, Rio Grande, Belém e Pirassununga, sendo essa última instalada com recursos da Fapesp. Em seu conjunto, estão representados climas diferentes, com quatro situações bastante diferentes em termos de clima e contaminantes. A estação de Belém encontra-se próxima à área de floresta em região quente, úmida, com chuvas muito freqüentes. A estação de Rio Grande, uma região subtropical de invernos frios e verões quentes, encontra-se à beira-mar.



Figura 9 – Localização das estações de envelhecimento natural da rede DURAR

Localidade	Temperatura °C			Precipitação (mm)	Latitude	Longitude
	Média	Média das máximas	Média das mínimas			
Belém	26,2	31,4	22,7	2.830	1° 27'S	48° 30'W
Rio Grande	18,0	22,2	14,6	1.300	32° 02'S	52° 06'W
São Paulo	22,0	28,0	18,0	1.548	23° 34'S	46° 27'W
Pirassununga				1.363	21° 59'46''S	47° 26'33''W

Quadro 5 – Normais climatológicas das cidades onde estão localizadas as estações da rede DURAR



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 10 – Vista das estações de envelhecimento: (a) Pirassununga, (b) Rio Grande, (c) São Paulo - com os sensores em primeiro plano - e (d) Belém.

## Infra-estrutura

As estações de envelhecimento são áreas isoladas de 600 m<sup>2</sup>. A estação de São Paulo está localizada no teto do edifício da engenharia civil, e as demais, no solo, em áreas que atendem aos critérios para estações climatológicas.

As estações estão equipadas com sistemas de medida das seguintes grandezas:

- a) temperatura do ar (-40 °C a +60 °C), termopares marca Vaisala;
- b) umidade relativa do ar (0% a 100%), por higrômetros da marca Vaisala;
- c) radiação solar global, na faixa de 305 nm a 2800 nm, através de piranômetros da marca Kipp & Zonen, com elemento sensor termopilha;
- d) radiação solar, na faixa do ultravioleta (300 nm a 400 nm), através de piranômetros da marca Kipp & Zonen;
- e) precipitação, através de pluviômetro de báscula, com resolução de 0,2 mm, da marca Hydrological Services;
- f) pH da água de chuva, através de equipamento da marca CSI;
- g) tempo de superfície úmida (*time of wetness*), através de equipamento da marca Wetcorr–Nilu;
- h) velocidade (0 m/s a 60 m/s) e direção (0 a 360 graus) do vento, através de equipamento marca R.M. Young; e
- i) temperatura do solo, através de termômetro da marca Campbell Scientific Inc.

Todos os sensores estão conectados a um equipamento programável de aquisição de dados, alimentado por sistema de baterias, conectadas a células fotovoltaicas, que podem manter o sistema independente da rede elétrica por vários meses. A ligação *on-line* do sistema, via Internet, está em implementação, o que aumentará ainda mais a confiabilidade dos dados.

## Resultados obtidos

### Disponibilização de infra-estrutura para a sociedade

As estações estão em operação e já oferecem estrutura para quatro projetos de pesquisa:

1. Estudo da lixiviação de biocida, em tinta de base aquosa, e sua relação com o crescimento de microrganismos. Esse estudo está em desenvolvimento no Projeto “Impacto ambiental das tintas imobiliárias”, financiado pela Finep/Habitare e Abrafati, sob coordenação de Vahan Agopyan (Poli/USP);
2. Estudo da durabilidade de tintas acrílicas, por meio da exposição de películas livres ao envelhecimento natural. A pesquisa faz parte do projeto “Tinta látex acrílica para construção civil: influência da formulação na microestrutura e nas propriedades da película”, financiado pela Fapesp, sob coordenação de Kai L. Uemoto (Poli/USP);
3. Estudo da influência da pintura sobre a durabilidade de perfis de PVC rígido para esquadrias, que tem como coordenador Antonio Rodolfo Junior (Braskem); e
4. Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de telhas de fibrocimento (Finep/Habitare; Fapesp; Infibra; Imbralit), sob coordenação de Holmer Savastano Jr. (FZEA/ USP).

A disponibilidade do projeto tem sido divulgada em diferentes eventos, através de *banner* específico (Figura 11).

## Resultados de pesquisas

Os primeiros resultados de pesquisas realizadas utilizando a rede de estações já começam a ser publicados.

A Figura 12 apresenta os resultados de um estudo de colonização de superfícies pintadas com tinta emulsão acrílica, com diferentes volumes de pigmento e presença ou não de biocida. Os estudos demonstram claramente a influência tanto do volume de pigmento quanto do clima na colonização de fungos, o que coloca em questão o desenvolvimento de formulações padrão de tintas para todo o mercado brasileiro. É impressionante que essas diferenças ficam visíveis em um espaço

de tempo bastante curto, inferior a um ano. Esses dados já foram repassados para a indústria, parceira no projeto, e no médio prazo poderão resultar em pinturas mais duráveis, beneficiando os usuários dos produtos.

## INFRA-ESTRUTURA BRASILEIRA PARA ESTUDOS DE DURABILIDADE DE PINTURAS POR ENVELHECIMENTO NATURAL

<http://durar.pcc.usp.br>

**ENVELHECIMENTO NATURAL**

Estuda o efeito de parâmetros climatológicos, ambientais e microclimáticos na degradação de materiais.

Facilita a possibilidade de utilizar amostras comerciais, permitindo inclusive analisar o efeito dos substratos nos processos de degradação.

Oferece confiabilidade nos resultados, pois trabalha em um só teste todos os parâmetros ambientais, buscando em conta o sinergismo entre fatores controlados e não controlados da infituaçãoção das falhas de degradação típicas dos ambientes de envelhecimento acelerado.

Parâmetros climatológicos, ambientais e microclimáticos variam ao longo do Brasil, sendo necessário estabelecer protocolos de instalação de equipamentos para ser "representativos".

A rede de estações, que opera em condições reais, tem a vantagem de possibilitar a degradação a partir dos parâmetros ambientais relevantes (função climato-espacial), permitindo realizar pesquisas de vida útil em diferentes situações, com grande confiabilidade.

**Alunos de Pós-Graduação**

Alunos de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (USP)

Alunos de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (UFPA)

Alunos de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (UNICAMP)

Fachada com bioventilação típica das pinturas

---

### ESTAÇÕES

Localização das estações

**SÃO PAULO**

Latitude 23° 37' 03" S  
Longitude 47° 27' 50" W  
Altura (m) 820  
Precipitação (mm) 1348

**RIO GRANDE**

Latitude 32° 02' 06" S  
Longitude 52° 05' 55" W  
Altura (m) 2  
Precipitação (mm) 1323

**PIRASSUNUNGA**

Latitude 21° 59' 40" S  
Longitude 49° 20' 22" W  
Altitude (m) 675  
Precipitação (mm) 1298

**BELEM**

Latitude 1° 27' 21" S  
Longitude 48° 10' 16" W  
Altitude (m) 4  
Precipitação (mm) 3030

### MEDIDAS & EQUIPAMENTOS

Estações Campbell 2158/2159. Alimentação por energia solar. Manutenção em tempo real dos seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar (sensor de platina - 40 a 60 °C Vaisala)
- Umidade relativa do ar (sensor capacitivo 0 a 100% - Vaisala)
- Radiação solar global (50mm x 200mm - Kipp & Zonen)
- Radiação solar na faixa do ultravioleta (300nm a 400nm, Kipp & Zonen)
- Precipitação (Estação, medição de 0,2 mm, Hydrological Services)
- Tempo de superfície úmida (DewPoint, 30s)
- Velocidade e direção do vento (velocidade 0 a 60 m/s, e direção 0 a 360 graus, 8 M Young)
- g de água de chuva (ICM)
- Temperatura do solo (1,5°C a 10°C, Campbell, Belém, Rio Grande e Pirassununga)
- Canais adicionais para medidas sob demanda

---

### PATROCINADORES

### ENTIDADES

FAPESP - Fundação Universidade do Rio Grande

USP - Universidade Federal de São Carlos

UFPA - Universidade Federal do Pará

---

### PARCERIAS

Parcerias com o setor produtivo e acadêmico. O projeto tem por objetivo oferecer informações para estudos de durabilidade para os setores produtivo e acadêmico. As parcerias podem ser estabelecidas visando:

- Desenvolvimento de pesquisas conjuntas, inclusive em combinação com estudos de envelhecimento acelerado (CAE).
- Caracterização acelerada, labor de rotina, laboratório de testes, câmara de SO2.
- Ócio de mão-obra e materiais, técnicas climáticas.
- Fornecimento de dados climatológicos.
- Disponibilização de áreas para instalação de estações de prova em pequenas e grandes dimensões, incluindo instalação de amostras, imagens por computador.

### CONTATOS

Interessados em parcerias, favor enviar e-mail para [durar@pcc.usp.br](mailto:durar@pcc.usp.br)

Figura 11 – Banner de divulgação da rede Durar de estações de envelhecimento natural

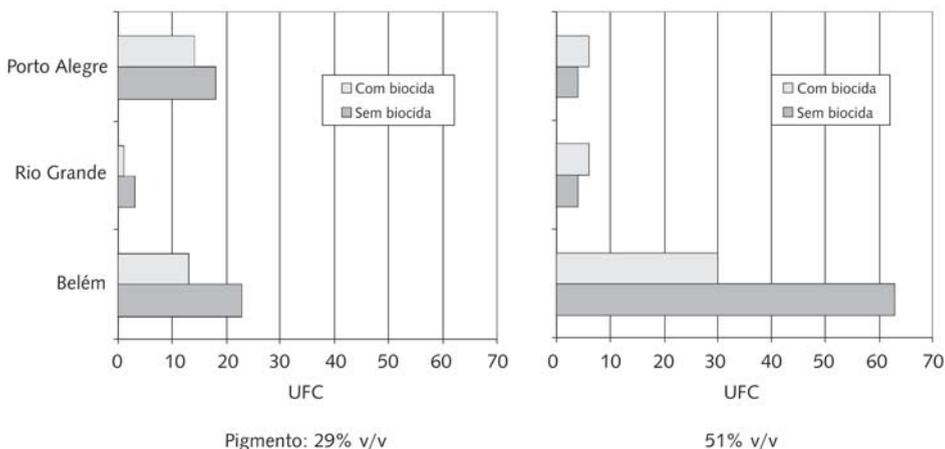


Figura 12 – Estudo do efeito do volume de pigmento na tinta e da presença de biocida na bioterioração (expressa em unidades formadoras de colônias – UFC), em diferentes estações de envelhecimento (exposição de apenas 30 dias). Dados gentilmente cedidos por Márcia Shirakawa.

No projeto Desenvolvimento de Tecnologia para Fabricação de Telhas de Fibrocimento – CIM CEL, executado pela USP, um dos principais desafios é analisar a durabilidade dos novos componentes de fibrocimento reforçado com celulose e PVA. A Figura 13 resume os resultados da evolução do comportamento mecânico de corpos-de-prova de fibrocimento, que utiliza fibras de PVA e celulose, no lugar do amianto, quando submetidas ao envelhecimento natural e acelerado, comparativamente ao desempenho original.

Novamente, observam-se diferenças significativas na evolução do comportamento mecânico entre amostras expostas nos diferentes sítios e dessas com o envelhecimento acelerado. Essa é uma demonstração prática da importância de incluir nos estudos de durabilidade o envelhecimento natural, preferencialmente em diversos sítios, combinados com envelhecimento acelerado. O estudo da microestrutura do material revelou que os corpos-de-prova apresentaram diferenças significativas na porosidade (Figura 14), provavelmente devido ao diferente grau de carbonatação, conforme medido por termogravimetria. A diferença na carbonatação pode estar associada a diferenças em temperatura e regime de chuvas. As conclusões disponíveis, até o momento, mostram uma acentuada redução da

tenacidade do material para níveis ainda muito superiores ao cimento amianto convencional e um efeito pouco acentuado na variação da resistência à flexão, medida pelo módulo de ruptura, o que permitiu a colocação do produto no mercado.

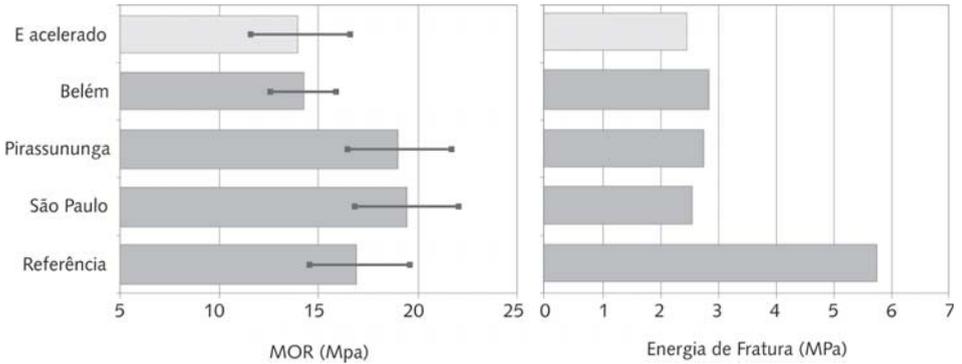


Figura 13 – Comparação entre resultados de envelhecimento acelerado e envelhecimento natural (1 ano), em três diferentes estações de corpos-de-prova de fibrocimento sem amianto, reforçada com 3% de PVA (DIAS, 2005). Observar que os corpos-de-prova expostos em Belém apresentaram acentuada redução no módulo de ruptura (MOR), enquanto as amostras de Pirassununga e São Paulo apresentaram ganho da propriedade.

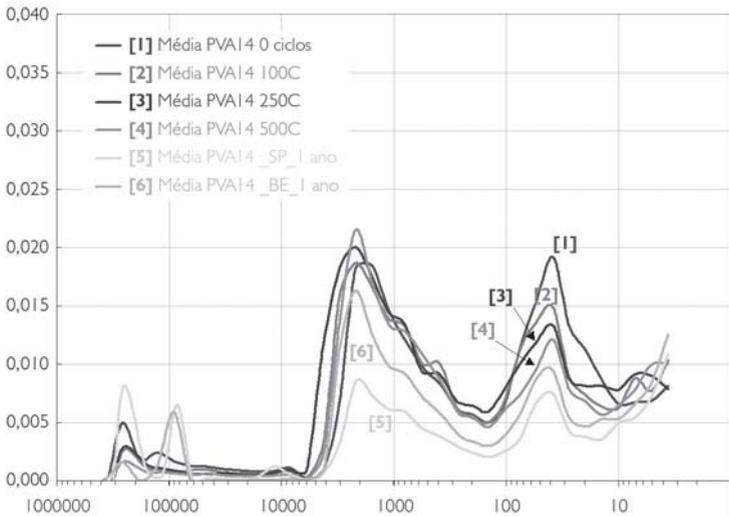


Figura 14 – Efeito dos diferentes envelhecimentos na distribuição de poros de fibrocimento sem amianto (1,4% de PVA). Observar que os corpos-de-prova submetidos ao envelhecimento natural apresentam menor porosidade em todas as faixas. Especialmente na faixa entre 10.000 nm e 1.000 nm, o produto envelhecido em Belém apresenta maior porosidade do que o envelhecido em São Paulo (DIAS, 2005).

MÊS	Temperatura do ar (°C)			
	Média das máximas diárias	Média das mínimas diárias	Máxima absoluta	Mínima absoluta
Janeiro	25,8	18,6	31,1	16,1
Fevereiro	26,2	18,3	32,1	15,0
Março	26,4	17,6	31,1	14,2
Abril	26,1	18,1	29,7	14,7
Maiο	21,6	14,2	28,1	8,8
Junho	21,6	12,7	25,9	7,9
Julho	20,6	12,7	26,4	7,3
Agosto	23,7	12,9	30,2	6,7
Setembro	27,9	16,3	34,2	12,5
Outubro	23,2	15,8	31,6	10,3
Novembro	25,9	17,6	32,4	13,9
Dezembro	25,7	17,9	30,9	14,4
No ano	24,6	16,1	30,3	11,8

Quadro 6 – Resultados medidos na estação de envelhecimento de São Paulo, no ano de 2004

## Comentários finais

O estudo de durabilidade de materiais e componentes deverá, no futuro, se tornar mais relevante e importante, seja na área acadêmica, na pesquisa e na indústria. Esses estudos devem abranger não só os materiais utilizados atualmente, mas também incluir o concreto armado, madeiras de diferentes espécies, madeiras submetidas a diferentes tratamentos, etc.

MÊS	Umidade relativa do ar (%)			
	Média das máximas diárias	Média das mínimas diárias	Máxima absoluta	Mínima absoluta
Janeiro	78	68	93	50
Fevereiro	85	64	93	46
Março	83	61	92	46
Abril	84	63	90	47
Maiο	83	67	90	46
Junho	83	65	92	50
Julho	84	66	92	50
Agosto	79	53	87	38
Setembro	76	48	88	25
Outubro	84	65	91	32
Novembro	81	60	91	38
Dezembro	85	65	91	46
No ano	82,0	62,2	90,6	42,9

Quadro 6 – (Continuação)

Nesse quadro, a existência de uma rede de estações de envelhecimento, pública, com procedimentos padrão de instrumentação ambiental é infra-estrutura indispensável para complementar e esclarecer os resultados dos já tradicionais métodos de envelhecimento acelerado, como mostram as referências estrangeiras e os resultados já obtidos na rede brasileira.

MÊS	Precipitação total mensal (mm)	Rad. solar global e m sup. horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )	Rad. UV em sup. horizontal (Wh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	230	4.482	203
Fevereiro	200	4.649	206
Março	145	4.503	191
Abril	86	4.024	166
Maiο	63	2.995	119
Junho	52	2.898	108
Julho	33	3.017	112
Agosto	1	4.068	142
Setembro	1	5.031	174
Outubro	82	3.767	161
Novembro	201	5.233	222
Dezembro	82	4.832	213
No ano	1.177	4.124,8	168,3

Quadro 6 – (Continuação)

A rede hoje existente deverá ser ampliada com algumas poucas estações complementares e necessita receber substancial reforço em termos de equipamentos de monitoramento ambiental, particularmente os relativos a poluentes atmosféricos como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, entre outros.

## Referências

AINDOW, A. J.; OAKLEY, D. R.; PROCTOR, B. A. Comparison of the weathering behaviour of GRC with predictions made from accelerated ageing tests. **Cement and Concrete Research**, v. 14, Issue 2, p. 271-274, Mar. 1984.

CIB. **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components**. Cib, Rotterdam, Mar. 2004. (CIB Publication 295).

DIAS, C. M. R. **Efeitos do envelhecimento na microestrutura e comportamento mecânico dos fibrocimentos**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Poli, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ELBIR, T. A GIS based decision support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large Turkish cities. **Atmospheric Environment**, v. 38, Issue 27, p. 4509-4517, Sept. 2004.

FOLIENSTE, G. C.; LEICESTER, R. H.; WANG, C.; MACKENZIE, C.; COLE, I. Durability design for wood construction. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 1, 11 Jan. 2002.

JERNBERG, P.; SJÖSTRÖM, C.; LACASSE, M. A.; BRANDT, E.; SIEMES, T. **Service life and durability research**. In: Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components. CIB, Rotterdam, Mar.2004. p. 1.1-59. (CIB Publication 295).

HAAGENRUD, S. **Factors Causing Degradation: Part II**. In: Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components. CIB, Rotterdam, March 2004. p.1.2-104. (CIB Publication 295).

HAAGENRUD, S. E.; HENRIKSEN, J. F.; SKANCKE, T. Modeling and mapping of degradation of built environment from available data and GIS based information tools. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, STOCKHOLM, 7., 1996 (ed. C. Sjöström), E & FN Spon, U.K., 19-23. **Proceedings...** May 1996. p. 209-18.

KORMANN, A. C. M.; PORTELLA, K. F.; PEREIRA, P. N.; SANTOS, R. P. Desempenho de fibras de aço em concretos sujeitos à abrasão hidráulica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., Instituto Brasileiro do Concreto: Belo Horizonte, MG. **Anais...** 17 a 22 de agosto de 2002. (Trabalho III059).

KUS, H. **Long TERM performance of water repellants on rendered autoclaved aerated concrete.** KTH/HIG Gävle, 2002. (Tese de doutorado).

LITHERLAND, K. L.; OAKLEY, D. R.; PROCTOR, B. A. The use of accelerated ageing procedures to predict the long term strength of GRC composites. **Cement and Concrete Research**, v. 11, Issue 3, p. 455-466, May 1981.

REISS, D.; RIHM, B.; THÖNI, C.; FALLER, M. Mapping stock at risk and release of zinc and copper in Switzerland: dose response functions for runoff rates derived from corrosion rate data. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 159, Issue 1, p. 101-113, Nov. 2004

## Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe e demais parceiros do projeto e também à Dra. Márcia Aiko Shirakawa e ao Eng. Cléber Marcos Ribeiro Dias, pela sessão dos dados que ilustram a utilização da estação de envelhecimento.



**Kai Loh Uemoto** é bacharel em química pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (1972); Mestre e Doutora em Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), respectivamente em 1992 e 1998; Professora convidada do Departamento de Engenharia de Construção Civil, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) desde 2000; Química Pesquisadora do Agrupamento de Materiais de Construção Civil da Divisão de Engenharia Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT) de julho de 1973 e maio de 1995; Coordenadora da Comissão de Estudo de Tintas para a Construção Civil de 1990 até hoje. Atua na área de desempenho e durabilidade de materiais de construção, com ênfase em tintas. É autora de dois livros e artigos em congressos nacionais e internacionais na área de sustentabilidade.

E-mail: kai.uemoto@poli.usp.br

**Paula Ikematsu** é tecnóloga em Construção Civil pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC (2004). Atualmente é mestranda na Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil. Iniciação científica no projeto “Impacto ambiental das tintas imobiliárias”. Atua na área de Materiais de Construção, com ênfase em tintas.

E-mail: paula.ikematsu@poli.usp.br

**Vahan Agopyan** é engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1974); Mestre em Engenharia Urbana e de Construções Cíveis pela EPUSP em 1979; PhD (Civil Engineering) pelo King’s College da Universidade de Londres em 1982; Professor Titular de Materiais de Construção Civil da EPUSP, onde foi Diretor de 2002-2006; Presidente do Conselho Superior do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Foi Presidente do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (IEE/USP) no período de 2002-2006. Membro dos conselhos superiores da CAPES/MEC, da FAPESP e do IMT. Foi membro do Conselho Superior e Vice-Presidente do CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Atualmente é Diretor-Presidente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Atua em desenvolvimento e aprimoramento de materiais e componentes de construção bem como na aplicação do conceito de sustentabilidade da construção civil.

E-mail: vahan.agopyan@poli.usp.br

# 3.

## Impacto ambiental das tintas imobiliárias

Kai Loh Uemoto, Paula Ikematsu e Vahan Agopyan

### Resumo

O problema ambiental tem acarretado a necessidade de emprego de materiais de baixo impacto ao meio ambiente. As políticas públicas impuseram requisitos ambientais a inúmeras atividades, sendo a construção civil uma delas. A demanda por produtos ambientalmente menos agressivos tem crescido paralelamente. Os efeitos dos compostos orgânicos voláteis (VOCs) ao meio ambiente motivaram este estudo, que tem como objetivos fazer um diagnóstico do mercado nacional e levantar e fornecer critérios ecológicos nacionais às indústrias de tinta, para que elas possam se adequar, de forma evolutiva, aos teores de VOC propostos internacionalmente. Os resultados obtidos no estudo deverão dar suporte às indústrias, na otimização de formulações de tintas imobiliárias com menor impacto ambiental, e conscientizarão os construtores, os aplicadores e os usuários quanto ao efeito nocivo dos VOC durante a construção, uso e manutenção dos edifícios. Este trabalho discute a metodologia utilizada para a identificação e quantificação dos VOCs emitidos pelas tintas látex, esmalte sintético, vernizes e

solventes, bem como apresenta os principais constituintes emitidos por esses produtos e discutem-se os seus riscos à saúde. Os resultados preliminares obtidos confirmam os dados de literatura, os quais mostram que as tintas contêm ingredientes nocivos ao homem e ao meio ambiente.

## 1 Introdução

Os produtos usados na pintura de edifícios emitem compostos orgânicos voláteis emitidos (VOCs), que contribuem para a poluição atmosférica, afetam a saúde do trabalhador durante a fase de construção do edifício, como também reduzem a qualidade do ar presente no interior do edifício, prejudicando a saúde dos usuários. Nos países do hemisfério norte, onde o número de edifícios com ar condicionado é muito elevado, essa preocupação já existe há longo tempo.

As agências de proteção ambiental dos EUA, Canadá e da União Européia já impuseram restrições quanto ao volume máximo de VOCs como uma estratégia para prevenir o impacto ambiental. As restrições impostas à emissão de VOC têm tido uma grande influência na inovação de produtos nas indústrias de tinta, inclusive no Brasil. No mundo inteiro, a obtenção de tintas ambientalmente amigáveis tem sido uma das principais linhas de pesquisa, o que levou a mudanças significativas na formulação, produção e aplicação desses produtos. Várias tecnologias estão sendo adotadas com sucesso, como a formulação de produtos sem odor e com menor teor de VOC ou até isentos desse tipo de emissão, com elevado teor de sólidos, com redução da quantidade de solventes aromáticos, com reformulação dos solventes normalmente empregados (HARE, 2000), uso de solventes oxigenados, substituição de pigmentos à base de metais pesados, substituição de produtos de base solvente por emulsões, uso de novos tipos de coalescentes nas tintas de base aquosa e produção de tintas em pó.

Este trabalho apresenta os resultados preliminares obtidos no projeto “Impacto ambiental das tintas imobiliárias”, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em parceria com a Associação Brasileira dos Fabricantes de

Tintas (Abrafati), com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O projeto tem como objetivos discutir a questão ambiental na indústria de construção civil, a importância do desenvolvimento de produtos de baixo VOC, levantar e fornecer critérios ecológicos nacionais às indústrias de tintas, para que elas possam se adequar aos teores de VOC propostos internacionalmente, conscientizar o meio técnico sobre os efeitos da emissão desses compostos, durante a execução da pintura e o uso do edifício, e, além disso, desenvolver a metodologia utilizada para identificar e quantificar o VOC de tintas látex, esmalte sintético, vernizes e solventes e apresentar os resultados preliminares obtidos no estudo.

## 2 O VOC na construção civil

A construção civil também é geradora de poluição ambiental; os edifícios alteram significativamente o meio ambiente durante a fase de construção e durante o seu uso. As atividades no canteiro geram poluição sonora, resíduos de construção, materiais particulados e, no caso dos produtos de pintura, VOC, que constitui uma séria fonte de poluição atmosférica. Existe uma crescente preocupação com os produtos da indústria da construção no que diz respeito à qualidade ambiental (EQ - Environmental Quality). Esses produtos, além de serem avaliados sob o ponto de vista de desempenho, em breve também serão avaliados sob critérios ambientais. A seleção dos materiais de construção deixará de ser feita somente com base em critérios estéticos, de durabilidade ou de custo, mas também estará condicionada a questões como a contaminação do meio ambiente e a toxidez dos produtos (CHEVALIER; LE TÉNO, 1996). Em um futuro próximo, os critérios ecológicos ficarão agregados aos critérios de desempenho, prazo e custo. A questão ambiental se constituirá em um diferencial importante a ser usado como instrumento para divulgação e expansão mercadológica. Mesmo no Brasil, na própria indústria de tintas, para atrair consumidores, alguns fabricantes já divulgam a venda de produtos isentos de emissão de VOC e toxicidade.

O problema ambiental tem sido muito discutido nas últimas décadas. O meio ambiente, a segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores passaram a ser considerados paradigmas da década de 90. A última década foi dedicada à qualidade, simbolizada pelas normas ISO 9000, e as próximas serão direcionadas pela questão ambiental, simbolizadas pelas normas ISO 14000 (meio ambiente) – derivadas da BS 7750 –, que já vêm sendo implementadas em nosso país. Estão em fase de gestação as normas ISO 18000 (segurança e saúde ocupacional), derivadas das normas BS 8800 (SALVI, 2000).

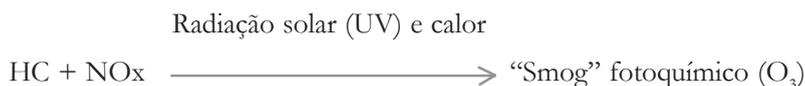
Visando reduzir o impacto ambiental dos edifícios em vários países no mundo, como o Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, etc., têm-se desenvolvido sistemas de avaliação do desempenho ambiental (SILVA et al., 2003). No Brasil, também está sendo desenvolvido esse tipo de avaliação, tendo como base metodologias internacionais, mas adaptadas às nossas condições sociais, econômicas e ambientais (SILVA, 2000). A sustentabilidade foi debatida de forma abrangente e multidisciplinar, para uma realidade da América Latina, na 1ª Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, realizada em julho de 2004. A gestão da qualidade revolucionou as construtoras durante a última década e, hoje, a gestão ambiental está sendo considerada de elevada importância.

## 3 A influência do VOC na qualidade do ar

### 3.1 O VOC na formação do ozônio

O VOC é definido pela norma ASTM D 3960, “Standard Practice for Determining Volatile Organic Compound (VOC) Content of Paints and Related Coatings”, como sendo qualquer composto orgânico que participa de reações fotoquímicas na atmosfera. As tintas, principalmente aquelas de base solvente, como a tinta a óleo, o esmalte sintético e os produtos usados durante a pintura, emitem na atmosfera hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, hidrocarbonetos contendo halogênio, cetonas, ésteres, álcoois, os quais contribuem na formação do ozônio troposférico (“smog” fotoquímico), que tem efeitos prejudiciais à saúde, principalmente para a população que faz parte de grupos vulneráveis a esse agente.

Os hidrocarbonetos (VOCs), em combinação com os óxidos de nitrogênio, a radiação UV presente na luz solar e o calor, reagem entre si formando compostos oxidantes, como o ozônio troposférico, que é o responsável pela formação da névoa fotoquímica urbana, conhecida popularmente por “smog” (BREZINSKI, 1995).



O ozônio é considerado pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA) um dos principais integrantes do “smog” fotoquímico (vide Figura 1). A composição química do solvente influi nos níveis de reatividade química, produzindo diferentes teores de ozônio. A radiação solar e o calor também influem na formação do ozônio. Assim, essa substância se forma, principalmente, no verão, quando há muito sol e calor (EPA, 1999).



Figura 1 - Efeito do “smog”<sup>1</sup>

### 3.2 O ozônio e o meio ambiente (externo)

O ozônio é uma substância gasosa simples, incolor, presente no ar que respiramos. Cada molécula de ozônio é composta de três átomos de oxigênio, um a mais do que a molécula de oxigênio que respiramos, o que o torna extremamente reativo.

De acordo com a ocorrência do ozônio, ele pode ser considerado “bom” ou “ruim” (Figura 2). Quando encontrado na estratosfera, de 16 km a 48 km da su-

<sup>1</sup> U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Smog – Who does hurt? EPA-452/K-99-001. July 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow/health/smog.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2005.

perfície terrestre, é “bom”. Esse tipo forma uma camada protetora contra a ação da radiação ultravioleta do sol (UV-b), prejudicial ao ser humano e a outros seres vivos, que leva a casos de câncer de pele, catarata e redução do sistema imunológico (EPA, 1999). Esse ozônio está sendo destruído pela ação de agentes químicos produzidos pelo homem, como os fluorclorocarbonos (CFCs), usados em refrigeradores, condicionadores de ar e sprays, bem como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (TAVARES, 1995).

Quando o ozônio está presente na troposfera, ao nível do solo, é considerado “ruim”. É aquele produzido fotoquimicamente pela ação da radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e VOC, causando efeitos sobre a saúde das pessoas e danos ao meio ambiente. Esse tipo pode causar irritação nos olhos e vias respiratórias, e diminuição da capacidade pulmonar. Pessoas que sofrem de problemas respiratórios, como enfisema, bronquite, pneumonia, asma e resfriados, têm maior dificuldade na respiração quando o ar apresenta elevados níveis de ozônio. Os efeitos são maiores durante a realização de exercícios físicos, pois aumenta-se a suscetibilidade dos pulmões, quanto a infecções, alergias e, inclusive, à influência de outros contaminantes. Estudos relacionados à saúde ocupacional mostraram que o ozônio danifica o tecido pulmonar e que os efeitos de sua insalubridade podem ser sentidos dias após o término da exposição, além de terem efeitos neurotóxicos (EPA, 1999).



Figura 2 - Esquema ilustrativo dos ozônios considerados “bom” e “ruim”<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Traduzido da U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). USA. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow>>. Acesso em: 3 de set. 2001.

Pelo fato de o ozônio ter caráter altamente oxidante, essa substância tem capacidade de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas, afetando a produção agrícola (SÃO PAULO, 2004).

### 3.3 Influência do ozônio no índice de qualidade do ar

O grupo de poluentes usados internacionalmente como indicadores de qualidade do ar são dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), materiais particulados (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). Esses poluentes foram consagrados universalmente devido à maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos ao meio ambiente. Internacionalmente, a concentração de cada um deles está relacionada com o valor índice, que resulta em um número adimensional, referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar. Cada um dos poluentes possui um índice, que recebe uma qualificação. Esse índice define, legalmente, as concentrações máximas de um componente atmosférico, para garantir a proteção da saúde e o bem-estar das pessoas. Os poluentes podem ser primários, emitidos diretamente pelas fontes de emissão, ou secundários, formados a partir de reações químicas entre os poluentes primários e/ou constituintes naturais presentes na atmosfera.

A divulgação da qualidade do ar é feita mediante a utilização de um índice, que foi concebido com base naquele desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos. No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pelo Ibama, através da Portaria Normativa n.º 348, de 14 de março de 1990, e foram submetidos ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), em 28 de junho de 1990, e transformados na Resolução Conama n.º 03/90. Conforme o Conama, considera-se “poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem, ou possam tornar, o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. Em São Paulo, os índices de qualidade do ar são divulgados diariamente pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb),

através de sua página eletrônica (homepage), junto com a previsão meteorológica da dispersão dos poluentes para as 24 horas seguintes.

Para uma análise sobre a importância do controle da emissão do VOC para o meio ambiente, tomou-se como exemplo a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Como já discutido anteriormente, o ozônio troposférico ( $O_3$ ) é criado por uma reação química entre os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e o VOC, na presença da radiação solar. Os dados dos dois poluentes, relacionados com a presença do VOC, estão apresentados na Tabela 1, em que também são mostradas as faixas de concentração do óxido de nitrogênio e do ozônio, nos diferentes índices de qualidade do ar, junto com as respectivas qualificações e a descrição dos seus efeitos sobre a saúde (SÃO PAULO, 2004). A regulamentação do Conama fixa, para o ozônio, um valor de  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para um tempo de amostragem de 1 hora<sup>3</sup>, para ambos os padrões, o primá-

Índice	Qualificação do ar	Faixa de concentração		Descrição dos efeitos sobre a saúde
		$NO_x (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	Ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
0-50	Boa	0-100	0-80	Nenhum impacto na saúde
51-100	Regular	101-329	81-160	Requer limitar a exposição de pessoas suscetíveis
101-199	Inadequada	321-1130	161-200	Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis e irritação na população sadia
200-299	Má	1.131-2.260	201-800	Decréscimo de resistência física e agravamento de sintomas em pessoas com problemas cardiorrespiratórios. Sintomas gerais em população sadia.
300-399	Péssima	2.261-3.000	801-1.000	Aparecimento prematuro de doenças e agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.
400	Crítica	>3.001	>1.001	Morte prematura de pessoas doentes e idosos. Sintomas adversos que afetam a atividade normal de pessoas saudáveis

Tabela 1 - Índice de qualidade do ar:  $NO_x$  e  $O_3$

rio e o secundário; e para o óxido de nitrogênio, 320 mg/m<sup>3</sup>, para um tempo de amostragem de 1 hora<sup>3</sup>, no padrão primário, e 190mg/m<sup>3</sup>, no padrão secundário.

Os dados extraídos do Relatório de Qualidade do Ar, no Estado de São Paulo, da Cetesb (SÃO PAULO, 2004), mostram que, nos últimos 5 anos (1999 a 2003), o NO<sub>2</sub> não apresentou tendência de concentração na RMSP e que também não foi observada nenhuma ultrapassagem em relação ao padrão anual (100 mg/m<sup>3</sup>). Quanto ao ozônio, os dados mostram que nos últimos 5 anos esse poluente ultrapassou o padrão de qualidade do ar em, aproximadamente, 75 dias, ao redor de 20% dos dias do ano (SÃO PAULO, 2004), conforme apresentado na Tabela 2. Um valor elevado de ozônio, além de afetar a saúde do ser humano, modifica o equilíbrio ambiental dos ecossistemas ou altera a bioquímica das plantas (SÃO PAULO, 2004). Os dados apresentados pela Cetesb confirmam a necessidade de se implementarem estratégias de controle de redução de emissões de poluentes precursores de ozônio, como o VOC.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
1999	12	8	7	6	0	3	0	8	14	5	7	10	80
2000	5	2	1	8	0	2	2	4	4	17	12	10	67
2001	9	8	17	1	0	2	3	5	7	11	11	4	78
2002	5	3	16	7	2	0	0	6	5	22	6	10	82
2003	6	18	9	7	1	3	1	4	6	8	5	4	72

Tabela 2 - Número de dias de ultrapassagem do padrão de ozônio na RMSP (SÃO PAULO, 2004)

<sup>3</sup> Não deve ser excedido mais de uma vez no ano.

### 3.4 Ambiente interno dos edifícios

A qualidade do ar no interior de edifícios tem grande impacto na saúde e no bem-estar das pessoas. O tema Qualidade do Ar de Interiores (QAI) surgiu na década de 70, quando houve escassez de energia nos países desenvolvidos de clima frio. Nesse período, iniciou-se a construção de edifícios com menor troca de calor entre o ambiente interno e o externo, como forma de redução do consumo de energia (GIODA; AQUINO NETO, 2003). As alterações efetuadas geraram problemas de saúde relacionados com a qualidade do ar no interior dos edifícios, os quais foram denominados como Síndrome de Edifícios Doentes (SED), reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde o início da década de 80. Conforme essa entidade, os sintomas mais comuns são irritação e obstrução nasal, desidratação e irritação da pele, problemas na garganta e nos olhos, dor de cabeça e cansaço, o que leva à perda da concentração.

O aparecimento dos problemas de qualidade do ar, provavelmente, foi devido ao aumento dos níveis de poluição na atmosfera, como também devido a mudanças efetuadas na produção dos materiais de construção e nos métodos construtivos. Os materiais usados no interior dos edifícios, principalmente os de acabamento e os mobiliários, são fontes típicas de emissão de poluentes. Essas fontes de poluição são as principais causadoras da má qualidade do ar no interior de moradias e em locais públicos, como ambientes de trabalho, escolas, restaurantes, shopping centers, salas de conferência e outros. Além dos problemas relacionados pela OMS, essas fontes ainda causam danos à saúde como alergia e doenças como asma, que levam à morte prematura. Ambientes saudáveis estimulam idéias e contribuem para a produtividade.

O efeito causado pela emissão de VOC em ambientes internos de edifícios tem sido uma preocupação constante e muito discutido nas últimas décadas. No Brasil os trabalhos sobre o tema foram iniciados em 1992 pelo Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (Ladetec), da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em conjunto com o Laboratório de Aerossóis e Gases Atmosféricos (Laga), do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (GIODA; AQUINO NETO, 2003).

Conforme a EPA (1999), os materiais de construção são considerados uma das principais fontes de poluição em ambientes fechados. Internacionalmente, têm sido muito estudada a emissão de VOCs pelas tintas imobiliárias e pelos materiais e componentes de acabamento, principalmente nos países do hemisfério norte e Ásia, onde é comum o uso de ar-condicionado (THAM, 2000; YANG et al., 2001). A maioria dos estudos realizados teve como objetivo o desenvolvimento de metodologias para a caracterização e quantificação desse tipo de emissão no interior dos edifícios, bem como o efeito desses compostos no meio ambiente e na saúde do homem (SATO, 2000; KASANEN, 2000). Os resultados desses estudos mostraram que os VOCs emitidos pelos materiais de construção de acabamento de base polimérica influem na qualidade do ar do ambiente interno de edificações, causando desconforto e danos à saúde dos usuários (POPA; HAGHIGHAT, 2003).

Com relação aos produtos de pintura, a emissão se inicia na fase final de construção, principalmente durante as operações de pintura e secagem, bem como nas primeiras idades de ocupação. As substâncias emitidas durante a execução da pintura podem afetar a saúde do trabalhador, resultando em problemas de saúde ocupacional (SATO et al., 2000) e prejuízos na sua produtividade. As emissões devem ocorrer durante todo o período de ocupação do edifício, pelo fato de estes receberem manutenções periódicas freqüentes, principalmente em ambientes públicos, escolas, escritórios, etc. Os estudos mostraram que a emissão contínua de VOC em ambiente interno, durante anos, pode levar à ocorrência de problemas característicos de SED (SENITKOVA, 2000; YU; CRUMP, 1998). Hoje, no desenvolvimento de novos produtos de construção, já estão sendo considerados os possíveis impactos a serem causados pela emissão de VOCs na saúde e no conforto dos ocupantes dos edifícios, objetivando sempre a obtenção de produtos mais saudáveis (WOLKOFF, 1999).

## 4 Regulamentação internacional

A discussão sobre a limitação nos teores de VOCs iniciou-se nos anos 80, na Europa e nos Estados Unidos, tendo como objetivo a redução da poluição ambiental

causada por vários setores industriais. Estudo realizado pela EPA, enviado ao Congresso em 1995, demonstrou que produtos de consumo comerciais, como tintas da linha arquitetura e produtos de higiene e limpeza, contribuem, anualmente, com aproximadamente 28% de emissão do VOC. Com base nesses dados e em conhecimentos científicos, quanto à influência dessas emissões sobre a formação do ozônio, foi decidido regulamentar as tintas, por apresentarem uma elevada fonte de emissão de VOCs.

Na indústria de tintas e vernizes existe um consenso global quanto à necessidade de se limitar o teor de VOCs, para reduzir o impacto ambiental, e de existir uma regulamentação global uniforme, principalmente pelo fato de o mercado atual ser globalizado. No entanto, existem diferenças entre os europeus e os americanos quanto ao tipo de solvente considerado como VOC. Para os europeus, todos os solventes são considerados como VOC, já que todos são potencialmente reativos na atmosfera, enquanto, para os americanos, só devem ser considerados VOCs os solventes considerados suficientemente reativos. Assim, solventes como acetona, diclorofluorometano, fluoreto de etila e cloreto de metileno não seriam considerados VOCs de acordo com o consenso americano.

Os Estados Unidos, Austrália e países da União Européia já impuseram regulamentações limitando a emissão de VOC nas tintas da linha arquitetura. A maioria dos estados americanos possui limites regionais próprios quanto ao teor máximo de VOC nos diferentes tipos de produto da linha arquitetura e de manutenção industrial, já que a poluição ambiental é diferente para cada uma das regiões. No Canadá, para contribuir com a redução do nível de ozônio troposférico e de “smog”, o Canadian Paint & Coating Association assinou um acordo voluntário com o Environment Canadá para a redução de VOCs de 45% até 2015.

Na Tabela 3 está apresentada a regulamentação nacional dos Estados Unidos para a emissão de VOC nos revestimentos da linha arquitetura, apresentada pela sua entidade de meio ambiente, a EPA. Os valores de teor máximo de VOC foram extraídos de documento da U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2002), que contempla diferentes categorias de tinta, como para uso interior, exterior, tintas para manutenção industrial, tintas para madeira, telhados, tintas de fundo (anticorrosivos e seladores), etc.

Tipo de produto	Limites VOC (g/L)
Revestimentos antigrafito	600
Revestimentos betuminosos	500
Revestimentos de proteção de concreto	400
Revestimentos de elevada durabilidade	800
Revestimentos lisos, interior e exterior	250
Revestimentos para pisos	400
Revestimentos para sinalização	500
Revestimentos para manutenção industrial	450
Revestimentos multicoloridos	580
Revestimento de proteção para substratos metálicos não ferrosos	870
Revestimentos com textura, interior e exterior	380
Fundo para pré-tratamento ("wash-primers")	780
Fundo preparador e anticorrosivos ("primers")	350
Revestimentos termoplásticos para reparo e manutenção	650
Revestimentos para coberturas	250
Revestimentos para prevenção de ferrugem	400
"Stains", transparentes e semitransparentes	550
"Stains", opacos	350
"Stains", baixo teor de sólidos	120
Revestimentos para piscina	600
Revestimentos para marcação viária	150
Vernizes	450
Seladores e tratamentos impermeabilizantes	600

Tabela 3 - Regulamento da U.S. Environmental Protection Agency (EPA) sobre o teor máximo de VOC de tintas e vernizes da linha decorativa/arquitetura

Na Tabela 4 está apresentada a proposta de regulamentação da European Council (2003) para teor máximo de VOC de subcategorias de tintas e vernizes da linha decorativa.

Produto	Tipo	Limites (g/L)	
		Até 01/01/2007	Até 01/01/2010
Interior/fosco (Brilho < 25@60°)	Base água	75	30
	Base solvente	400	30
Interior/brilhante (Brilho > 25@60°)	Base água	150	100
	Base solvente	400	100
Exterior (substrato mineral)	Base água	75	40
	Base solvente	450	430
Interior e exterior (madeira e metal)	Base água	150	130
	Base solvente	300	-
Interior e exterior (vernizes e "stains")	Base água	150	100
	Base solvente	500	400
Fundo anticorrosivo "Primers"	Base água	50	30
	Base solvente	450	350
Fundo preparador	Base água	50	30
	Base solvente	750	750
Revestimento de alto desempenho monocomponente	Base água	140	140
	Base solvente	600	500
Revestimento de alto desempenho bicomponente	Base água	140	140
	Base solvente	550	500
Revestimento multicolorido	Base água	150	100
	Base solvente	400	100
Revestimento com efeito decorativo	Base água	300	200
	Base solvente	500	200

Tabela 4 - Proposta da União Européia, para teor máximo de VOC, para tintas e vernizes da linha decorativa/arquitetura

Na Tabela 5 está apresentada a especificação australiana elaborada pela Australian Paint Approval Scheme (APAS), com os limites de VOC, expressos em

g/L, para produtos *base água*, aplicáveis a partir de 01/01/2003 e de 01/01/2007. A APAS, nessa regulamentação, introduziu o conceito de valor médio e máximo, para permitir aos fabricantes de tinta maior flexibilidade nas formulações. Para cada tipo de produto listado, nenhum deles deve apresentar valor superior ao máximo.

Na Tabela 6 está apresentada a especificação australiana APAS para produtos *base água* sem os critérios para valores médios ou máximos. Na Tabela 7 está apresentada a especificação APAS para produtos *base solvente*. A APAS revisou alguns limites, que estão apresentados com asterisco (\*) na tabela. A amônia foi classificada como VOC e a acetona foi excluída. Os limites de VOC revisados, recomendados pela APAS, foram extraídos da publicação do Coatings, Regulations & The Environment (Core) (2003).

Tipo de produto	01/01/2003		01/01/2007	
	Médio g/L	Máximo g/L	Médio g/L	Máximo g/L
Fundo látex para ferro galvanizado	60	60	45	50
Fundo látex para exterior	55	65	55	65
Fundo látex para interior	65	70	60	65
Selador para interior	65	70	50	60
Fundo, exterior, para madeira	50	60	50	60
Tinta interior brilhante	75	90	60	75
Tinta interior semibrilho	70	90	60	80
Tinta interior fosco	65	95	50	75
Tinta interior, acabamento liso lavável	65	95	60	70
Tinta interior, acabamento liso para tetos	55	95	50	50
Tinta exterior brilhante	75	100	65	80
Tinta exterior semibrilho	70	80	60	80
Tinta exterior, acabamento liso e fosco	55	80	45	70
Tinta exterior fosco	50	80	50	80

Tabela 5 - Especificação da APAS com os limites de VOC para produtos *base água*, com critérios de valor médio e máximo

Tipo de produto	Valores de VOC, em g/L	
	01/01/2003	01/01/2007
Tinta látex para coberturas	100	100
Tinta látex para marcação	100	80
Tinta para marcação viária	80	80
Látex pigmentado para pisos	80	50
Tinta de baixo impacto ambiental	5	5
Revestimento de proteção de aço	100	80

Tabela 6 - Especificação da APAS com os limites de VOC para produtos base água

Tipo de produto	Valores de VOC, em g/L	
	01/01/2003	01/01/2007
Esmalte verde exército	550	550
Tinta de fundo verde exército	550	550
Tinta para cobertura, aço galvanizado	450*	400*
Tinta alquídica, interior/exterior, brilhante e semibrilho	450	400
Fundo, interior e exterior	450*	350
Tinta de marcação semibrilho (equipamento)	450*	450*
Esmalte exterior resistente a óleo e solventes	450	350
Fundo resistente a óleos e solventes	400	400
Fundo ("primer"), sem chumbo e cromatos	550*	500
Tinta de marcação viária	450*	450*
Verniz exterior monocomponente multiuso	550*	350*
Verniz interior monocomponente multiuso	500	450
Tinta para painel de gesso	450*	450*
Fundo pigmentado exterior para madeira	450*	350*
Fundo base de fosfato de zinco ("primer"), para metal	550*	350*
Selador interior, base solvente	450	400
Fundo ("primer")	450*	400*
Tinta pigmentada monocomponente para passeios	550	400
Revestimento de proteção para aço	450*	350*
Revestimento de proteção para aço, alquídico	450*	350*

Tabela 7 - Especificação da APAS com os limites de VOC para produtos de base solvente

A análise da regulamentação desses três países mostra que, de modo geral, os limites são fixados por tipo de produto, se base água ou solvente, se exterior ou interior, se decorativo ou de proteção. Observa-se, no entanto, que a regulamentação americana não diferencia produtos de base aquosa de produtos de base solvente (vide Tabela 3). Observa-se que, nos diferentes países, nem sempre foi utilizado um mesmo critério para a fixação dos limites e, além disso, os produtos de cada país nem sempre são equivalentes. De modo geral, pode-se dizer que, internacionalmente, existe uma tendência de fixação de limites para o VOC, expressos em g/L, e que o processo de redução dos teores será evolutivo.

## 5 Estudo do impacto ambiental das tintas imobiliárias

### 5.1 Metas do projeto

As metas estabelecidas para o projeto visam levantar e fornecer critérios ecológicos às indústrias de tinta, para que elas possam adequar os teores de componentes orgânicos voláteis (VOC) em tintas imobiliárias, de modo a minimizar o impacto ambiental.

Dentro desse projeto estão sendo desenvolvidas as atividades a seguir.

· **Desenvolvimento de metodologias para a identificação e quantificação:** de VOC de tintas de acabamento, vernizes, silicones, diluentes e produtos utilizados na limpeza de equipamentos de pintura, como thinner, gasolina, benzina e outros solventes.

· **Diagnóstico dos teores de VOC de sistemas de pintura do mercado:** serão selecionadas para o estudo diferentes classes de tinta, comercializadas pelos principais fabricantes do país, as mais vendidas do mercado e com diferentes tipos de acabamento (fosco, semibrilho), resultado das diferenças existentes em suas formulações (VOC alto, médio e baixo).

· **Caracterização dos materiais coletados:** as tintas do estudo devem ser

caracterizadas quanto aos teores de sólidos, veículo (resina) e pigmentos, através de análise química gravimétrica. Esses ensaios fornecem indicações quanto à composição básica das tintas e não fornecem a quantidade real dos constituintes, devido às limitações dos métodos.

· **Identificação e quantificação dos teores de VOC de tintas líquidas:** devem ser realizadas pelo método GC-MS (cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa).

· **Determinação da emissão de VOC de tintas e produtos para pintura, por perda de massa:** este método permite determinar os teores de VOC emitido durante o processo de aplicação e secagem da pintura em obra, e estudar os fatores críticos como temperatura, ventilação, etc. Os produtos ensaiados serão aplicados sobre substratos comuns em edificações, em condições controladas, simulando condições de obra, determinando-se o VOC (g/L) por perda de massa.

· **Identificação e quantificação dos VOC de pinturas:** as tintas de base água e de base solvente que apresentaram valores elevados de VOCs serão aplicadas sobre substratos comuns de construção civil e condicionadas em ambiente fechado. Os VOCs emitidos são coletados por multiadsorventes (Tenax GR e Carbopack), durante períodos predeterminados, e, posteriormente, deverão ser dessorvidos a 330 °C. Os voláteis serão transferidos a uma linha do sistema GC-MS, para análise. Essa técnica é bastante utilizada em estudos da qualidade do ar em interiores (THAM et al., 2000; SATO et al., 2000; KASANEN et al., 2000).

## 5.2 Materiais e métodos

No estudo foram coletadas do mercado da cidade de São Paulo 50 amostras de produtos constituídos por tinta látex, esmaltes sintéticos, vernizes, solventes e diluentes. Foram analisadas algumas características químicas desses produtos e identificada a composição dos seus VOCs. Nesse trabalho, para mostrar a metodologia de análise dos VOCs, foram escolhidas, aleatoriamente, três amostras de tinta látex e três amostras de esmalte sintético, produzidas por diferentes fabricantes.

### 5.2.1 Caracterização da composição básica das tintas

Os produtos foram caracterizados quanto ao:

- a) teor de voláteis, determinado pela secagem da amostra líquida, a 110 °C, conforme norma ASTM D 2369-98, “Standard test method for volatile content of coatings”;
- b) teor de pigmentos, estimado indiretamente pela calcinação da amostra, a 450 °C;
- c) teor de resina, também conhecido por veículo não volátil, estimado pela diferença entre o teor de não voláteis e o teor de pigmento; e
- d) teor de VOC, em %, dos esmaltes sintéticos, determinado usando-se o valor de teor de voláteis e das tintas látex por cromatografia gasosa. Os teores de VOC, em g/L, desses produtos foram estimados por cálculo, tomando-se por base a densidade do esmalte, igual a 1,0 g/cm<sup>3</sup>, e a do látex, igual a 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

### 5.2.2 Identificação e quantificação dos VOCs

A cromatografia gasosa, acoplada à espectrometria de massa (GC-MS), é uma técnica comumente usada para a análise de solvente e VOC (YOUNG, 1992; SIMONSICK, 1992). A análise é constituída por uma separação prévia da fração volátil das amostras, por cromatografia gasosa, e, posteriormente, efetuada espectrometria de massa para identificação dos compostos. No estudo, as análises foram realizadas utilizando-se um cromatógrafo marca Shimadzu (QP-5050A), acoplado a um acessório específico para a determinação de compostos voláteis, denominado Headspace Sampler, também da marca Shimadzu (HSS-4A), que permite analisar, qualitativa e quantitativamente, os componentes voláteis de amostras líquidas ou sólidas. A amostra, na forma líquida ou sólida (película), é colocada em um frasco selado e aquecida a uma temperatura preestabelecida, sendo a fase gasosa recolhida por uma seringa aquecida e injetada no cromatógrafo acoplado ao espectrômetro de massa.

A espectrometria é uma técnica utilizada na identificação de compostos orgânicos puros ou misturas, através de quebras da molécula, via processos de excitação interna e, posteriormente, o registro dos fragmentos resultantes dessas quebras, em forma de espectrograma. Essa técnica é muito utilizada na análise de produtos naturais (óleos essenciais) e solventes orgânicos.

A identificação é feita por comparação com espectro padrão ou de referência, em banco de espectros para pesquisa, que possui cerca de 40.000 compostos, permitindo chegar às fórmulas de amostras desconhecidas. Na identificação foram utilizadas bibliotecas NIST 107, NIST 21 e WILEY 229, contabilizando cerca de 275.000 espectros.

Para a identificação desses compostos é necessário destacar dois importantes parâmetros:

a) largura do pico (“width”): importante para diferenciar picos, característicos das substâncias, de possíveis ruídos, que aparecem, eventualmente, na cromatografia em forma de picos. A determinação do “width” é fundamental para o processo de identificação dos compostos representados pelos picos. Se a seleção do “width” não for adequadamente fixada, poderão ocorrer erros de interpretação dos compostos. No caso das amostras de tintas, o valor fixado foi 1,0 segundo, por apresentar maior resolução na análise dos compostos; e

b) rampa (“slope”): faz a integração dos picos da cromatografia e é usado para identificar o início e o fim do aparecimento dos picos. O valor do “slope” é selecionado conforme a linha-base – se acentuada, escolhe-se um valor ligeiramente maior ou menor, de modo que o composto encontrado nas bibliotecas seja o mais semelhante possível ao do cromatograma obtido.

Esses parâmetros são de extrema importância, porque a sua variação influi na quantidade de picos e na porcentagem de compostos encontrados nas amostras. Para as amostras de tinta de base aquosa (látex), o “slope” utilizado foi inferior aos de base solvente (esmalte sintético). O “slope” é um parâmetro que apresenta gran-

de variação, dependendo do tipo de resina e do tempo de cura da amostra. Devido a essa característica, não foi possível a adoção de um único valor.

### Preparação de amostras

O ensaio foi realizado em amostras de tinta (líquida) e em películas de pintura (seca), obtidas pela aplicação do produto em filme de polietileno, com extensor de barra de abertura nominal igual a 600 mm. A análise com a tinta líquida foi realizada depositando-se o material conforme recebido no frasco selado. No caso de película, a camada de pintura é separada do filme de polietileno, após períodos de secagem de 24 horas e 7 dias, em laboratório climatizado, à temperatura constante de 23 °C e 50% de umidade relativa, com troca de ar no ambiente e determinados os seus compostos voláteis. Os VOCs emitidos tanto pelas amostras de tinta líquida quanto pelas películas foram separados e identificados por espectrometria de massa, por comparação com espectro padrão ou de referência, nos bancos de espectros referidos anteriormente.

### Condições de operação

- Coluna DB-5: 30 m x 0,25 mm, 5% polar
- Gás de arraste: hélio
- Amostra ao redor de 2 g, em frasco de 30 mL, e aquecimento a 80 °C
- Rampa de temperatura: início 60 °C, durante 3 min, velocidade de aquecimento 10 °C/ min até 250 °C, durante 10 min.
- Identificação de espectro de massa, usando bibliotecas computadorizadas: NIST 107, NIST 21 e WILEY 229, consultadas no programa CLASS 5000.

79

## 6 Resultados e comentários

Na Tabela 8, são apresentados os resultados da caracterização química das seis amostras de tinta e, nas Tabelas 9 a 14, estão apresentadas as identificações qualitativas e quantitativas, por GC-MS, dos principais constituintes do VOC, nas

tintas e nos filmes, obtidos após 24 horas e 7 dias de secagem. As Figuras 3 a 8 mostram cromatogramas dos VOCs emitidos pelas amostras, na forma líquida, em filmes obtidos após 24 horas de secagem e em filmes obtidos após 7 e 14 dias de secagem. A Tabela 15 mostra os efeitos causados por alguns dos constituintes presentes no VOC na saúde do homem, conforme dados apresentados pelo National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 2004).

Amostra	Tipo de veículo	Acabamento	Determinação			
			Voláteis (%)	Resinas (%)	Pigmentos (%)	VOC (g/L)
E1	alquídica	acetinado	30	29	41	300
E2	alquídica	brilhante	43	38	19	430
E3	alquídica	brilhante	41	41	18	410
L1	látex PVA	fosco	58	16	27	<20
L2	látex PVA	fosco	52	15	33	<20
L3	látex acrílica	semibrilho	51	20	29	<20

Tabela 8 - Características das tintas

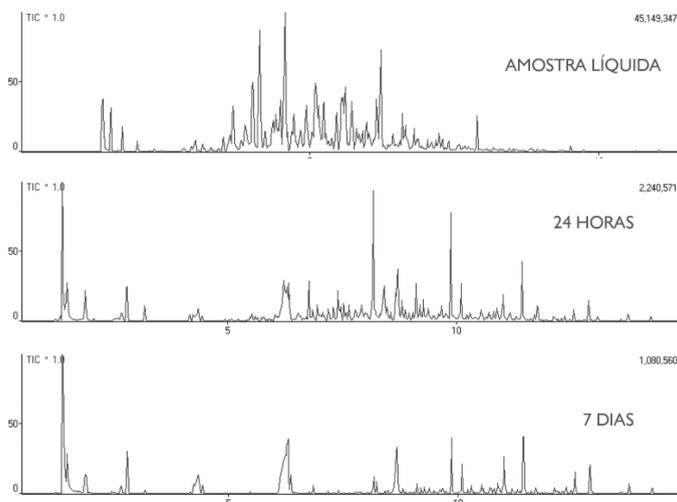


Figura 3 - Cromatograma da tinta E1. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 horas de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 dias de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>6</sup> *1.000/min	2-Propanol (1,9%); 2-Butanona (0,9%); 2-Metil octano (1,4%); Etil ciclohexano (2,0%); 1,2,4 Trimetil ciclohexano (2,6%); 2,3,4 Trimetil hexano (5,8%); (3,3 Dimetilbutil) benzeno (8,9%); o-Xileno (1,3%); Nonano (3,0%); 1,1,4,4-Tetrametil ciclohexano (2,1%); 1-Etil, 4-metil ciclohexano (3,7%); Ciclohexanopropanol (10,2%); 1,4-Dimetil ciclooctano (0,5%); 1-Etil, 4-metil ciclohexano (1,1%); Ciclohexanopropanol (3,5%); 2-Metilpropil ciclohexano (5,0%); 3-Etil-2-metil heptano (3,6%); 2-Butil 1-octanol (3,0%); 1,1,2,3 Tetrametil ciclohexano (2,8%); 3,5-Dimetil octano (3,8%); 1-Iodo-2-metilundecano (4,1%); 1,3,5-Trimetil benzeno (3,5%); 1,2-Dimetil-(1-metiletil) ciclopentano (2,3%); 1,2,3-Trimetil benzeno (5,4%); n-Decano (7,5%); 4-Metil decano (1,7%); 1,3,5-Trimetil benzeno (1,3%); 2-Metilpropil ciclohexano (0,9%); Undecano (1,9%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Ácido acético (8,9%); 2,4 Pentadienal (9,4%); 4-Metil decano (10,7%); Undecano (30,4%); Dodecano (25,6%); Tridecano (15,0%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	Ácido acético (3,9%); Ácido propanóico (4,5%); 2,4 Pentadienal (5,0%), Ácido pentanóico (7,4%); Heptanal (1,2%); Ácido hexanóico (26,4%); Octanal (1,8%); 1,1-Dioctiloxioctano (0,8%); Undecano (2,1%); Aldeído nonílico (1,1%); Ácido hexanóico (12,8%); 2,3,3-Trimetilpentano (0,5%); Pentadecano (0,8%); Dodecano (6,6%); Undecano (3,4%); 1-Pentadecanol (0,9%); Fluoreto de octadecileno (2,95); Octano (3,9%); Tridecano (6,4%); Metil ester de ácido fumaraldeído (1,8%); Pentadecano (0,6%); 3,7-Dimetil nonano (2,3%); Undecano (3,3%)

Tabela 9 - Compostos emitidos pela tinta E1

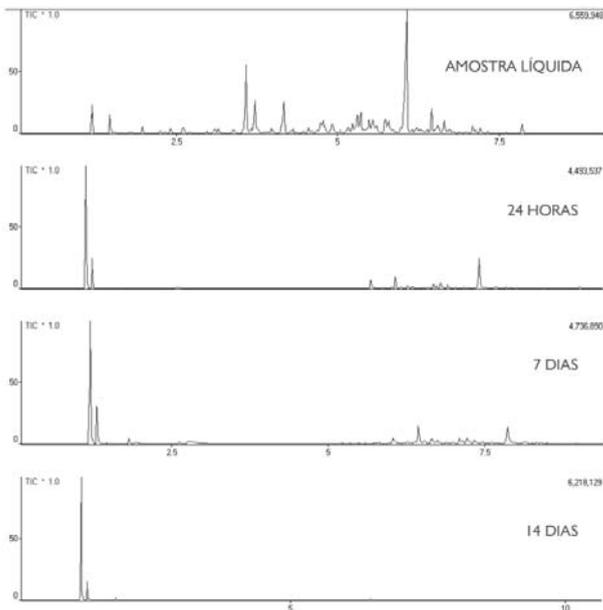


Figura 4 - Cromatograma da tinta E2. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 horas de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 e 14 dias de secagem.

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	1,1'-Bibiciclo (2.2.2) octano de 4-ácido carboxílico (6,1%); E tilbenzeno (16,8%), 1,2-Dimetil benzeno (8,2%); Nonano (7,5%); 3,5-Dimetil octano (3,4%); 3,5-Dimetil octano (4,3%); Nonano (48,1%); 4-Metil decano (5,7%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Ácido 2-butanóico (67,3%); Pentano (12,5%); Dodecano (20,3%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Tetranitro metano (78,5%); Pentano (21,5%)
Película seca, 14 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	Tetranitro metane (82,7%); Pentano ou n-Pentano (11,9%); Heptano (2,2%); 2,2-Dimetil butano (1,8%)

Tabela 10 - Compostos emitidos pela tinta E2

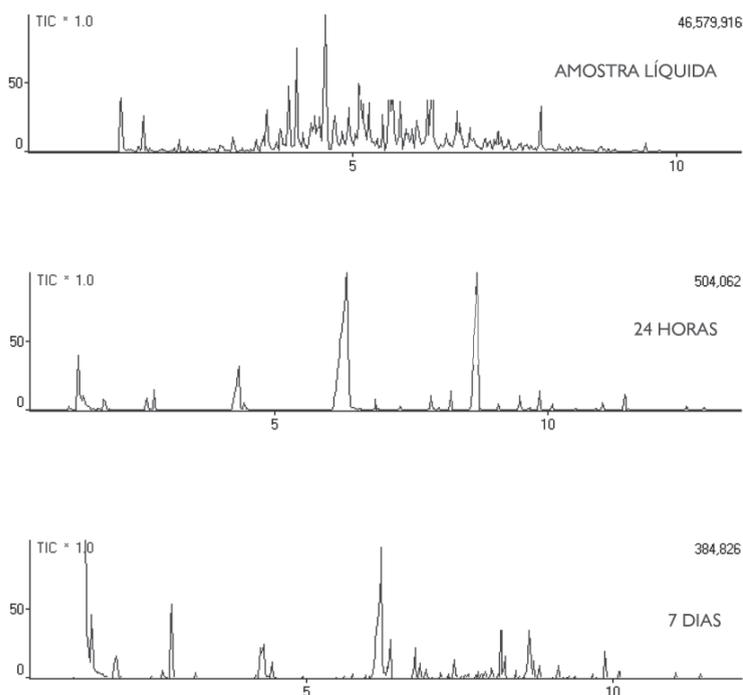


Figura 5 - Cromatograma da tinta E3. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 horas de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 dias de secagem.

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>6</sup> *1.000/min	Etileno-D4 (4,0%); 2-Butanona (1,4%); 1,1,3-Trimetil ciclohexano (2,0%); 1,2,4-Trimetil ciclohexano (2,5%); 1-Cloro octano (4,6%), (3,3-Dimetilbutil) benzeno (7,3%); 1,4-Dimetil-, trans ciclooctano (2,6%); 1,4-Dimethyl-trans ciclooctano (2,1%); 1-Etil-4-metilciclohexano (1,1%); 1-Etil-4-metil-cis- ciclohexano (2,2%), Nonano (10,3%); 1-Butil-3-propil ciclopentano (0,7%); 1,2,3-Trimetil ciclohexano (1,0%); 1-Etil-4-metil-trans ciclohexano (1,3%); Ciclohexanopropanol (3,1%); 2-Metilpropil ciclohexano (4,9%); 3-Etil-2-metil heptano (3,8%); 2,3,3-Tetrametil hexano (2,7%); 1,1,2,3-Tetrametilciclohexano (3,8%); 3,5-Dimetil octano (3,2%); 1-Iodo-2-metilundecano (4,5%); 1,3,5-Trimetil benzeno (3,6%); 1-Metil-3-(2-metilpropil) ciclopentano (4,3%); 1,2-Dimetil-3-(1-metiletil) ciclopentano (4,6%); 1,2,3-Trimetil benzeno (3,7%); Dodecano (7,6%); 4-Metil decano (1,7%); 1,2,3-Trimetil benzeno (1,6%); 2-Methylpropil ciclohexano (0,9%); 3,7-Dimetil-1,7-octadieno-3,6-diol (0,8%); Undecano (2,4%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	2,4 Pentadienal (1,8%), Ácido hexanóico (34,2%); Ácido hexanóico (27,2%), metil 3,6-anidro- alpha-D-menopiranoside (2,2%); 2-etil ácido hexanoico (33,2%); Pentadecano (1,4%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	Ácido fórmico (20,7%); Ácido acético (7,5%); 2,4 Pentadienal (7,6%), Ácido pentanóico (9,2%), 3-Metil-formiato 1-butanol (2,4%); Ácido hexanóico (17,6%); Ácido hexanóico (9,9%); Octonol (3,2%), 3-Metil- 1-Pentanol (3,1%); Undecano (5,6%); Ácido hexanóico (7,5%), Trans-4,5-dihexil-4-5-dihidro-3-metilene-2(3H)-furonona (2,9%), Butil 2,4-dimetil-2-nitro-4-pentanoato (2,9%)

Tabela II - Compostos emitidos pela tinta E3

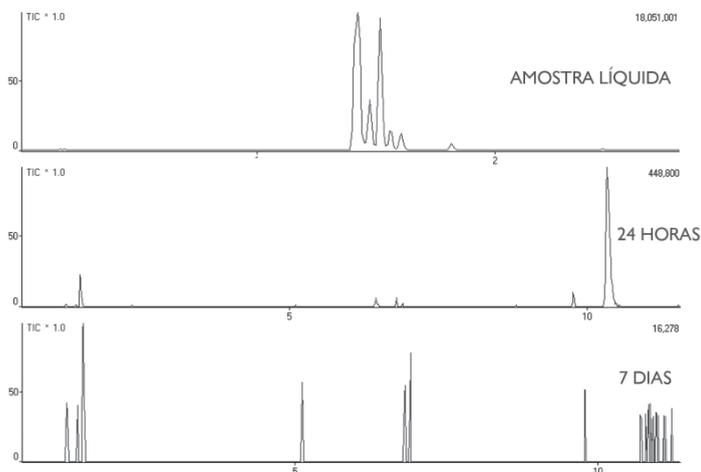


Figura 6 - Cromatograma da tinta LI. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 h de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 h de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>6</sup> *1.000/min	Etileno-D4 (51,0%), Acetaldeído (11,0%), Álcool etílico (28,7%), 2-Propanona (4,5%), Hidrazina (3,6%), Etil éster do ácido acético (1,2%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	Ácido acético (%9,6), Alpha-Terpineol (3,12%), 2-Fenoxi etanol (87,3%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>2</sup> *1.000/min	Formamida (14,5%), Ácido acético (40,7%), Octa-1,7-dienil-3-formiate (14,5%), Benzeno (15,4%), 2-Etenil 1H-Imidazol (15,0%)

Tabela 12 - Compostos emitidos pelo LI

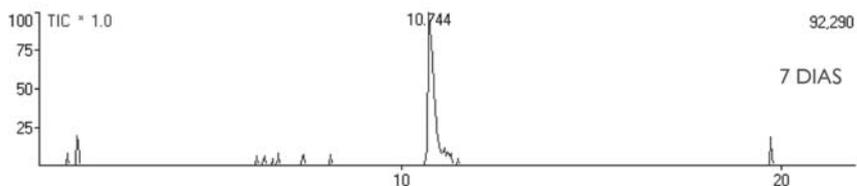
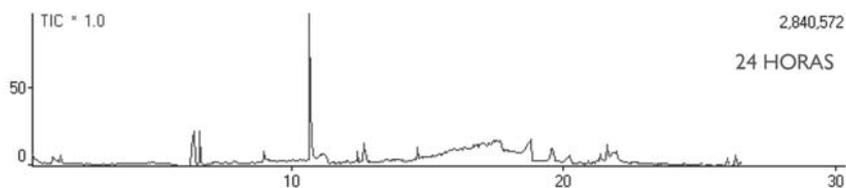
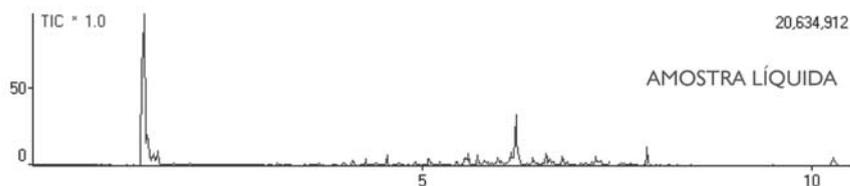


Figura 7 - Cromatograma da tinta L2. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 h de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 h de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	1,1'-Bibiciclo (2.2.2) octano de 4-ácido carboxílico (6,1%); Etilbenzeno (16,8%), 1,2-Dimetil benzeno (8,2%); Nonano (7,5%); 3,5-Dimetil octano (3,4%); 3,5-Dimetil octano (4,3%); Nonano (48,1%); 4-Metil decano (5,7%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Ácido 2-butanóico (67,3%); Pentano (12,5%); Dodecano (20,3%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Tetranitro metano (78,5%); Pentano (21,5%)
Película seca, 14 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	Tetranitro metano (82,7%); Pentano ou n-Pentano (11,9%); Heptano (2,2%); 2,2-Dimetil butano (1,8%)

Tabela 13 - Compostos emitidos pela tinta L2

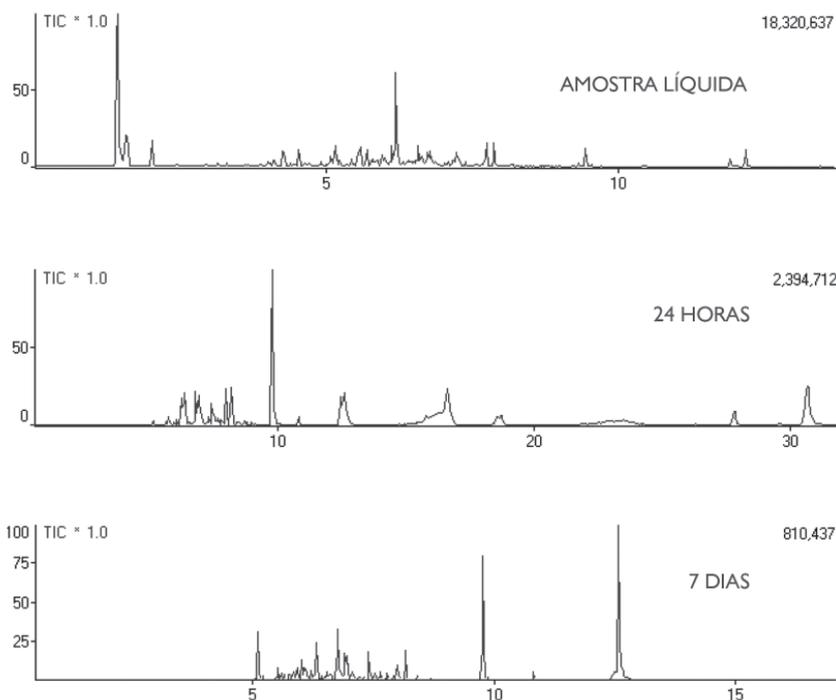


Figura 8 - Cromatograma da tinta L3. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 h de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 h de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Etileno-D4 (29,7%); 2-Propanona (2,6%); 1,2-Metil 2-propano (2,3%); 1-Butanol (2,2%), (3,3,-Dimetildecil) benzeno (0,8%); p-Xileno (0,7%); 1,1'-Oxibis butano (1,9%); Nonano (1,7%); 2,4-Dimetil-1-heptano (2S4R) (1,5%); Alpha-pineno (2,2%); 3,5,5-Trimetil-1-hexano (0,6%); 6-Metil octadecano (1,2%); 8-Metil 4-undecano (2,8%); 1-Iodo-2-metilundecano (2,7%), 1-Iodo-2-metilundecano (2,3%), 1-Metil-2-propil ciclohexano (1,8%); 1-Metil-4-(10metiletil)-trans ciclohexano (1,6%); 1,2,3-Trimetil benzeno (3,0%); Undecano (11,7%), 1-Metil-4-(1-metiletil) ciclohexano (2,9%); 5-Etil-2-metil heptano (2,4%), 1,2-Dietil benzene (1,8%); 4,1 Dimetil 9-betadeceno (0,5%); 1-Limoneno (2,1%); 4-Ciclotmetil decano (1,6%); Undecano (0,6%); 2-Metilen-5-isopropenil ciclohexano (1,9%); Tridecano (0,8%); Terpinoleno (3,1%); Undecano (3,0%); Propionate de Linalol (2,2%); 2-Metil-,2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propil ester d o ácido propanóico (1,1%); 2-Metiletil-, 3-hidroxi-,2,4,4-trimetilpentil ester do ácido propanóico, (2,2%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>5</sup> *1.000/min	Undecano (11,8%); 1-Alpha-Terpinol (81,2%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 <sup>4</sup> *1.000/min	Alfa-Pineno (6,7%); 1,1,2,3-Tetrametilciclohexano (2,0%), 2-beta-Pineno (1,2%); 1-Metil-4-(1-metiletil)- cis-ciclopentano (3,2%); (1-Metiletil) benzeno (1,3%); Undecano (5,7%); 3-Pinanona (2,5%); 5-Etil-2-metil heptano (9,8%); Limoneno (5,9%); Decahidro-, trans- Napertoleno (3,6%); Acetato de terpinil (2,4%); Undecano (4,7%); Beta Fenchilalcool (20,8%), 2 Metil-, 3 hidroxi-2,4,4-trimetilpentil ester do ácido propanóico (26,1%)

Tabela 14: Compostos emitidos pela tinta L3

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
Ácido propanóico Nº CAS* 79-09-4	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; visão borrada, queimadura de córnea; queimadura de pele; dor abdominal, náusea, vômito.	NIOSH REL: TWA** 10 ppm (30 mg/m <sup>3</sup> )
2-Butanona Nº CAS* 78-93-3	Irritação nos olhos, pele, nariz; dor de cabeça; vertigem; vômito; dermatite.	NIOSH REL: TWA** 200 ppm (590 mg/m <sup>3</sup> ) ST 300 ppm (885 mg/m <sup>3</sup> )
Ciclohexano Nº CAS*110-82-7	Irritação nos olhos, pele, sistema respiratório; sonolência; dermatite; narcose, coma.	NIOSH REL: TWA** 300 ppm (1.050 mg/m <sup>3</sup> )

Tabela 15: Substâncias presentes no VOC das tintas e seus sintomas (NIOSH, 2004)

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
o-Xileno (1,2-dimetilbenzeno) Nº CAS*95-47-6	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; vertigem, excitação, sonolência, descoordenação, andar trôpego; vasculização na córnea; anorexia, náusea, vômito, dor abdominal; dermatite.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> ) ST 150 ppm (655 mg/m <sup>3</sup> )
Nonano Nº CAS* 111-84-2	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; dores de cabeça, sonolência, vertigem, confusão mental, náusea, tremor, descoordenação; pneumonia aspirativa por composto químico líquido.	NIOSH REL: TWA** 200 ppm (1.050 mg/m <sup>3</sup> )
1,2,3-Trimetilbenzeno Nº CAS* 526-73-8	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta, sistema respiratório; bronquite; anemia hipocrônica; dores de cabeça, sonolência, fadiga (fraqueza, cansaço), sonolência, náusea, descoordenação; vômito, confusão mental; pneumonia química aspirativa por composto químico líquido.	NIOSH REL: TWA** 25 ppm (125 mg/m <sup>3</sup> )
Álcool isopropílico Nº CAS*67-63-0	Irritação nos olhos, nariz, garganta; sonolência, vertigem, dores de cabeça; pele crestada desidratada; em animais: narcose.	NIOSH REL: TWA** 400 ppm (980 mg/m <sup>3</sup> ) ST 500 ppm (1.225 mg/m <sup>3</sup> )
Ácido fórmico Nº CAS*64-18-6	Irritação nos olhos; pele, garganta; queimadura de pele, dermatite; lacrimação (derramamento de lágrimas); rinorréia (saída de líquido pelo nariz); tosse, dispnéia (dificuldade para respirar); náusea.	NIOSH REL: TWA** 5 ppm (9 mg/m <sup>3</sup> )
1,3,5-Trimetilbenzeno Nº CAS*108-67-8	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta, sistema respiratório; bronquite; anemia hipocrônica; dores de cabeça, sonolência, fadiga (fraqueza, cansaço), sonolência, náusea, descoordenação; vômito, confusão mental; pneumonia química aspirativa por composto químico líquido.	NIOSH REL: TWA** 25 ppm (125 mg/m <sup>3</sup> )
Ácido propanóico Nº CAS* 79-09-4	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; visão borrada, queimadura de córnea; queimadura de pele; dor abdominal, náusea, vômito.	NIOSH REL: TWA** 10 ppm (30 mg/m <sup>3</sup> )

Tabela 15 (Continuação)

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
Ácido Acético Nº CAS*64-19-7	Irritação nos olhos; pele, nariz e garganta; olhos, queimadura; sensibilização da pele; erosão dental; hipercalcosidade; conjunivite, lacrimação (derramamento de lágrimas); edema da faringe, bronquite crônica.	NIOSH REL: TWA** 10 ppm (25 mg/m <sup>3</sup> ) ST 15 ppm (37 mg/m <sup>3</sup> )
Etilbenzeno Nº CAS*100-41-4	Irritação nos olhos, pele, mucosa; dores de cabeça; dermatite; narcose, coma.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> ) ST 125 ppm (545 mg/m <sup>3</sup> )
n-Pentano Nº CAS*109-66-0	Irritação nos olhos, pele, nariz; dermatite; pneumonia química (aspiração líquida); sonolência; em animais: narcose.	NIOSH REL: TWA** 120 ppm (350 mg/m <sup>3</sup> ) C 610 ppm (1.800 mg/m <sup>3</sup> ) [15-minute]
Tetranitrometano Nº CAS*509-14-8	Irritação nos olhos, pele, nariz e garganta; vertigem, dores de cabeça; dores no peito, dispnéia (dificuldade para respirar); meta-hemoglobinemia, cianose; queimadura de pele.	NIOSH REL: TWA** 1 ppm (8 mg/mm <sup>3</sup> )
n-Heptano Nº CAS*142-82-5	Vertigem, letargia, descoordenação; perda de apetite, náusea; dermatite; pneumonia aspirativa por composto químico líquido; inconsciência.	NIOSH REL: TWA** 85 ppm (350 mg/m <sup>3</sup> ) C 440 ppm (1.800 mg/m <sup>3</sup> ) [15-minute]
Hidrazina Nº CAS*302-01-2	Olhos, pele, sistema respiratório; sistema nervoso central, fígado, rins.	NIOSH REL: Ca C*** 0,03 ppm (0,04 mg/m <sup>3</sup> ) [2-hour]
Álcool etílico Nº CAS*64-17-5	Irritação nos olhos, pele, nariz; dor de cabeça, sonolência, fadiga (fraqueza, exaustão), narcose; tosse; danos no fígado; anemia; efeito teratogênico	NIOSH REL: TWA** 1.000 ppm
Etil éster do ácido acético Nº CAS* 141-78-6	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; narcose; dermatite	NIOSH REL: TWA** 400 ppm
Formamida Nº CAS*75-12-7	Irritação nos olhos, pele, membrana mucosa; sonolência, fadiga (fraqueza, exaustão); náusea; acidose; erupção na pele; em animais: influência na reprodução	NIOSH REL: TWA** 10 ppm

Tabela 15 (Continuação)

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
Benzeno Nº CAS*71-43-2	Irritação nos olhos, pele, nariz; sistema respiratório; vertigem; dor de cabeça, náusea, andar trôpego; anorexia, fadiga (fraqueza, exaustão); dermatite; depressão da medula óssea; potencial risco de câncer.	NIOSH REL: Ca TWA** 0,1 ppm ST 1 ppm
Acetaldeído Nº CAS*75-07-0	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; queimaduras na pele; conjuntivite; tosse; depressão; edema pulmonar; em animais: efeitos teratogênicos; rins e sistema reprodutivo.	OSHA PEL****†: TWA** 200 ppm (360 mg/m <sup>3</sup> )
Acetona Nº CAS* 67-64-1	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; dor de cabeça, vertigem, depressão do sistema nervoso central, dermatite.	NIOSH REL: TWA** 250 ppm (590 mg/m <sup>3</sup> )
p-Xileno Nº CAS* 106-42-3	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; vertigem, excitação, sonolência, descoordenação, andar trôpego; vacuolização da córnea; anorexia, náusea, vômito, dor abdominal; dermatite.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> ) ST 150 ppm (655 mg/m <sup>3</sup> )
Álcool terc-butílico Nº CAS* 75-65-0	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; sonolência, narcose.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (300 mg/m <sup>3</sup> ) ST 150 ppm (450 mg/m <sup>3</sup> )
Cumeno (Cumol, Isopropil benzeno, 2-Fenil propano) Nº CAS* 98-82-8	Irritação nos olhos, pele, membrana mucosa; dermatite; dores de cabeça, narcose, coma.	NIOSH REL: TWA** 50 ppm (245 mg/m <sup>3</sup> ) [pele]

\* Chemical Abstract Number.

\*\* TLV-TWA (Limite de Exposição – Média Ponderada pelo Tempo – palavra inglesa Threshold Limit Value-Time Weighted Average) – a concentração média ponderada pelo tempo, para uma jornada normal de 8 h diárias e 40 h semanais, para a qual a maioria dos trabalhadores pode estar repetidamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde.

\*\*\*\* TLV-C (Limite de Exposição – Valor-teto) – é a concentração que não pode ser excedida durante nenhum momento da exposição do trabalhador.

\*\*\*\* PEL (Permissible exposure limit). A análise qualitativa realizada mostrou que as tintas látex emitem VOCs em quantidade bem inferior a dos esmaltes sintéticos e que estes últimos, usualmente, são constituídos por uma mistura de mais de 60 substâncias. A identificação das substâncias só foi realizada naquelas que apresentavam maiores proporções e, em alguns casos, naquelas que apresentavam características tóxicas. As substâncias determinadas são constituídas por éteres, cetonas, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos e hidrocarbonetos clorados. A presença dessa última substância foi identificada em esmaltes sintéticos, não sendo hoje normal a sua existência nesse tipo de produto. A interpretação dos espectros de massa foi realizada por comparação com espectro de referência, usando-se bibliotecas computadorizadas.

Tabela 15 (Continuação)

Os cromatogramas mostram que tanto os filmes obtidos com tinta látex quanto com esmalte sintético, com 24 horas de secagem, em ambiente com condições controladas, apresentam teores de VOCs muito inferiores aos das tintas líquidas. Após 24 horas, a maior parte dos VOCS das tintas já foi emitida. Os cromatogramas obtidos de películas com 7 dias de secagem mostram que, mesmo após esse período de secagem, ambos os tipos de tinta ainda apresentavam resíduos de VOC, não tendo sido totalmente eliminados, o que confirma dados da literatura que mostram emissões de VOCs de materiais de base polimérica (exemplo: carpetes, colas, revestimentos de paredes, vernizes, silicones), por períodos prolongados e, inclusive, com emissões secundárias, devido à degradação desses materiais por produtos de limpeza (WOLKOFF, 1999). Os ensaios apresentados neste estudo foram realizados em tinta líquida e em películas, secas em uma condição ambiental prefixada, e, além disso, está sendo estudada a influência dos substratos (madeira e argamassa) nas emissões, os efeitos de temperatura, de umidade relativa e de trocas de ar no interior da câmara ambiental, com registro contínuo desses parâmetros.

Existe um grande número de pesquisas sobre emissões de VOCs, com determinação em câmara ambiental conhecida como “small-scale test chamber”, em diferentes dimensões de câmara e sob variadas condições de temperatura, umidade relativa e circulação de ar. Além disso, esse tipo de emissão também é determinado de acordo com ASTM D 5116-97 “Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determination of Organic Emissions from Indoor Materials/Products”. As metodologias citadas estudam a influência da espessura da película de tinta e o substrato nas características de adsorção/dessorção (KWOK et al., 2003; POPA; HAGHIGHAT, 2003), ventilação, temperatura, umidade relativa e velocidade de emissão de VOCs, e têm como objetivo simular condições normalmente presentes em ambientes internos de edificações.

O procedimento desenvolvido é mais simples e rápido do que os citados em literatura, porém é útil para estimar, de modo comparativo, a velocidade de emissão de VOCs da tinta, durante a sua secagem, em uma única condição, sem levar em conta a influência do substrato e suas características de adsorção/dessorção. O procedimento pode ser considerado uma boa ferramenta para auxiliar os fabricantes no desenvolvimento de novas formulações e, para os construtores, um bom meio para a seleção de tintas que apresentem menor impacto ambiental.

## 7 Considerações finais

A revisão bibliográfica realizada durante o desenvolvimento do estudo mostrou que a emissão dos VOCs da tinta influi tanto na qualidade do ar presente na troposfera, pela formação do ozônio considerado um dos principais poluentes atmosféricos, como na qualidade do ar de ambiente fechados, devido à geração de problemas típicos, relacionados com a qualidade do ar no interior de edifícios, conhecida como Síndrome de Edifícios Doentes (SED).

O estudo mostrou que os produtos usados na pintura de edifícios, como as tintas látex, vernizes, esmaltes sintéticos e solventes, contêm na sua composição uma mistura de solventes (VOCs), alguns com mais de 60 substâncias. Parte dessas substâncias é comumente encontrada nas formulações dos produtos, e a outra parte, provavelmente, resultado de impurezas presentes nas matérias-primas. Algumas das substâncias encontradas são consideradas nocivas à saúde das pessoas, como os solventes clorados, compostos aromáticos (benzeno, tolueno, xileno e isômeros), metil etil cetona (MEK), formaldeído, etc., e outras, sensíveis fotoquimicamente, tais como xileno, limoneno, tolueno, etanol, butano, as quais contribuem para a formação do ozônio da troposfera.

Conforme já discutido, as regulamentações existentes classificam os produtos e fixam limites de VOCs com base em diferentes critérios, dificultando uma análise comparativa. No estudo, muitos produtos de base solvente (esmalte sintético) do mercado apresentaram valores próximos aos limites sugeridos pela regulamentação da EPA ou da União Européia. A proposta de regulamentação européia, que limita teores de VOC até 01/01/2007 (vide Tabela 4), classifica as tintas em exterior/interior e em base água/solvente. Pela similaridade dos produtos apresentados nessa regulamentação com os produtos existentes no mercado nacional, usou-se essa proposta para análise. A análise mostrou que, das três amostras de esmalte sintético apresentadas na Tabela 8, duas amostras mostram valores pouco superiores (410 g/L e 430 g/L), se se considerar o valor de 400 g/L de VOC para tintas de uso interno. Conforme a proposta européia de regulamentação, se a tinta é para aplicação exterior, o teor de VOC é de 450 g/L. Dessa forma, todos os três produtos de base solvente relacionados na Tabela 8 estão dentro dos limites propostos por essa regulamentação. As tintas apresentadas no estudo foram selecionadas

ao acaso, apenas para ilustrar a metodologia usada para a caracterização dos produtos e a identificação dos VOCs presentes.

Na Tabela 15 estão listadas as substâncias presentes nos VOCs das tintas apresentadas neste trabalho e que podem causar efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde ocupacional dos trabalhadores, durante a fase de construção do edifício e nos períodos de manutenção dele, como também ao ambiente interno nos edifícios, influenciando na saúde de seus ocupantes.

Os resultados obtidos no estudo deverão fornecer subsídios para:

- a) a obtenção de dados nacionais de VOCs e de indicadores ecológicos, sem a necessidade de utilização de dados internacionais. Esses dados também deverão auxiliar o mercado na seleção de produtos com menor impacto ambiental e desenvolvimento de produtos mais “amigáveis”;
- b) o desenvolvimento de método rápido para a determinação de VOC e proposta ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (Cobracon) da ABNT de um texto-base de Norma Brasileira de Construção Civil; e
- c) a conscientização do meio técnico sobre os efeitos da emissão de VOC à saúde dos trabalhadores, durante a execução de pintura e durante o uso do edifício recém-construído, e da população, quanto ao meio ambiente.

## Referências bibliográficas

<sup>92</sup> BREZINSKI, J. J. Regulation of volatile organic compound emissions from paints and coatings. In: KOLESKE, J. V. **Paint and coating testing manual**: fourteenth edition of the Gardner-Sward Handbook. ASTM Manual Series: MNL 17, 1995. p. 3-12.

CHEVALIER, J. L.; LE TÉNO, J. F. Requirements for an LCA-based Model for the evaluation of environmental quality of building products. **Building and Environment**, v. 31, n. 5, p. 487-491, 1996.

EUROPA. COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council**: on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in decorative paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC.

COM (2002) 750 final. Disponível em: <[http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/reg/en\\_register\\_1530.html](http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/reg/en_register_1530.html)>. Acesso em: 10 abr. 2005.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 359-365, 2003.

HARE, H. C. Formulation strategies using exempt solvents: latest developments. **Paint & Coatings Industry**, United States, Aug. 2000. Disponível em: <[http://www.pcimag.com/pci/cda/articleinformation/features/Features\\_Index/1,1838,1-367,00.html](http://www.pcimag.com/pci/cda/articleinformation/features/Features_Index/1,1838,1-367,00.html)>. Acesso em: 17 maio 2002.

KASENEN, J. P. Airway irritation of VOC mixtures based on the emissions of the finishing materials- PVC floorings and paints. In: **HEALTHY BUILDINGS. Proceedings...** Finland, 2000. p. 101-106.

KWOK, N. H. et al. Substrate effects on VOC emissions from an interior finishing varnish. **Building and Environment**, v. 38, p. 1019-1026, 2003.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **NIOSH pocket guide to chemical hazards (NPG)**. NIOSH Publication n. 97-140, Feb. 2004. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/>>. Acesso em: 17 jan. 2005.

PAINT RESEARCH ASSOCIATION (PRA). **CORE**. Coatings, regulations & the environment. Asia Pacific. Abstract: 1111/022. Apr. 2003. Disponível em: <<http://www.pra.org.uk/publications/core/>>. Acesso em: 18 jan. 2005.

POPA, J.; HAGHIGHAT, F. The impact of VOC mixture, film thickness and substrate on adsorption/desorption characteristics of some building materials. **Building and Environment**, v. 38, p. 959-964, 2003.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003**. São Paulo: CETESB, 2004. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/ar-geral.asp>>. Acesso em: 10 abr. 2005.

SALVI, F. Os paradigmas da qualidade, segurança e meio ambiente. **Informativo CRQ – IV**, ano 9, n. 46, p. 4-5, 2000.

SATO, S. et al. The emission of volatile organic compounds in a building under construction. In: HEALTHY BUILDINGS. **Proceedings...** Finland, 2000. p. 459-464.

SENTKOVA, I. Ranking of selected indoor chemical pollutants In: HEALTHY BUILDINGS. **Proceedings...** Finland. 2000. v. 1, p. 109-114.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, 2003.

SILVA, V. G. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. **Qualidade na Construção**, Sinduscon, São Paulo, ano III, n. 25, p. 14-22, 2000.

SIMONSICK JR, W. J. Mass Spectrometric techniques for coatings characterization: analysis of paints and related materials: current techniques for solving coatings problems. **ASTM STP 1119**. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992. p. 105-124.

TAVARES, T. M. Poluição atmosférica e mudanças climáticas do planeta. **RQI - Revista de Química Industrial**, n. 702, p. 4-8, 1995.

THAM, K. W. et al. Identifying, quantifying and controlling VOCs in an air-conditioned office building- a Singapore case study. In: HEALTHY BUILDINGS. **Proceedings...** Finland, 2000. p. 449-454.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **EPA**. Smog: who does it hurt? What you need to know about ozone and your health. EPA-452/K-

99-001, July 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow/health/smog.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **OAR Policy and Guidance Metarecord**. Final Rule - National VOC emission standards for architectural coatings. Filename: <[http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr\\_notices/rule812.pdf](http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr_notices/rule812.pdf)>. July 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/meta/m17900.html>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

WOLKOFF, P. How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective. **The science of the total environment**, n. 227, p. 197-213, 1999.

YANG, X. et al. Numerical simulation of VOC emissions from dry materials. **Building and Environment**, v. 36, p. 1099-1107, 2001.

YOUNG, F. X. Practical applications of gas chromatography in the paint and coating industry. Analysis of Paints and Related Materials: Current Techniques for Solving Coatings Problems. **ASTM STP 1119**. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992. p. 105-124.

YU, C.; CRUMP, D. A review of the emission of VOCs from polymeric materials used in buildings. **Building and Environment**, v. 33, n. 6, p. 357-374, 1998.

2001 TLVs e BEIs – Threshold limit values and biological exposure American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH. Versão traduzida pela Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais – ABHO, 2001.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo apoio recebido no desenvolvimento do Projeto e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de pesquisa.

# COLETÂNEA HABITARE

**Sebastião Roberto Soares** é engenheiro sanitarista e ambiental (1985) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e mestre (1991) e doutor (1994) pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA DE LYON), na França. Realizou pós-doutoramento (2004) na École Polytechnique de Montreal, EPM, no Canadá. É professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC desde 1998 e um dos membros fundadores da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), criada em 2002. Atua nas áreas de Resíduos Sólidos e Gestão Ambiental.  
E-mail: soares@ens.ufsc.br

**Danielle Maia de Souza** é arquiteta e urbanista (2004) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É bacharel (2002) e mestre (2005) em Environmental and Resource Management pela Brandenburgische Technische Universitaet (BTU-Cottbus), em Cottbus, na Alemanha. É especialista (2006) em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente, é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na qual atua como pesquisadora.  
E-mail: danimaiasouza@gmx.net

**Sibeli Warmling Pereira** é engenheira ambiental e sanitarista (2002), e mestre em engenharia ambiental (2004) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente atua na área de gestão ambiental.  
E-mail: sibeli@prosul.com

# 4.

## A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil

Sebastião Roberto Soares, Danielle Maia de Souza e Sibeli Warmiling Pereira

### 1 Introdução

**A** Califórnia (EUA), no início dos anos 90, foi escolhida para ser o primeiro estado americano a receber veículos elétricos, como forma de combater a poluição causada por motores tradicionais a combustão. Porém, até que ponto essa iniciativa é ambientalmente favorável? Considerando que, atualmente, a energia elétrica consumida por aquele estado provém essencialmente de combustíveis fósseis, o aumento da demanda de eletricidade poderia tornar o balanço de poluição negativo, comparado com a situação inicial, ou simplesmente deslocar o foco do problema. Do mesmo modo, pode-se levantar a seguinte questão: o uso de embalagens descartáveis apresenta conseqüências mais negativas ao meio ambiente do que embalagens retornáveis? Na análise desse último sistema é necessário considerar todas as atividades conexas ao processo, como a coleta, o transporte, a lavagem e a desinfecção, o tratamento dos efluentes gerados, etc. A partir dessa contabilidade ambiental é que a comparação poderá ser feita com o ciclo de vida de uma embalagem virgem.

A indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e, portanto, pequenas alterações nas diversas fases do processo constru-

tivo podem promover, além de mudanças importantes na eficiência ambiental e redução dos gastos operacionais de uma obra, maior incentivo em investimentos no setor. Nesse mercado de competitividade crescente e submetido a instrumentos de comando de controle (legislação e normas) e de melhoria contínua, a escolha de materiais de construção representa um importante campo da engenharia ambientalmente responsável. É o caso, por exemplo, de optar entre blocos cerâmicos ou de concreto para construção de uma parede. Ambos podem ter a mesma função, mas ao longo de seu ciclo de vida ter repercussões ambientais diferentes. Ou, ainda, de definir entre um piso cerâmico produzido pelo processo x ou y, avaliar o emprego de pisos de granito ou de madeira ou optar por um sistema de aquecimento de água solar ou elétrico. Nessas situações, parte-se do princípio de que os materiais comparados entre si cumpram a mesma função, para, em seguida, avaliá-los sob a ótica ambiental. O resultado dessa análise, associado aos resultados de avaliação econômica e em sintonia com as preferências dos interessados, permitirá a tomada de decisão final sobre o material a utilizar.

Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida<sup>1</sup> (ACV) se destaca, atualmente, como ferramenta de excelência para análise e escolha de alternativas, sob uma perspectiva puramente ambiental. O seu princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado. As fronteiras de análise devem considerar as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte (o ciclo de vida). Esse procedimento permite uma avaliação científica da situação, além de facilitar a localização de eventuais mudanças associadas às diferentes etapas do ciclo que resultem em melhorias no seu perfil ambiental.

<sup>1</sup> Life Cycle Analysis, Life Cycle Assessment (LCA), Product Line Analysis, Ecological Balance, segundo a terminologia inglesa.

## 2 Princípios da ACV

A ACV consiste na análise e na comparação dos impactos ambientais causados por diferentes sistemas que apresentam funções similares. Em outras palavras, sob a ótica ambiental, ela estabelece inventários tão completos quanto possível do fluxo de matéria (e energia) para cada sistema e permite a comparação desses balanços entre si, sob a forma de impactos ambientais (Figura 1).

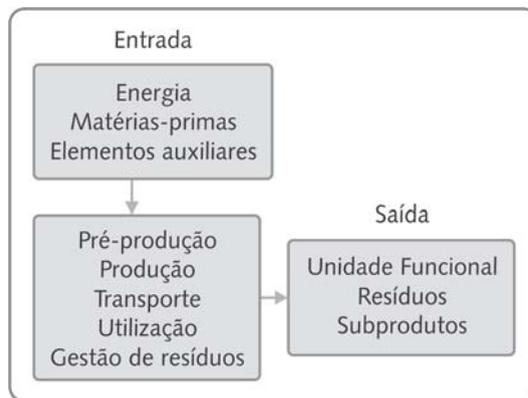


Figura 1 – Representação esquemática da ACV

A ACV é hoje normalizada por um conjunto de normas da série ISO 14000. No Brasil, a NBR ISO 14040 estabelece os princípios gerais (ABNT, 2001), a NBR ISO 14041 aborda a definição de objetivos e escopo e análise do inventário (ABNT, 2004a), a NBR ISO 14042 (ABNT, 2004b) aborda a avaliação de impactos ambientais e a NBR ISO 14043 (ABNT, 2005) é voltada para a interpretação do ciclo de vida. No plano internacional, às quatro normas citadas, são acrescentadas a ISO/TR 14047 (ISO/TR, 2003), que apresenta exemplos de aplicação, a ISO/TS 14048 (ISO/TS, 2002), que considera o formato de apresentação de dados, e, finalmente, a ISO/TR 14049 (ISO/TR, 2000), que fornece exemplos de aplicação especificamente à definição de objetivos.

Ela passa basicamente pelas etapas a seguir (ver Figura 2).

**1) Definição do sistema.** Deve-se delimitar com precisão o objetivo do estudo, as fronteiras do sistema e a base referencial ou unidade funcional.

- Objetivo da avaliação: a definição do objetivo de uma ACV deve especificar por que e como o estudo está sendo realizado e quais serão as aplicações dos resultados obtidos (BAUMANN; TILLMAN, 2004). Quando realizado de forma clara e consistente com a aplicação do estudo, a definição de objetivos auxilia na especificação de informações necessárias às etapas posteriores, como na fase de coleta de dados, e na obtenção de resultados mais confiáveis e precisos. Pode-se comparar produtos com um mesmo uso, mas constituídos de materiais e processos diferentes, ou comparar processos distintos para a obtenção de produtos (ou serviços) com uma mesma função.

- Fronteiras do sistema: especificam sobre quais etapas do ciclo de vida será realizada a análise; do berço (extração de matérias-primas), até o túmulo (eliminação do produto), passando pela produção, distribuição, utilização e reparação eventual, ou seja, a produção, a utilização e a eliminação. O estudo pode considerar todas as etapas ou etapas isoladas.

O conhecimento das diversas etapas do ciclo de vida de uma edificação pode auxiliar na delimitação do sistema. Podem ser citados os processos de transformação de energia e materiais: a produção de matérias-primas – necessárias às diversas etapas do ciclo de vida de edificações; a fase construtiva propriamente dita, incluindo desde o transporte de materiais até o acabamento final da estrutura, sendo delimitada, por exemplo, no caso de um edifício residencial ou comercial, pelas entradas e saídas de materiais do canteiro de obras; a fase de uso, a partir da qual as fronteiras do sistema passam a delimitar os domínios público e privado; e as fases de inutilização, renovação ou demolição, decorrentes de inadequações ao uso, ou de limitações impostas pelo tempo de vida útil da construção (EUROPEAN COMMISSION, 1997).

No estudo de elementos construtivos, tais como pisos, coberturas e outros tipos de acabamentos internos, é necessário averiguar as diversas etapas de obtenção e transformação de matérias-primas e confecção do produto final.

- Unidade funcional ou unidade de comparação: ela permite a consideração simultânea da unidade do produto e de sua função (por exemplo, massa de material de embalagem para acondicionar  $x$  litros de um líquido; combustível (álcool, gasolina diesel, etc.) necessário para percorrer 100 km, etc.).

No setor da construção civil, a unidade funcional pode ser representada pelo edifício como um todo ou por apenas um recinto ou área de trabalho, analisado em determinado período. Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002), por exemplo, estabelecem um estudo comparativo entre pisos cerâmicos e de mármore, definindo a unidade funcional como sendo 1 m<sup>2</sup> de piso durante um período de 40 anos.

É importante ressaltar que a escolha de uma unidade funcional, fundamentada no objetivo e escopo do estudo, pode ter um grande impacto nos resultados da ACV e, portanto, deve ser cuidadosa e claramente estabelecida (CHEHEBE, 1997).

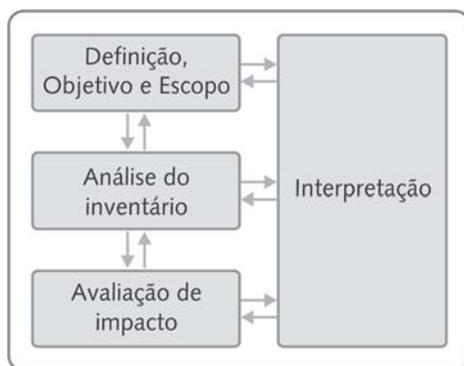


Figura 2 – Procedimento de realização da ACV

Para a realização de análises comparativas entre diferentes edificações através da ACV, é necessário definir e quantificar as características de desempenho e promover a equivalência entre os sistemas analisados. Tais comparações são estabelecidas tendo-se como base uma mesma função, relacionada a determinada unidade funcional e exercida durante determinado período. O Quadro 1 apresenta alguns dos tempos de vida útil para diferentes processos e sistemas estruturais relacionados a sistemas construtivos.

Vida útil média	Processos de construção específicos
1 a 3 anos	Projeto e construção do edifício/obra de engenharia civil
3 a 5 anos	Tempo de manutenção e uso
10 a 15 anos	Tempo médio de uso e renovação parcial
30 a 50 anos	Tempo longo de uso e renovação total
80 a 120 anos	Tempo de vida útil de sistemas estruturais de edificações
Superior a 150 anos	Tempo de vida útil de monumentos

Quadro 1 – Processos de construção civil e respectivos tempos de vida útil  
 Fonte: European Commission (1997)

**2) Inventário ou balanço de massa-energia.** Considerando a unidade funcional adotada, o inventário deve ser preliminarmente estabelecido para assegurar que o fluxo de entrada de matéria encontre uma saída quantificada como unidade funcional, rejeitos e subprodutos. A descrição desse fluxo permite colocar em evidência certos fatores de alterações ambientais (fatores de impacto) como, por exemplo, o consumo de recursos naturais (matérias-primas e energia), os resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) e outras emissões. Essa etapa constitui uma ferramenta indispensável para a avaliação quantitativa de impactos ambientais.

Segundo Frankl e Rubik (2000), tais inventários possibilitam a identificação de limitações ou relevam a necessidade de mais informações para a avaliação do processo de construção, podendo gerar mudanças nos procedimentos de coleta de dados, revisão dos objetivos ou escopo do estudo que está sendo realizado.

Ressalta-se a importância da consistência dos dados na fase de inventário para a obtenção de resultados mais precisos, que expressem a realidade de forma confiável.

**3) Avaliação de impactos ambientais.** Esse procedimento visa agregar os *fatores de impacto* em *categorias de impacto* (ou critérios de avaliação), através de um modelo apropriado, de modo a permitir um estudo comparativo das diferentes

opções. Normalmente, essas categorias estão associadas a impactos locais (toxicidade e ecotoxicidade, etc.), regionais (chuvas ácidas, desertificação, etc.) e globais (efeito estufa, redução da camada de ozônio, etc.).

Atualmente, três grandes tendências apareceram relativamente à avaliação de impactos. A linha européia é a mais avançada, em que existem várias proposições de modelos de avaliação, considerando as especificidades geográficas. CML (Centrum voor Milieukunde, Center for Environmental Science) (DREYER et al., 2003), EDIP (Environmental Design of Industrial Products) (HAUSCHILD; WENZEL; ALTIN, 1998), EPS (Environmental Priority Strategies) (STEEN, 1999), Eco-Indicator 99 (GOEDKOOOP et al., 2000) e o recente método Impact 2002<sup>+</sup> (JOLLIET et al., 2003) estão entre os métodos mais citados. A linha americana é a coordenada pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) americana e de seu método TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts) (BARE et al., 2003), que propõe um modelo por categorias de impacto (*midpoints*). E, finalmente, a proposta japonesa se concentra sobre um método baseado em conseqüências ambientais (*endpoints*), chamado LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) (ITSUBO; INABA, 2003).

O impacto ambiental da construção civil, e de seus respectivos processos construtivos, pode ser inicialmente avaliado com base em análise de inventários. Esses apresentam uma visão detalhada dos fluxos de entrada e saída de materiais, energia e outras substâncias geradas ou utilizadas durante os processos (sempre que possível) de concepção, utilização e demolição da obra. As informações contidas no inventário são associadas a diferentes categorias de impacto, buscando-se o entendimento das conseqüências ambientais e econômicas envolvidas no processo.

Ao se desenvolver um estudo de ACV para edificações, indicadores devem ser utilizados para a obtenção de um cenário contendo diversos aspectos ambientais. Segundo Citherlet e Hand (2002), a Análise de Impactos do Ciclo de Vida de uma edificação resulta de uma gama de indicadores ambientais, através dos quais é possível obter um perfil ambiental para a compreensão do ciclo de vida do edifício e seus impactos.

Através da ACV de pisos cerâmicos e de mármore, por exemplo, Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002) obtiveram resultados relevantes com relação à comparação da performance ambiental das diversas fases do ciclo de vida dos produtos analisados e à inter-relação entre as fases dos dois sistemas. Algumas das categorias de impactos utilizadas no estudo, tais como aquecimento global, acidificação e toxicidade humana, permitiram a compreensão de problemas ambientais decorrentes de fases específicas dos processos de produção analisados e o estabelecimento de medidas a serem tomadas para a melhoria ambiental dos processos.

**4) Definição de uma base de comparação.** Essa base será constituída pelos critérios citados anteriormente, um procedimento que permita ponderá-los e um modelo para agregá-los convenientemente. Para tanto, é indispensável recorrer a métodos de avaliação, entre os quais a Análise Multicritério. Nessa etapa, os pesos exprimem a importância relativa de cada critério e o método de agregação permite a transformação das avaliações associadas às categorias de impacto em um indicador de ACV.

**5) Estudos de sensibilidade e de incerteza de dados.** A confiabilidade do resultado depende, sobretudo, da confiabilidade dos valores atribuídos aos parâmetros. Os dados que são utilizados em ACV podem ser valores médios, estimados ou ainda dados provenientes de um sistema semelhante àquele em estudo. Isso tem por consequência a introdução de numerosas incertezas sobre o valor dos impactos estudados. A análise de sensibilidade, por sua vez, estuda a influência das variações dos dados de entrada. O método será considerado sensível se a variação dos valores iniciais promoverem modificações no resultado.

### 3 A construção civil e a ACV

A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida, freqüentemente integrada aos processos de tomada de decisões nos setores empresarial e industrial, é reconhecida de grande valia para o setor da construção civil. Tal situação decorre dos expressivos impactos ambientais produzidos nas diversas fases do processo cons-

trutivo – desde a fase de extração e fabricação de matérias-primas até a renovação ou demolição da estrutura –, avaliados por meio das repercussões de emissões atmosféricas, consumo de recursos naturais, demandas energéticas e geração de resíduos sólidos e líquidos.

Entretanto, é necessário ressaltar que o desenvolvimento de estudos de ACV em edificações requer algumas alterações devido, entre outros aspectos, às diferenças apresentadas com relação ao ciclo de vida de produtos industriais que envolvem, normalmente, um curto espaço de tempo. Obras de engenharia, ao contrário de produtos com vida útil de semanas ou meses, são, em geral, caracterizadas por uma vida útil que se estende por alguns anos, décadas ou mesmo séculos. Segundo relatório do Diretório Geral para Ciência, Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Européia (1997), a complexidade da análise de edificações consiste não somente na adaptação da análise para esse novo contexto temporal e estrutural, mas também na estruturação das informações coletadas em partes, de forma que possam ser utilizadas para várias ou somente uma única fase do ciclo de vida da edificação em questão.

O princípio utilizado na escolha de um material, em um conjunto de opções que cumprem uma mesma função, pode ser utilizado na concepção de uma edificação composta de vários materiais. Assim, é possível vislumbrar a idéia de que todas as etapas construtivas e gerenciais de uma obra passariam por um processo de ACV, de modo a que se considere a menor repercussão ambiental, associada ao seu ciclo de vida: construção, uso e demolição.

Do ponto de vista prático, o inventário de diferentes fluxos elementares<sup>2</sup> de materiais utilizados em construção civil estaria disponibilizado em um banco de dados contendo, por exemplo, cimento, pisos, azulejos, pintura, etc. Na seqüência, na elaboração de um serviço, como uma parede, poder-se-ia fazer a simulação a

<sup>2</sup> Fluxo elementar: material ou energia que entra (ou deixa) o sistema sob estudo, que foi retirado (ou descartado) no meio ambiente, sem transformação humana prévia (ou subsequente) (ABNT, 2001).

partir de diferentes cenários que atendam a uma mesma função. Para uma parede pode-se comparar a sua realização com blocos cerâmicos ou de concreto, com revestimentos de massa corrida ou cal fina, com pintura do tipo 1 ou do tipo 2, etc.

Algumas ferramentas informatizadas disponíveis no mercado, como, por exemplo, Sima-pro (<http://www.simapro.com>), Gabi IV (<http://www.pe-europe.com>), Team ([www.ecobalance.com/uk\\_team.php](http://www.ecobalance.com/uk_team.php)) e Umberto (<http://www.umberto.de/en/>), podem facilitar a operação. Elas normalmente contêm bancos de dados tão atualizados quanto possível de fluxos elementares de produtos (Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.ch/>), Buwal (<http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index.html>), Franklin (<http://www.fal.com/>), etc.) e gerenciam modelos de avaliação de impacto. Todos os sistemas citados permitem a incorporação e/ou a atualização de dados. Ou seja, pode-se realizar uma ACV a partir de dados estocados nos bancos preexistentes ou então executá-la a partir de dados de campo, específicos a uma situação de interesse.

Estudos realizados em diferentes setores da indústria da construção civil indicam a grande variedade de campos de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações e sistemas e elementos construtivos. Entre eles, pode ser citado o estudo comparativo entre pisos cerâmicos, esmaltados e queimados, e ladrilhos de mármore, realizado por Nicoletti, Notarnicola e Tassili (2002). De forma similar, a ACV também foi aplicada a outros elementos construtivos, tais como janelas, emolduradas em PVC ou outros materiais, tais como alumínio (EUROPEAN COMMISSION, 2004), e em diferentes sistemas estruturais, de madeira, aço ou concreto (BUCHANAN; HONEY, 1994 apud GLOVER, 2001), para os quais o consumo energético e de matéria-prima é analisado juntamente com os impactos ambientais resultantes dos processos de produção desses elementos, componentes ou sistemas.

Peuportier (2001) estabeleceu uma análise comparativa entre três tipos diferentes de residências: casas de referência, construídas em concreto (consideradas padrão na França); casas estruturadas em madeira e pedras, com sistema integrado de aquecimento solar (Observ'ER); e casas de madeira (CNDB).

Objetivando identificar e avaliar os parâmetros de projeto que exercem influência no desempenho ambiental de um edifício, Scheuer et al. (2003) desenvolveram um estudo aplicando a ACV a um dos edifícios pertencentes ao complexo da Universidade de Michigan (EUA). A avaliação do ciclo de vida do edifício da Universidade de Michigan possibilitou uma melhor visualização dos possíveis impactos ambientais resultantes de cada uma das fases do ciclo de vida da edificação e o traçado de possíveis estratégias de melhoria na performance do edifício.

Itoh e Kitagawa (2003) analisaram diferentes técnicas construtivas de pontes no Japão, de forma a promover a redução de problemas resultantes de deficiências no projeto funcional das pontes e de danos decorrentes da vida útil limitada das estruturas. Uma análise de impactos ambientais e de custos mais detalhada, dividida em duas etapas, pôde ser obtida através da ACV. Em uma análise posterior, sistemas estruturais de pontes convencionais foram comparados a uma nova proposta estrutural, a qual utiliza menor número de vigas.

Outro exemplo a ser citado com relação à aplicação da ACV em obras de engenharia de grande porte é o da construção de estradas rodoviárias. Na Finlândia, estudos de ACV, baseados, principalmente, na comparação entre o ciclo de vida de superfícies de concreto e asfalto em rodovias, foram desenvolvidos com dados coletados pelas indústrias de cimento e betume (MROVEH et al., 2001). A avaliação de impactos relacionados ao consumo energético e de materiais e às emissões de poluentes auxiliam em avaliações de custos de soluções estruturais, permitindo a escolha de ações mais adequadas, que promovam a melhoria do ciclo de vida de tais construções (MROVEH et al., 1999).

## 4 Aplicação da ACV em pisos e tijolos cerâmicos

Entre os estudos ambientais relacionados a materiais de construção é importante ressaltar a pesquisa aplicada a processos produtivos de pisos e tijolos cerâmicos (SOARES; PEREIRA, 2004), fomentada pela Finep dentro do programa Habitare,

no período de 2001 a 2003. Esse estudo considerou empresas representativas (tecnologia/produto) da produção de pisos e de tijolos no estado de Santa Catarina.

Os aspectos considerados no estudo enfatizam, essencialmente, a qualidade ambiental (externalidades), não levando em conta a saúde e a segurança ocupacional, nem aspectos de qualidade de produto. A estrutura básica estudada foi o processo produtivo (a fábrica) de pisos e tijolos. A extração da argila, principal matéria-prima dos elementos construtivos citados, foi considerada parte integrante do sistema “produção”, tendo em vista a contribuição desse material com mais de 90% (massa) da composição dos produtos e de sua localização, na maior parte dos casos, junto à unidade fabril.

#### 4.1 Definição dos objetivos e escopo

Os limites dos sistemas, definidos neste estudo de ACV, iniciam-se na extração da argila, passando por todas as etapas de produção, até a embalagem e o carregamento das peças para saída da fábrica. No caso da produção de pisos, não foram inventariados os subsistemas de produção dos demais componentes utilizados, como esmaltes e tintas (Figuras 3 e 4).

A unidade de funcional considerada foi 1 m<sup>2</sup> de produto pronto para uso, da etapa da fabricação até a embalagem para expedição. Não houve necessidade de considerar a alocação de funções secundárias, devido à inexistência de produção simultânea ao produto de referência (no mesmo setor de análise). Para a produção de pisos cerâmicos, a unidade funcional considerada foi 1 m<sup>2</sup> de piso, sem rejunte. Por sua vez, para o caso dos tijolos cerâmicos, a unidade funcional considerada foi 1 m<sup>2</sup> de parede de tijolos, com 1,5 cm de rejunte.

O inventário do processo foi realizado ao longo de um ciclo completo de produção. Ele foi repetido duas vezes para as empresas de tijolos e duas vezes no tocante às emissões sólidas e líquidas para as empresas de pisos.

As empresas selecionadas produzem peças de padrão comercial, de mesma categoria, com as seguintes características:

- a) a empresa A produz piso de monoqueima polido, com dimensões 43,7 cm x 43,7 cm, e utiliza gás natural como combustível para secadores e fornos;
- b) a empresa B fabrica um produto de dimensões 44,5 cm x 44,5 cm, também por monoqueima, sem polimento, e tem o gás natural como combustível;
- c) a unidade funcional (1 m<sup>2</sup>) para a empresa A é composta de 5,23 peças e para a empresa B, 5,10 peças;
- d) a empresa C é produtora de tijolos de 6 furos, com dimensões 19,5 cm x 17,0 cm x 12,0 cm, utiliza forno convencional, do tipo garrafão, para queima das peças, e serragem de madeira como combustível;
- e) a empresa D produz tijolos de 6 furos com dimensões 23,0 cm x 17,0 cm x 11,8 cm, queimados em forno contínuo do tipo túnel, também abastecido com serragem de madeira;
- f) a unidade funcional (1 m<sup>2</sup> de parede, com tijolos “deitados”) das empresas C e D é composta, respectivamente, de 35,76 e 32,18 tijolos.

Os fluxogramas do processo produtivo das empresas de tijolos e pisos cerâmicos selecionadas são representados respectivamente pelas Figuras 3 e 4 (a linha tracejada delimita a área de avaliação do inventário).



Figura 3 – Fluxograma-tipo da produção de tijolos  
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

**Extração e transporte de argila** – Pisos e tijolos (consumo de óleo diesel e geração de resíduos)

Para extração de argila, normalmente, utiliza-se escavadeira hidráulica. O tempo necessário para extração da argila e carregamento do caminhão, o consumo de combustível da máquina por intervalo de tempo e a capacidade de carga do caminhão foram os fatores considerados para a estimativa do consumo de óleo durante a extração. Para o transporte, foram levantados os consumos médios dos principais caminhões transportadores utilizados e as distâncias médias de cada jazida até a fábrica.

O levantamento das emissões de poluentes, devido à queima de diesel, foi realizado com base no consumo total estimado (em litros) e nos dados (valores tabelados) de emissão de poluentes, por litro de combustível queimado.

**Preparação da massa e moagem** – Pisos e tijolos (consumo de argila, água e defloculante). A preparação da massa e sua moagem foram monitoradas a fim de se conhecerem as proporções de água, argila e defloculantes (no caso dos pisos) utilizadas. Para tal, foram tomados os dados de massa dos componentes nas cargas do moinho.

**Atomização** – Pisos (consumo de carvão, emissões gasosas, geração de cinzas e perdas). A capacidade do atomizador em ton/h, os teores de umidade da massa de entrada e do pó de saída, a quantidade de pó retida no filtro, o consumo de carvão para alimentação das fornalhas e a quantidade de cinza de carvão gerada foram os elementos sólidos e líquidos utilizados no inventário do processo de atomização. Essas avaliações dependeram de pesagens e análises granulométricas (no caso do material retido no filtro – material particulado).

Os óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presentes no efluente gasoso da chaminé, são provenientes exclusivamente do combustível (carvão mineral) e das condições de operação da fornalha.

**Prensagem e secagem** – Pisos e tijolos (perdas de massa). Por meio de pesagens antes e depois da prensa e do secador, foi determinado o percentual de perdas

nas etapas de prensagem e secagem das peças. As perdas foram levantadas a partir do acompanhamento da produção de determinado lote de peças, contabilizando-se aquelas que apresentavam defeitos e calculando sua proporção com relação ao total produzido.

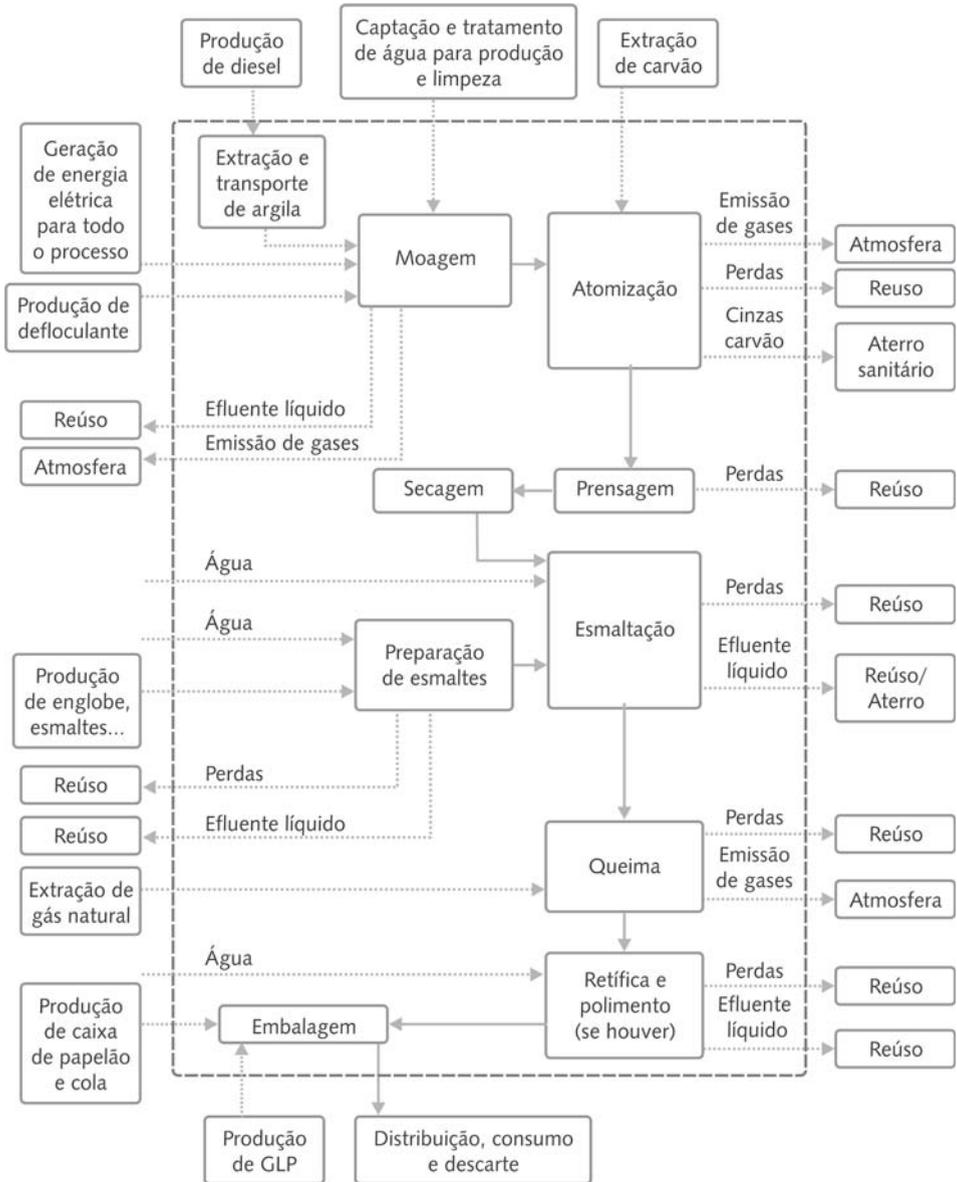


Figura 4 – Fluxograma-tipo da produção de pisos cerâmicos  
Fonte: Soares e Pereira (2004)

**Preparação do esmalte e esmaltação** – Pisos (consumo de materiais, perdas e resíduos). As etapas de preparação de esmaltes (corantes, tintas e engobe) e esmaltação (aplicação nas peças) envolveram medições de massa de componentes utilizados, quantidade de água adicionada e perdas (quebra) nos processos.

**Queima** – Pisos e tijolos (consumo de gás natural, serragem, emissões gasosas e perdas). Durante o processo de queima foram medidas as quantidades de gás natural consumidas por lotes de peças queimadas, no caso de pisos, e de serragem, no caso dos tijolos, bem como medições das emissões atmosféricas. Foram considerados, para a produção de pisos, os mesmos parâmetros da atomização, além de cloretos e fluoretos, provenientes da massa de argila, que em temperaturas acima de 1.000 °C tendem a ser desprendidas.

No caso dos tijolos, os parâmetros considerados nas medições foram CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, C (fuligem/cinzas) e NO<sub>x</sub>.

A madeira e, conseqüentemente, as serragens apresentam em sua composição elementar uma pequena quantidade de enxofre (S). Porém, vistas as afirmações feitas por Jenkins (1990) e Vlássov (1998), foram desconsideradas na pesquisa as emissões de SO<sub>x</sub> durante a queima da serragem.

**Retífica e polimento** – Piso (consumo de água e de pedras abrasivas). Esse processo consiste no reparo de irregularidades nas extremidades das peças (empresa A), por meio de polimento com pedras abrasivas que desgastam as superfícies não conformes com o padrão. O acompanhamento dessa etapa permitiu levantar as quantidades de água (medição da vazão dos bicos dispersores) e de pedras abrasivas utilizadas para o polimento de cada lote de peças, bem como as perdas resultantes.

**Embalagem** – Pisos (consumo de embalagens e cola). A embalagem utilizada (caixa de papelão) foi pesada antes e depois de passar pela máquina seladeira, podendo-se, dessa forma, avaliar a quantidade de cola utilizada para o fechamento de cada caixa. No caso dos tijolos, em que não há a utilização de embalagem, as peças são carregadas para o caminhão e dispostas em forma de pilhas.

**Transporte interno/empilhamento e carregamento de caixas** – Pisos e tijolos (consumo de gás e energia elétrica). O consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) pelas máquinas empilhadeiras (no caso da produção dos pisos) foi calculado com base no consumo mensal desse combustível, tendo-se informações a respeito da produção total no mesmo mês. Da mesma forma, a energia elétrica utilizada em todos os processos foi dividida (total do consumo mensal) pela produção referente ao período, tanto para a produção de pisos quanto de tijolos.

**Lavagem de equipamentos e piso** – Pisos (consumo de água e geração de efluentes líquidos). Os seguintes setores participaram no levantamento da água utilizada para lavagem e geração de efluentes líquidos:

- a) setor de preparação de massa – moagem e atomização, efluente da lavagem do piso e dos moinhos;
- b) setor de prensagem – não gera efluente líquido, uma vez que o piso é somente varrido, e o pó, oriundo do atrito das peças com os roletes, é coletado e volta para os moinhos;
- c) setor de preparação de esmaltes – tem como efluente líquido as águas de lavagem dos moinhos e demais equipamentos, bem como do piso;
- d) setor de esmaltação – da mesma forma que o de preparação de esmaltes, tem as águas de lavagem como efluentes;
- e) setor de queima – não utiliza água, nem para limpeza, portanto não gera efluente líquido; e
- f) setor de polimento e retífica – utiliza, além da água para polimento, a água para lavagem do piso.

A quantidade de água utilizada para lavagem em cada setor da produção foi levantada pela medição da vazão das mangueiras usadas e do tempo médio gasto para o trabalho. No caso do polimento, foi medida a vazão de água que sai das cabeças polidoras.

Nas empresas produtoras de tijolos, normalmente, o piso das fábricas é de terra compactada. Portanto, não há lavagem de pisos ou de equipamentos que processam o material.

**Geração de resíduos sólidos – Pisos.** As duas empresas (A e B) possuem sistemas de tratamento para efluentes líquidos (lavagem de equipamentos e pisos, e polimento e retífica – no caso da empresa A), e o lodo resultante do tratamento constitui um resíduo sólido. A quantidade de lodo produzida por unidade funcional foi levantada por meio do acompanhamento do sistema de tratamento, referente à produção de determinado lote. O resultado foi extrapolado para a unidade funcional.

As cinzas do carvão queimado nas fornalhas do atomizador (40% do total de carvão, em massa) são descartadas como resíduos sólidos. Esse dado foi obtido com base nos dados de consumo de carvão e descartes de cinza.

No caso da empresa A, que realiza polimento das peças, as pedras abrasivas utilizadas são descartadas depois de um tempo relativamente curto, o que gera grande quantidade de resíduos.

Para as empresas produtoras de tijolos, como não há utilização de aditivos na massa, lavagem de equipamento, nem utilização de embalagem, a geração de resíduos provenientes do processo produtivo é bastante reduzida. Normalmente, as cinzas de serragem, retiradas durante a limpeza dos fornos, o pó de varrição e os cacos de peças quebradas ou moídas (chamote) são utilizados como aterro.

## 4.2 Resultados do inventário

Os resultados de todas as medições realizadas, depois de extrapolados para a unidade funcional definida (1 m<sup>2</sup> de piso ou 1 m<sup>2</sup> de parede de tijolo), foram agrupados, para cada uma das empresas, conforme apresentado nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 e Figuras 6 e 7 (pisos cerâmicos). A Figura 5, por sua vez, exemplifica a quantificação das perdas, para cada etapa do processo produtivo de pisos, de uma das empresas. O mesmo procedimento foi realizado para todas as empresas. Pereira (2004) faz considerações e discussões complementares a esses dados.

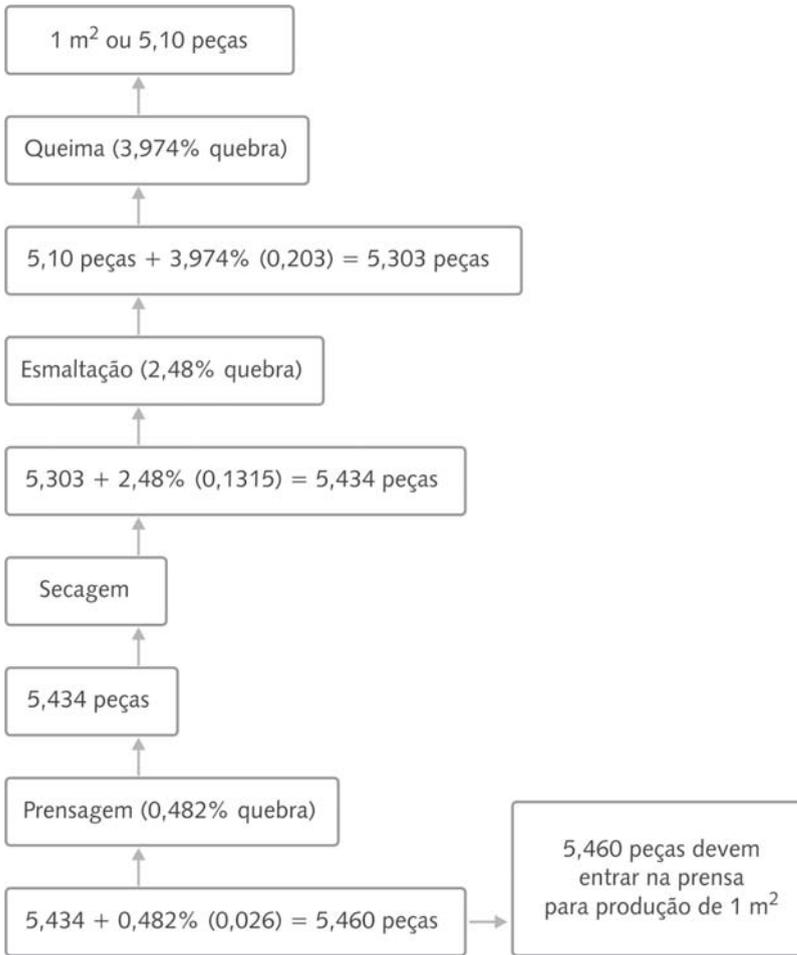


Figura 5 – Avaliação de perdas para a empresa B

Os efluentes líquidos em ambas as empresas retornam, para serem utilizados na lavagem de pisos ou no processamento da argila, após tratamento. Dessa forma, foram consideradas as fontes de água, para cada etapa do processo, tendo sido contabilizado separadamente o consumo de água limpa (proveniente de fonte natural) e de água de recirculação. Os dados de entrada apresentados no inventário referem-se, portanto, ao consumo de “água complementar” limpa.

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m <sup>2</sup>	Item	Quantidade/m <sup>2</sup>
Argila	34,268 kg	Peças (5,23) - 1 m <sup>2</sup>	26,307 kg
Água	36,600 kg	Vapor d'água	23,162 kg
Defloculante	0,171 kg	Lodo de ETE	3,477 kg
Esmalte (todos os componentes)	2,095 kg	Cinza do carvão	1,200 kg
Óleo diesel	0,412 L ou 0,350 kg	Material particulado	0,086 kg
Carvão mineral	3,0 kg	CO	0,011 kg
Gás natural	2,958 m <sup>3</sup> ou 2,295 kg	CO <sub>2</sub>	9,369 kg
Gás GLP	0,028 kg	NO <sub>x</sub>	0,012 kg
Caixa de papelão	0,65 unid. ou 142,962 g	SO <sub>x</sub>	0,046 kg
Cola	1,143 g	Fluoretos (F)	2,740 g
Pedras abrasivas	0,34 unid. ou 0,102 kg	Cloretos (Cl)	5,480 g
Energia elétrica	5,5 kW	HC	1,838 g
		Pedras abrasivas	0,102 kg
		Perdas (quebra)	1,997 kg

Tabela I – Empresa A: produção de 1 m<sup>2</sup> de piso cerâmico  
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m <sup>2</sup>	Item	Quantidade/m <sup>2</sup>
Argila	25,35 kg	Peças (5,10) - 1 m <sup>2</sup>	19,176 kg
Água	5,660 kg	Vapor d'água	10,036 kg
Defloculante	0,352 kg	Lodo de ETE	0,09 kg
Esmalte (todos os componentes)	0,335 kg	Cinza do carvão	0,974 kg
Óleo diesel	0,491 L ou 0,417 kg	Material particulado	0,012 kg
Carvão mineral	2,0 kg	CO	0,009 kg
Gás natural	1,757 m <sup>3</sup> ou 1,363 kg	CO <sub>2</sub>	2,830 kg
Gás GLP	0,016 kg	NO <sub>x</sub>	0,008 kg
Caixa de papelão	0,51 unid. ou 84,828 g	SO <sub>x</sub>	0,010 kg
Cola	0,362 g	Fluoretos (F)	1,462 g
Energia elétrica	2,9 kW	Cloretos (Cl)	2,437 g
		HC	2,191 g
		Perdas (quebra)	1,275 kg

Tabela 2 – Empresa B: produção de 1 m<sup>2</sup> de piso cerâmico  
Fonte: Soares e Pereira (2004)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m <sup>2</sup>	Item	Quantidade/m <sup>2</sup>
Argila	130,26 kg	Peças (35,76) - 1 m <sup>2</sup>	93,69 kg
Água	0,26 kg	Vapor d'água	53,580 kg
Serragem	31,11 kg	CO	0,560 kg
Óleo diesel	0,07 L ou 0,06 kg	CO <sub>2</sub>	41,880 kg
Energia elétrica	0,3 kW	NO <sub>x</sub>	0,022 kg
		Cinza do carvão	0,370 kg
		Perdas (quebra)	1,190 kg

Tabela 3 – Empresa C: produção de 1 m<sup>2</sup> de parede de tijolo (35,76 tijolos)  
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

Entrada		Saída	
Insumo	Quantidade/m <sup>2</sup>	Item	Quantidade/m <sup>2</sup>
Argila	129,69 kg	Peças (35,76) - 1 m <sup>2</sup>	97,67 kg
Água	-	Vapor d'água	50,11 kg
Serragem	26,23 kg	CO	0,051 kg
Óleo diesel	0,32 L ou 0,27 kg	CO <sub>2</sub>	21,410 kg
Energia elétrica	3,7 kW	NO <sub>x</sub>	0,011 kg
		Cinza do carvão	0,250 kg
		Perdas (quebra)	1,940 kg

Tabela 4 – Empresa D: produção de 1 m<sup>2</sup> de parede de tijolo (32,18 tijolos)  
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

Observa-se que a diferença existente no balanço de entradas e saídas pode ser atribuída ao oxigênio do ar. Entretanto, essa quantificação não é apresentada no inventário de entrada devido à dificuldade operacional de medição (tomadas parasitas de ar).

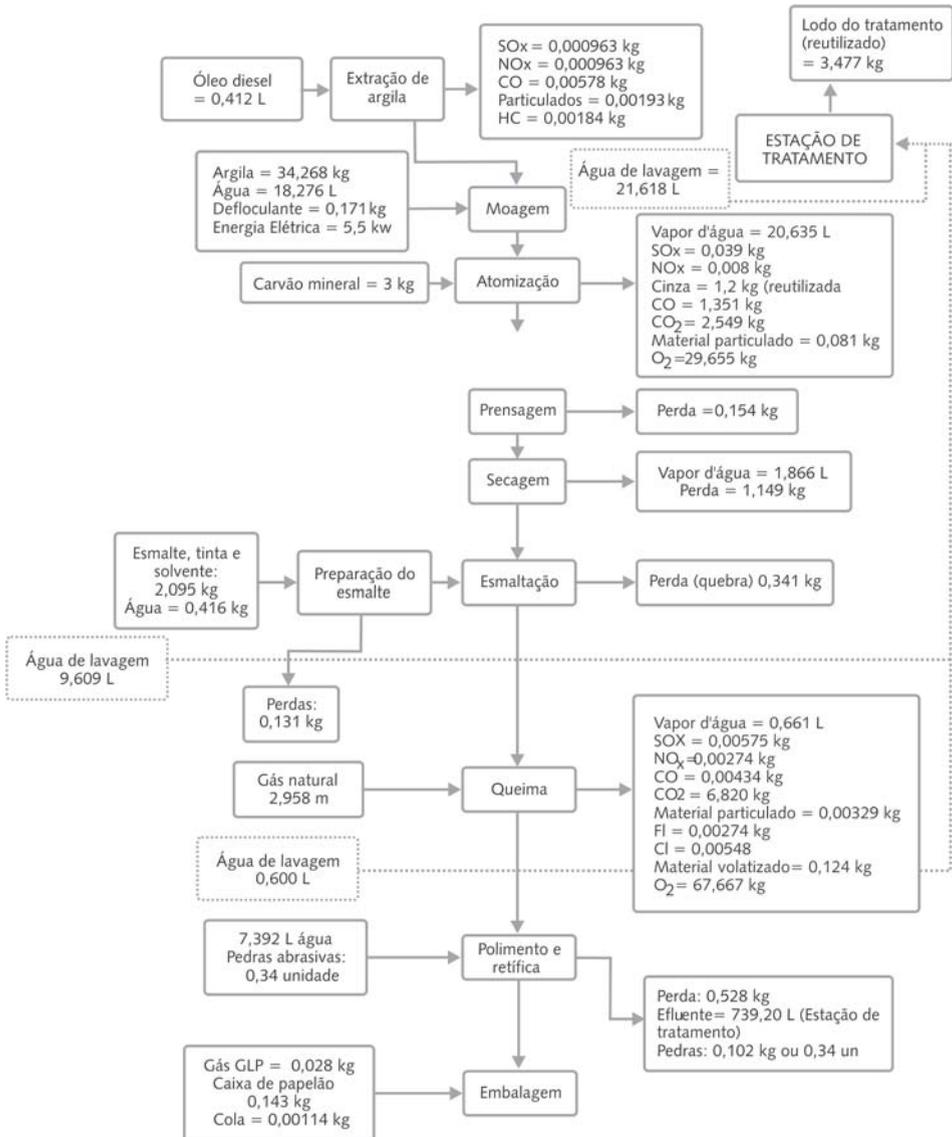


Figura 6 – Inventário da produção de 1 m² de piso cerâmico (empresa A)  
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

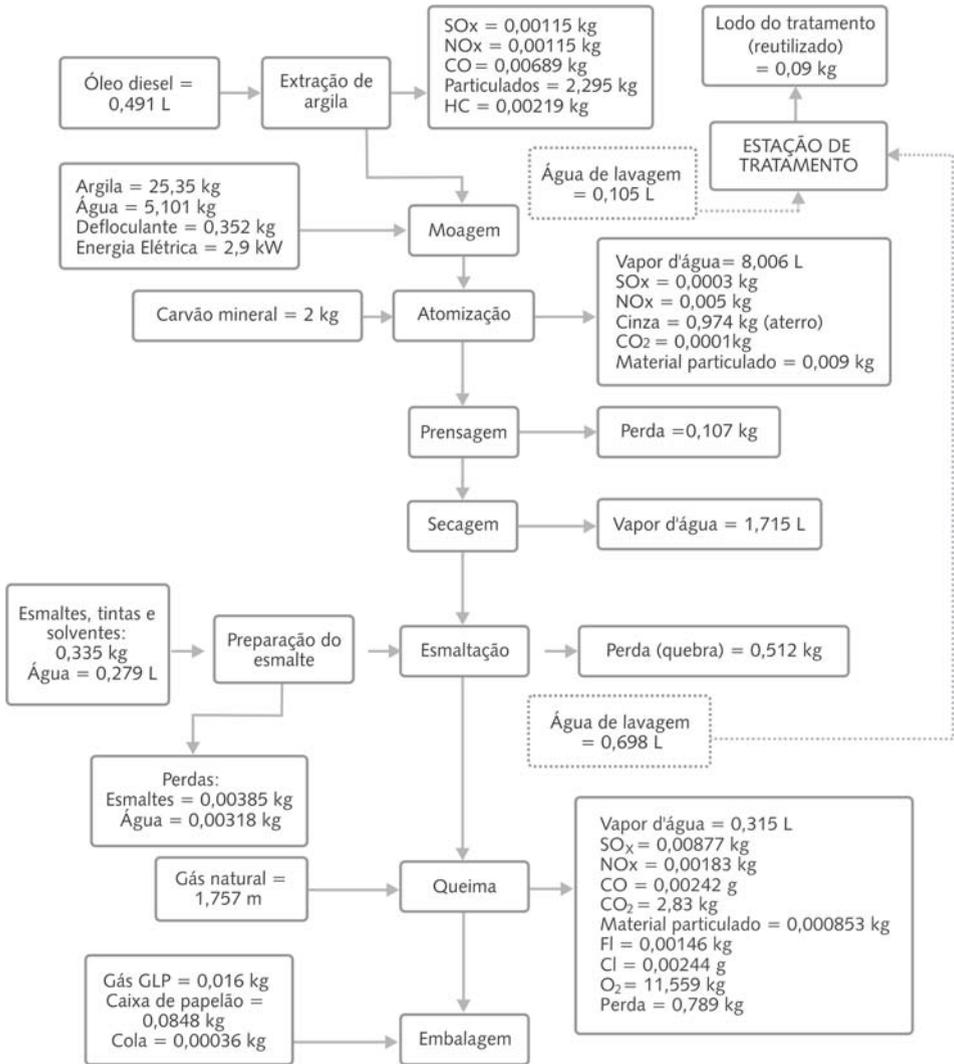


Figura 7 – Inventário da produção de 1 m<sup>2</sup> de piso cerâmico (empresa B)  
 Fonte: Soares e Pereira (2004)

### 4.3 Avaliação de impactos

Os resultados obtidos devem ser considerados em relação à unidade funcional, permitindo-se ressaltar o desempenho ambiental dos produtos. Assim, no caso dos pisos, além de desempenharem uma mesma função, os produtos analisados são enquadrados na mesma classe comercial (A). Nesses termos, destaca-se o grande

consumo de água da empresa A, nas etapas de polimento das peças, embora a água consumida nessa etapa integre um sistema de reaproveitamento, lavagem dos moinhos e preparação da massa.

Pereira (2004) faz considerações complementares sobre as repercussões ambientais dos dados relativos à indústria de pisos cerâmicos. As categorias de impacto selecionadas seguem a proposição do modelo TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts): consumo de matéria-prima (argila); uso de água; esgotamento das reservas de combustíveis fósseis (óleo diesel, gás natural e carvão mineral); degradação de áreas pela disposição de resíduos; aquecimento global (CO e CO<sub>2</sub>); e acidificação e prejuízo à saúde humana (NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>). Os resultados estão resumidos na Figura 8. A avaliação prosseguiu ainda com as etapas de ponderação das categorias de impacto e de agregação delas (método TOPSIS ou Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), sob a forma de um indicador único. Essas últimas fases envolvem julgamento de valores, sendo os resultados associados a tais preferências. Assim, com base nas condições estabelecidas na formulação do problema (etapa do ciclo de vida), nas empresas consideradas, na família de critérios, nos pesos atribuídos e no modelo de agregação, pode-se sugerir que a unidade funcional oriunda da empresa B apresenta melhor desempenho ambiental.

No tocante à produção de tijolos, a empresa D (Tabela 4) utiliza, em média, menor quantidade de insumos, apresentando, no entanto, um consumo de energia elétrica bem superior ao da empresa C, devido, principalmente, à sua melhor condição tecnológica (utilização de processos automatizados). O procedimento de avaliação de impactos pode seguir a mesma seqüência apresentada para o caso dos pisos cerâmicos.

De um modo geral, a diferença entre inventários pode ser atribuída ao padrão tecnológico, à estrutura gerencial e ao fluxo de produção. Com relação a esse último, deve-se ressaltar que em um processo produtivo existem consumos (e mesmo resíduos) fixos, independentemente da quantidade produzida. Nesses casos, grandes produções podem “reduzir” os valores específicos à unidade funcional.

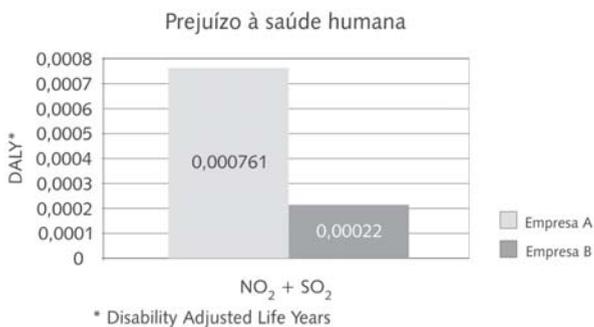
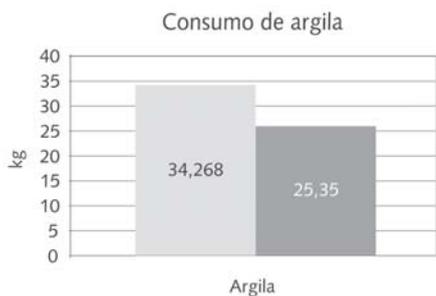
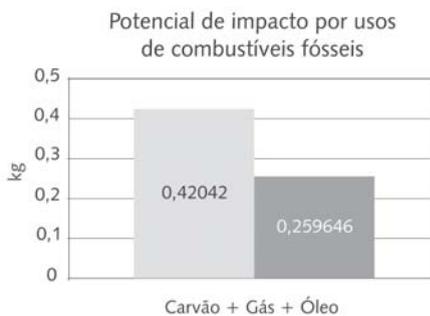
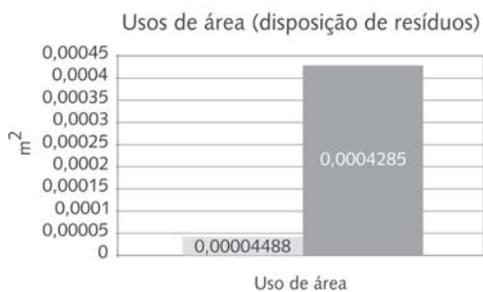
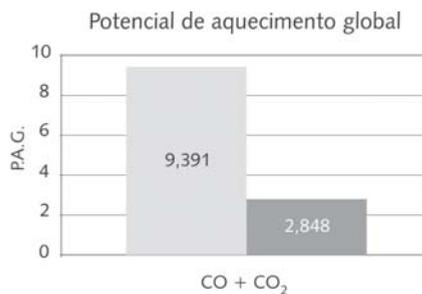
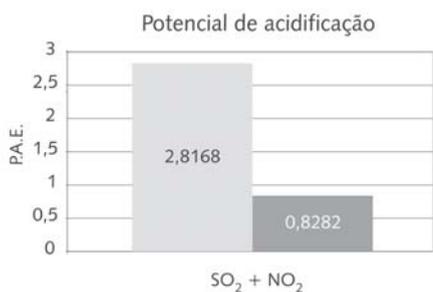


Figura 8 – Categorias de impacto ambiental para avaliação da produção de pisos cerâmicos  
Fonte: Pereira (2004)

A avaliação para cada um dos grupos de produtos, nesse caso, é facilitada, visto se tratar de empresas que recorrem, basicamente, às mesmas matérias-primas e aos mesmos princípios produtivos na confecção de materiais similares. Ou seja, do ponto de vista ambiental, os tipos de impactos ambientais serão os mesmos, diferindo apenas em sua magnitude. Por outro lado, a análise ambiental será mais delicada quando se tratar de materiais diferentes que realizam a mesma função. Dois exemplos a serem citados são a comparação de blocos de concreto/argamassa com blocos cerâmicos e a comparação de pisos cerâmicos com pisos de madeira. Nesses casos, os inventários estarão associados a diferentes tipos de impactos e amplitudes.

## 5 Considerações finais

A Avaliação do Ciclo de Vida está sendo cada vez mais integrada aos processos de tomadas de decisões em empresas. Ela tem revelado sua importância na quantificação de impactos ambientais e na avaliação das melhorias do ciclo de vida de processos, produtos e atividades. Utilizada na avaliação de impactos potenciais e de aspectos ambientais associados a um produto ou serviço, constitui um instrumento de grande proveito nas decisões internas, seleção de indicadores ambientais e planejamento estratégico para obtenção de maiores retornos econômicos e ambientais (CHEHEBE, 1997).

Entretanto, a aplicação da ACV para a avaliação de impactos ambientais associados à construção civil apresenta algumas limitações, especialmente quando comparada à sua utilização no meio industrial. Primeiramente, é importante ressaltar a dificuldade em obtenção de informações e bases de dados confiáveis e completos para os materiais utilizados no setor da construção civil. Scheuer et al. (2003) citam a dificuldade em se obter informações quantitativas a respeito de impactos ambientais gerados, por exemplo, durante as fases de construção e demolição. Tais barreiras existem, principalmente, devido à grande variedade e composição química de materiais utilizados na indústria da construção civil e na própria dinâmica de alteração e renovação, à qual estão sujeitos os espaços arquitetônicos e o meio ambiente urbano.

O uso da ACV para a análise de ambientes internos visando melhorias na saúde e conforto ocupacional é ainda mais reduzido devido à falta de conhecimento com relação à sua aplicação nesses ambientes e à falta de correlação entre os avanços tecnológicos e estratégicos na análise de áreas externas e internas. Comparações entre a ACV e métodos tais como a Avaliação de Emissão de Materiais e a Avaliação de Ambientes Internos foram realizadas de forma a considerar a viabilidade de aplicação da primeira ferramenta no enfoque de aspectos ambientais ocupacionais (JÖNSSON, 2000). Os resultados apontaram algumas limitações no uso da ACV, tais como a dificuldade de alocação de diferentes efeitos às suas respectivas fontes – com relação a emissões de poluentes – e a impossibilidade de inclusão de dados que não sejam representativos ou que não possam ser previstos e quantificados.

Apesar das limitações averiguadas, sua aplicação na avaliação ambiental de sistemas e elementos construtivos possibilita uma análise mais detalhada e crítica da etapa de especificação de materiais e a promoção de melhorias ambientais, e muitas vezes econômicas, nas diversas etapas do ciclo de vida do sistema considerado.

## 6 Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040. **Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14041. Avaliação do Ciclo de Vida: Definição de objetivo e escopo e análise do inventário.** Rio de Janeiro, 2004a. 21 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14042. **Avaliação do Ciclo de Vida: Avaliação do impacto do ciclo de vida.** Rio de Janeiro, 2004b. 17 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 14043. **Avaliação do Ciclo de Vida: Interpretação do ciclo de vida.** Rio de Janeiro, 2005. 19 p.

BARE, J.; NORRIS, G.; PENNINGTON, D.; MCKONE, T. Traci, the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impact. **J. Ind Ecology**, v.6, n. 3-4, p. 49-78, 2003.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. **The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application**. Lund: Studentlitteratur, 2004. 543 p.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 1997. 120 p.

CITHERLET, S.; HAND, J. Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program. **Building and Environment**, n. 37, p. 845-856, 2002.

DREYER, L.; NIEMAN A. L.; HAUSCHILD, M. **Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. Does it matter which one you choose?** **Int. J. LCA**, v. 8, n. 4, p. 191-200, 2003.

EUROPEAN COMMISSION. Directorate General XII for Science, Research and Development. **Environmental impact of buildings: application of the life cycle analysis to buildings**. Paris: Center for Energy Studies, 1997. 145 p. Disponível em: <<http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/html/11.html>>. Acesso em: 17 mar. 2005.

EUROPEAN COMMISSION. **Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials**, 2004. Disponível em: <[http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/sustdev/pvc-final\\_report\\_lca.pdf](http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/sustdev/pvc-final_report_lca.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2005.

FRANKL, P.; RUBIK, F. **Life Cycle Assessment in Industry and Business: adoption of patterns, applications and implications**. Berlin: Springer-Verlag, 2000. 280 p.

GLOVER, J. **A comparison of assessments on three building materials in the housing sector**. 2001. Tese (Doutorado) - University of Sidney, Sidney, 2001. Disponível em: <<http://www.boralgreen.shares.green.net.au/research3/contents.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2005.

GOEDKOOP, M.; EFFTING, S.; COLLIGNON, M. **The eco-indicator 99: a damage orientated method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers.** Second edition 17-4-2000. Amerfoort, The Netherlands: PreConsultants B.V., 2000.

HAUSCHILD, M.; WENZEL, H.; ALTIN, L. **Environmental Assessment of Products.** Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997.

ISO. TR 14049. **Technical report: analyse du cycle de vie: exemples d'application de l'ISO 14040 traitant de la définition de l'objectif et du champ d'étude de l'inventaire.** Genebra, Suíça, 2000. 45 p.

ISO. TS 14048. **Technical specification – LCA: data documentation format.** Genebra, Suíça, 2002. 40 p.

ISO. TR 14047. **Technical report environmental management: life cycle impact assessment: examples of application of ISO 14042.** Genebra, Suíça, 2003. 87 p.

ITOH, Y.; KITAGAWA, T. Using CO<sub>2</sub> emission quantities in bridge life cycle analysis. **Engineering Structures**, n. 25, p. 565-577, 2003.

ITSUBO, N., INABA, A. A new LCIA method: LIME has been completed. **Int. J. LCA**, v. 8, n. 5, p. 305, 2003.

JENKINS, M. B. Fuel properties for Biomass Materials. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATION AND MANAGEMENT OF ENERGY IN AGRICULTURE, 1990, New Delhi. **The Role of Biomass Fuels Proceedings.** New Delhi: Punjab Agricultural University, 1990.

JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J. Impact 2002+: a new Life cycle impact assessment methodology. **Int. J. LCA**, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.

JÖNSSON, A. Is it feasible to address indoor climate issues in LCA? **Environmental Impact Assessment Review**, n. 20, p. 241-259, 2000.

MROVEH, U. M. et al. **Life cycle assessment of road construction**. Helsinki: Finnish National Road Administration, 1999. 59 p.

MROVEH, Ulla-Maija; ESKOLA, Paula; LAINE-YLIJOKI, Jutta. Life cycle impacts of the use of industrial by products in road and earth construction. **Waste Management**, n. 21, p. 271-277, 2001.

NICOLETTI, G. M.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELI, G. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. **Journal of Cleaner Production**, n. 10, p. 283-296, 2002.

PEREIRA, S. W. **Avaliação ambiental dos processos construtivos de pisos cerâmicos por meio de análise do ciclo de vida**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PEUPORTIER, B. L. P. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. **Energy and Buildings**, Paris, n. 33, p. 443-450, 2001.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environment performance of a new university building: modelling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, n. 35, p. 1049-1064, 2003.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 83-94, abr./jun. 2004.

STEEN B. **A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS)**. Version 2000. Göteborg, Se: Chalmers Univ. of Technology. CPM Report 1999:5.

VLÁSSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: FIEP/CIEP/SESI/SENAI/IEL, 1998.

**Doris C. C. Kowaltowski** é arquiteta, com honra, pela University of Melbourne, na Austrália (1969). Mestre em arquitetura (1970) e Ph.D. em arquitetura (1980), ambos pela University of California, Berkeley, nos Estados Unidos. É Livre-Docente pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (1997), onde leciona desde 1989 no Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.  
E.mail: [doris@fec.unicamp.br](mailto:doris@fec.unicamp.br)

**Lucila C. Labaki** é física, professora titular na Unicamp, onde atua na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Adequação Ambiental.

**Silvia A. Mikami G. Pina** é arquiteta, professora assistente doutora na Unicamp, onde atua na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Projeto e Habitação Social.

**Vanessa Gomes da Silva** é arquiteta, professora assistente doutora na Unicamp, onde atua na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em construção sustentável.

**Daniel de Carvalho Moreira** é arquiteto, mestre e pesquisador na Unicamp na área de Arquitetura e Urbanismo com ênfase em metodologia de projeto.

**Regina C. Ruschel** é engenheira civil, professora assistente doutora na Unicamp, onde atua na área de automação de projeto e projeto colaborativo.

**Stelamaris Rolla Bertoli** é física, livre-docente na Unicamp, onde atua na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em acústica arquitetônica.

**Edison Fávero** é arquiteto, professor assistente doutor na Unicamp, onde atua na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em desenho urbano.

**Lauro L. Francisco Filho** é arquiteto, professor assistente doutor na Unicamp, onde atua na área de planejamento urbano.

# 5.

## Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida

Doris C. C. K. Kowaltowski, Lucila C. Labaki, Silvia A. Mikami G. Pina, Vanessa Gomes da Silva, Daniel de Carvalho Moreira, Regina C. Ruschel, Stelamaris Rolla Bertoli, Edison Fávero e Lauro L. Francisco Filho

### Resumo

O objetivo deste projeto de pesquisa foi estabelecer diretrizes de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social construídos pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU). Foi desenvolvida a avaliação pós-ocupação de cinco conjuntos habitacionais, segundo as tipologias dos edifícios. O conjunto habitacional típico tem uma densidade razoavelmente baixa, onde os espaços abertos são mal utilizados e não contribuem para a qualidade da vizinhança. O modelo de APO considerou 5% das unidades residenciais em cada conjunto habitacional. A escolha dessas unidades foi baseada na distribuição uniforme em cada implantação e na inclusão de uma residência familiar por apartamento em diferentes andares. Tópicos relacionados à qualidade espacial, morfológica, contextual, visual, perceptiva, social e funcional orientaram a avaliação pós-ocupação. O estudo resultou em indicadores

de qualidade de vida e diretrizes de implantação. O trabalho apresenta um exemplo desses parâmetros, organizados segundo os níveis e domínios definidos pelo método de projeto axiomático proposto por SUH (1990).

## 1 Introdução

Esta pesquisa avaliou projetos de conjuntos habitacionais (CHs) de interesse social no estado de São Paulo, almejando aprimorar projetos futuros. O principal objetivo deste estudo foi estabelecer diretrizes para uma metodologia tanto para avaliação como para o desenvolvimento de projeto de novos conjuntos. Esse método deveria permitir ao projetista antever e desencadear as discussões sobre a qualidade dos projetos residenciais. A qualidade do projeto de conjuntos habitacionais é vista aqui em duas frentes: o impacto físico-ambiental dos grandes projetos de construção; e a qualidade de vida que esse desenvolvimento habitacional pode oferecer aos seus usuários. Tanto os indicadores de sustentabilidade quanto os indicadores de qualidade de vida devem permear os métodos de desenvolvimento de projeto. A hipótese em que se baseou esta pesquisa foi que, já no estágio de implantação, um grande número de fatores ambientais é definido de tal forma que podem interferir na qualidade de vida dos futuros usuários, além de ter impactos nos aspectos de sustentabilidade.

A meta principal deste estudo foi criar uma sistematização para avaliar os projetos habitacionais no estado de São Paulo, especialmente na região da cidade de Campinas, com um milhão de habitantes e distante cerca de 80 km da área metropolitana da cidade de São Paulo, que conta hoje com mais de 10 milhões de habitantes. Através da avaliação sistemática, foram determinados conceitos de qualidade de projeto baseados nesta pesquisa, que foram inseridos em diretrizes de processo projetivo, influenciando a qualidade de produção dos novos conjuntos habitacionais.

## 2 Avaliação pós-ocupação dos conjuntos habitacionais

O projeto de pesquisa teve início com o estudo de Avaliação Pós-Ocupação (APO) de projetos da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do

Estado de São Paulo (CDHU). Essa companhia tem sido o maior empreendedor de habitações públicas no estado de São Paulo desde 1986, quando o Brasil interrompeu seu programa nacional de habitação. Os projetos da CDHU são baseados em princípios projetivos semelhantes para uma mesma estratificação populacional. Muitos projetos são localizados em pequenas cidades e, desse modo, não são influenciados por uma grande conglomeração urbana como a da cidade de São Paulo.

Foram aplicados 107 questionários em cinco áreas habitacionais promovidas pelo CDHU, num período de quatro meses, no final de 2003. Todos os projetos estão localizados na região de Campinas. Foram entrevistadas 27 famílias na cidade de Campinas, 7 em Atibaia, 14 em Valinhos, 9 em Itatiba e 48 em Santa Bárbara D'Oeste. A ocupação do conjunto de Campinas data de 2003 e as outras quatro áreas foram ocupadas em 1996. Dois projetos (Campinas e Atibaia) seguem o padrão de edifícios com quatro apartamentos por andar, e dois outros projetos (Valinhos e Santa Bárbara) são divididos em duas tipologias distintas, com edifícios de apartamentos e unidades unifamiliares em lotes individuais. O conjunto habitacional de Atibaia é pequeno, com apenas residências unifamiliares em lotes individuais. O número de questionários aplicados representa 5% das unidades habitacionais de cada projeto. A seleção das residências foi baseada numa distribuição uniforme de cada conjunto. A escolha das unidades residenciais ainda procurou uma representação variada de orientações solares e de andares. A equipe de pesquisadores também desenvolveu avaliações técnicas das implantações dos conjuntos mediante observações em cada vizinhança.

Os moradores entrevistados foram identificados pela idade, profissão, local de nascimento e escolaridade. Foi questionada a renda mensal da família e foram descritos, nas entrevistas, quais eram os gastos relacionados à moradia. O questionário permitiu levantar referências da área urbana, índice de satisfação em relação à área residencial e à vizinhança próxima, e relacionar os parques e instituições locais (escolas, sistema de transporte, delegacia de polícia, hospitais ou clínicas e administração do conjunto habitacional).

As entrevistas com famílias que vivem em apartamento procuravam identificar os problemas com áreas comuns (estacionamentos, entradas, calçadas, caixas de escada, depósitos de lixo, botijões de gás, áreas verdes, cercas e grades). Todas as famílias foram questionadas quanto à identificação dos pontos positivos e negativos das áreas comuns, serviços e equipamentos. Foi criada uma lista de itens que não constavam nas perguntas mas que eram mencionados. Também foi questionado aos moradores sobre a existência de um espírito comunitário, qual tipo de atividades eram organizadas no centro comunitário local e qual a participação deles nessas atividades.

Todas as famílias descreveram quais suas idéias de um lar ideal e avaliaram as qualidades de suas casas e vizinhanças. Também indicaram o período que elas vivem na casa atual e descreveram quais as alterações introduzidas na residência (ampliações, modificações, adaptações e acréscimos independentes da casa original). Foi solicitada uma definição da “casa dos sonhos” dos entrevistados, que deveria ser descrita em termos de tipo, tamanho, local e detalhes. Foram descritos os hábitos em relação às atividades domésticas comuns e o local onde eram realizadas. O conceito de sustentabilidade foi relacionado aos hábitos de economia de energia elétrica e água e parcimônia no uso do carro. Foram avaliados pelos usuários aspectos quanto à valorização e conservação da vegetação.

Foi indagado também sobre o conceito de qualidade de vida e as questões de psicologia e conforto ambiental (segurança, proteção física, infiltrações da água da chuva, térmico, acústico, visual, funcionalidade do espaço físico, problemas com fumaça e odores, assim como infestação de insetos e animais). Foi solicitado aos entrevistados que enumerassem os valores estéticos das suas casas e da vizinhança e que descrevessem os detalhes que contribuía para o embelezamento urbano. Em relação à companhia habitacional, pediu-se que os usuários identificassem problemas com a administração, regras e regulamentações locais. Finalmente, foram feitas perguntas sobre a implantação dos conjuntos e sua relação com a densidade habitacional, distância entre as construções, padrão das ruas e ajustes topográficos.

### 3 Observações e resultados dos questionários

O critério de projeto que prevalece nos modelos da CDHU é baseado na repetição e na simetria. Poucos dos conceitos qualitativos associados à humanização da arquitetura foram incorporados na maioria dos conjuntos habitacionais brasileiros, apesar da vasta literatura produzida nos últimos 40 anos (LYNCH, 1960; JACOBS, 1961; ALEXANDER et al., 1977; KOWALTOWSKI, 1980). Descrições dos conjuntos habitacionais típicos encontrados no Brasil, especialmente nas grandes áreas metropolitanas, incluem elementos de uma arquitetura não humanizada, como a monumentalidade, a alta densidade de ocupação, a falta de um paisagismo e de acuidade estética no uso excessivo de objetos artificiais e preocupação desmedida com a segurança em oposição à proteção. A monotonia do espaço, das cores e dos detalhes é um elemento arquitetônico que também corrobora nesse sentido, prevalecendo ainda a falta de manutenção dos edifícios e terrenos.

As observações sobre os projetos habitacionais analisados neste estudo são mais bem exemplificadas pelas imagens apresentadas nas Figuras 1 e 2. Essas imagens ilustram os projetos de casas unifamiliares em lotes individuais (Figura 1) e conjuntos com edifícios de apartamentos (Figura 2). A concepção do projeto não foi alterada nos últimos dez anos. O único progresso que pode ser observado é que o projeto mais recente foi inaugurado com um nível mais alto de infra-estrutura urbana.

Atentando para a tipologia residencial unifamiliar, a condição de propriedade do lote dá início a um processo de rápida transformação da unidade habitacional. Áreas funcionais específicas são aumentadas, garagens são construídas e o lote é murado, de tal forma que a construção resultante lembra muito pouco a residência original. Essas transformações quebram a monótona repetição típica das unidades padronizadas, mas também representam um desperdício do investimento público. A transformação das habitações em projetos públicos foi amplamente estudada através da Avaliação Pós-Ocupação (APO), tendo sido demonstrado que os principais motivos dessas alterações estão relacionados à insuficiente funcionalidade dos espaços e aos projetos baseados em programas arquitetônicos falhos (KOWALTOWSKI; PINA, 1995; TIPPLE, 2000).

Normalmente, os conjuntos habitacionais no interior do Estado de São Paulo apresentam uma densidade relativamente baixa, mas não incluem uma infra-estrutura urbana completa, como calçadas e paisagismo urbano. Os moradores agem por conta própria para providenciar cercas, garagens e outros elementos necessários à criação de uma definição de bairro. Alguns dos exemplos da Figura 2 mostram essas iniciativas. Porém, mesmo com elas, um aspecto geral de abandono prevalece, particularmente nas áreas públicas, que podem ser vistas como áreas de ninguém ou áreas que ficaram para trás.

Com exceção dos projetos mais recentes, nenhum paisagismo foi incluído na implantação dos conjuntos e nenhuma área de lazer foi providenciada, esperando-se que os moradores tomem uma iniciativa por eles mesmos e introduzam esses itens. A manutenção das áreas públicas e espaços livres é dificultada, uma vez que nenhuma infra-estrutura é oferecida. Os moradores ligam mangueiras d'água, algumas vezes a partir do quarto andar, para lavar áreas coletivas do edifício e limpar as escadas. A vegetação (árvores), quando introduzida, é freqüentemente disposta no meio das calçadas estreitas, dificultando a circulação do pedestre. São observados problemas de implantação no arranjo das vias, arbitrariamente dispostas, sem que seja observada a orientação solar ou a direção predominante do vento. Em terrenos íngremes a disposição dos edifícios causa deficiências nas integrações dos espaços. Os platôs horizontais são minimamente dimensionados segundo o perímetro de cada edifício, sem que haja uma reserva adicional de espaço livre circundante. Essa condição de implantação apresenta taludes íngremes e perigosos entre as construções, sendo acrescentadas, sem qualquer planejamento, várias cercas feitas pelos moradores.

Apenas recentemente, foram incluídos cercas, estacionamentos e áreas de garagem na concepção dos projetos de implantação de conjuntos habitacionais. No entanto, as soluções podem ser consideradas primitivas. Não existe qualquer separação entre os acessos de carro e pedestres e também nenhuma comunicação entre as unidades residenciais e os portões dispostos nas entradas junto à rua. Essa situação faz com que o acesso dos visitantes dependa da chance de encontrar um morador que possa abrir uma dessas entradas. A privacidade é vista também como problema. Os apartamentos

no nível térreo são expostos ao movimento em volta dos edifícios, às brincadeiras das crianças e ao vandalismo e roubo através das janelas abertas. As janelas das salas de estar dos apartamentos defrontam-se umas com as outras, numa distância de quatro metros, e o lance da escada coletiva chega diretamente sobre a porta de entrada do apartamento. Essa caixa de escadas aberta é algumas vezes usada como uma espécie de terraço, principalmente nos andares mais altos, uma vez que os edifícios de apartamento não oferecem sacadas, varandas ou jardineiras.

Da análise dos dados da pesquisa de campo observa-se que a maior parte dos entrevistados é do sexo feminino (78%), com idades entre 29 e 48 anos (50%) e com o primeiro grau completo (57%). Cabe lembrar que a escolha dos entrevistados foi realizada de maneira aleatória, representando a amostra 5% das unidades residenciais. No caso dos prédios, foram entrevistados, no mínimo, moradores de um apartamento de cada edifício, do total de cinco conjuntos habitacionais. A renda familiar apresenta-se dividida entre duas categorias: 43% das famílias indicam uma renda entre R\$ 101,00 e R\$ 500,00 e a segunda categoria apresenta 40% dos entrevistados com renda entre R\$ 501,00 e R\$ 1.000,00. Há, portanto, dois grupos distintos, cujas opiniões poderão ser avaliadas separadamente no futuro, já que a renda familiar é um fator importante na avaliação da satisfação dessa população. A renda também deve ser ponderada em função do número de pessoas que são dependentes dessa renda. A renda do primeiro grupo é considerada baixa, uma vez que a maior parte das famílias informou ter dificuldades em pagar todos os seus impostos e outras contas e ainda oferecer o mínimo necessário à sobrevivência de seus membros. Notou-se que havia diferenças significativas entre as famílias moradoras dos conjuntos, observadas também nas características da própria moradia. As transformações das moradias representam melhorias de acabamento e ampliações da área útil além da introdução de construções para abrigarem parentes. Nos apartamentos a diferenciação econômica é visível nas trocas de material de acabamento como pisos e azulejos e na introdução de cortinas. Dentro de um contexto de dificuldade e economia, é evidente que algumas famílias pareciam ter conseguido melhores condições de habitação e de vida do que outras de um mesmo conjunto.

As perguntas que se referiam à qualidade e à avaliação dos bairros propunham o levantamento de marcos e referências dos moradores com relação ao local onde eles vivem. Observa-se que 45% dos entrevistados avaliaram o bairro como bom, e outros 31% o classificaram como satisfatório. Percebe-se que a satisfação com o bairro não é relacionada com a localização dos CHs, pois a maior parte dos conjuntos visitados encontra-se em locais distantes do centro, sendo o acesso relativamente dificultado.



a) Casa unifamiliar típica dos conjuntos habitacionais (Atibaia)



b) Outra tipologia de casa unifamiliar (Santa Bárbara d'Oeste)



c) Transformações das casas - reformas e ampliações (Atibaia)



d) Casa totalmente destruída (Valinhos)

Figura 1 – Exemplos de casas unifamiliares dos conjuntos habitacionais da CDHU no estado de São Paulo



a) Lixeiras comuns sem responsabilidade da manutenção (Campinas "E")



b) Calçada com arborização interferindo na circulação de pedestres (Campinas "E")



c) Ausência de infra-estrutura para a manutenção das áreas comuns (Campinas "E")



d) Introdução de improvisações em áreas livres (Santa Bárbara d'Oeste)

Figura 2 – Conjuntos habitacionais multifamiliares da CDHU no estado de São Paulo

O serviço de transporte, presente nos bairros, foi muito bem avaliado pelos moradores: 57% consideram o transporte bom e 9% muito bom. Já a ausência de infraestrutura urbana foi uma questão levantada constantemente pelos moradores quando questionados sobre o que falta no bairro para que ele seja melhor. Um grande número de entrevistados reivindicava escolas de melhor qualidade e postos de saúde mais próximos, além da presença de mais comércio nas imediações, devido às dificuldades enfrentadas pelos moradores que não possuíam carro para realizar as compras necessárias.

Ainda com relação ao bairro, em termos de beleza, 37% dos entrevistados avaliam como satisfatório o local onde vivem e 31% como bom. Nesse item houve um equilíbrio maior entre as possibilidades de resposta, provavelmente devido ao fato de que a avaliação da “beleza” passa por critérios muito pessoais e subjetivos. Com relação à existência de espírito comunitário no conjunto habitacional, as opiniões mostram-se praticamente divididas: 49% das pessoas declaram presenciar um espírito comunitário e 46% ignoram a existência desse espírito. Observamos que, muitas vezes, o espaço construído dos conjuntos não favorece a criação de um espírito comunitário. Na maior parte das soluções de implantação, a interação sociocultural entre os moradores não favorece o sentimento de territorialidade. É importante o sentimento de espírito comunitário para que os moradores tenham o desejo de melhorar e de conservar o espaço em que vivem. O que vemos nos conjuntos são áreas comuns com pouco equipamento de lazer que venha a favorecer a sociabilidade das pessoas. As áreas livres são vistas como “sobras” entre as áreas construídas, dificultando a integração efetiva.

A observação em campo dos conjuntos habitacionais indica que as áreas comuns, embora avaliadas como boas por 27% e satisfatórias por 19% da população, ainda carecem de equipamentos. O equipamento freqüentemente mencionado como necessário é para o lazer das crianças. Não foram raras as vezes que se observaram crianças brincando em locais com problemas de segurança, pois brincavam nas próprias ruas e sobre os abrigos dos botijões de gás. A supervisão das crianças é precária, pois não há creches ou escolas próximas.

Cerca de 70% das pessoas não mencionaram a qualidade das entradas do conjunto, apesar de identificarem problemas de comunicação e acesso durante as entrevistas. Observou-se que na maioria dos CHs não havia um projeto de acessos e circulação de veículos e pedestres. Outras vezes, os próprios moradores introduziram cercas e portões que eram motivo de orgulho. No Conjunto Habitacional de Santa Bárbara d’Oeste, por exemplo, alguns prédios possuíam melhores entradas, com acabamentos diferenciados no muro, o que, segundo os moradores, havia sido possível devido à boa organização deles próprios.

As escadas também não foram avaliadas por muitas pessoas. Apenas 25% dos entrevistados consideraram as escadas boas e 17% satisfatórias. A responsabilidade pela limpeza das escadas é dos moradores em 37% dos casos, e em 48% dos prédios dos apartamentos os síndicos cuidam da limpeza das áreas comuns. Segundo as observações técnicas, muitas escadas encontravam-se muito mal conservadas, oferecendo risco aos usuários. Muitos corrimãos são mal fixados e a área das escadas é utilizada para guardar materiais de dimensões grandes, o que dificulta a circulação, em especial no caso de emergência.

O Centro Comunitário local, que poderia tornar-se um centro de profissionalização e de integração dos moradores, em muitos casos é pouco explorado. A grande maioria respondeu saber da existência do centro (72%), mas declarou não utilizá-lo. Apenas 27% das pessoas declararam que o utilizam. O baixo índice de utilização deve ter relação com a administração desses centros.

A questão de avaliação das áreas verdes foi respondida por 59% das pessoas: 36% dos entrevistados constatam a existência de áreas verdes, enquanto 35% disseram que elas não existem. Apenas 17% das pessoas avaliaram as áreas verdes como boas; e 23% como ruins. Treze por cento ainda consideraram as áreas como muito ruins. A existência de vegetação nas áreas verdes foi afirmada por 34% da população, mas 47% das pessoas não responderam à pergunta sobre vegetação. Em muitos conjuntos habitacionais a área verde não existe, ou limita-se a uma grande área árida. Há também situações em que o plantio e a escolha de espécies de vegetação são feitos de maneira inadequada. Há destruição das calçadas devido às raízes, ou ainda dificuldade de circulação nas vias devido ao plantio de árvores ou arbustos no meio da passagem. O projeto de paisagismo tem de fazer parte do projeto global (KOWALTOWSKI et al., 2002) e deve levar em conta a vegetação existente e o clima da região. Sabe-se que boas áreas livres e verdes também favorecem a interação das pessoas e melhoram a qualidade do ar das cidades. Em relação ao uso das áreas verdes, apenas 12% das respostas foram positivas e 63% da população não opinou sobre esse uso. Devem ser observadas as questões relativas ao equilíbrio entre a

quantidade de área construída e a de área verde do empreendimento. Segundo 37% dos moradores, essa relação é ruim; para 8% das pessoas, muito ruim. Outros 30% dos entrevistados não responderam.

A maioria dos conjuntos habitacionais pesquisados foi entregue aos moradores com pouca infra-estrutura urbana. No projeto de implantação consta apenas a localização das edificações. Faltam calçadas, estacionamentos e tratamento dos limites das quadras. O fechamento dos conjuntos ou dos lotes é, portanto, realizado pelos próprios moradores, mesmo no caso das residências unifamiliares. Na maior parte dos prédios, os próprios moradores se organizavam para realizar o fechamento, em alambrado ou muros e portões. Já nas residências unifamiliares e lotes individuais, quase a totalidade optou pela construção de muros, também com portões. Com essas condições 48% da população não opinou sobre o fechamento dos conjuntos ou lotes, e apenas 24% das pessoas entrevistadas consideraram o fechamento como bom e 13% como ruim.

Procurou-se conhecer por meio do questionário as características da moradia anterior ao apartamento ou casa adquirido nos conjuntos habitacionais estudados, para entender quais eram as referências que os usuários possuem de habitação. As condições anteriores podem explicar solicitações ou reclamações referentes à nova moradia (apartamento ou casa), especialmente com relação à sua tipologia. Pode-se observar que 73% residiam anteriormente em habitações térreas. Isso pode ser um dos fatores que explicam muitas dificuldades da população de habitar um espaço coletivo (prédio de apartamentos), uma vez que suas referências de territorialidade e de privacidade eram muito diferentes na situação anterior.

A maioria (78%) das pessoas não possuía imóvel próprio antes de mudar-se para um conjunto habitacional. A moradia anterior é avaliada como muito boa por 22% das pessoas e boa por 34%. Em comparação a essa moradia como referência, a moradia atual é considerada boa por 55% da população, com 18% afirmando ser a nova casa muito boa e 22% ruim. A satisfação está relacionada com o fato de a

casa ser própria. A avaliação também inclui que a população entende que tudo que pode ser feito para melhorá-la é sempre para seu próprio benefício e de sua família. A obtenção da casa própria representa segurança para as famílias.

A residência anterior era, na maior parte das vezes, composta de 1 ou 2 dormitórios, cozinha, banheiro e sala. Quarenta e um por cento dessas casas tinham 2 dormitórios e apenas 7% delas tinham copa, 90% cozinha, 82% sala e 89% banheiro dentro da casa. Culturalmente, a sala é um espaço que aglutina uma série de atividades. Essas atividades incluem as questões relativas ao descanso, ao lazer (assistir a televisão, jogar videogame) e às relações sociais (é o espaço onde se recebe visita), entre outras. Nas moradias dos conjuntos habitacionais, isso muitas vezes faz com que o espaço seja excessivamente pequeno, para a quantidade de móveis que as pessoas nele colocam. Assim, pode-se observar um espaço de circulação muito reduzido, e disposição dos móveis nem sempre satisfatória para as suas funções.

A boa avaliação da moradia anterior está relacionada com a sua localização, que era considerada melhor do que o conjunto habitacional onde se mora hoje. Foi destacada a infra-estrutura disponível nas imediações da casa anterior em bairros mais próximos ao centro da cidade.

Em relação à alteração da moradia atual, 75% das pessoas afirmaram que realizaram modificações na casa ou apartamento e 65% da população pretende ainda realizar novas reformas. Essas observações apontam o desejo de personalização do espaço, ainda que não seja possível alterar ou ampliar os apartamentos. As modificações são principalmente voltadas para a melhoria dos revestimentos, mediante a colocação de pisos cerâmicos e azulejos nas áreas molhadas. Também se observa a divisão com parede inteira dos cômodos da cozinha e da sala, quando os apartamentos iniciais propunham divisões em meia-parede.

As moradias são ocupadas por pessoas da mesma família em 92% dos casos (até seis pessoas). Entretanto, existem exceções, em que moravam mais de dez pessoas, que, portanto, possuíam muito pouca privacidade dentro da própria habitação. Onze

por cento das moradias são ocupadas por famílias pequenas, de apenas duas pessoas; 20% das famílias têm três membros e 25% são famílias com quatro pessoas.

Em termos de sustentabilidade, pode-se constatar que 42% da população realiza reciclagem de lixo, 79% procuram racionalizar o consumo de energia elétrica e 81% fazem esforços para reduzir o gasto de água. Em relação ao lixo, destaca-se que a população procura reciclar as latas de alumínio para conseguir alguma renda adicional, levando em conta que a coleta nesses locais ainda não é realizada seletivamente (os próprios moradores fazem a coleta seletiva). Em alguns condomínios os recursos são empregados em benefício comum para a aquisição de equipamentos de lazer ou serviços. A pesquisa, portanto, mostra que a população está propensa a colaborar com campanhas de redução de desperdícios que poderão tornar os empreendimentos mais sustentáveis.

Quando se trata das questões de poluição e hábitos da população, constata-se que apenas 35% das pessoas usam a bicicleta e que esse uso está relacionado ao lazer, e não como meio de locomoção normal. Isso se deve às grandes distâncias e também à nossa cultura, que não favorece esse tipo de transporte. Nenhuma das cidades da região visitada oferece ciclovias, nem possibilidades reais de utilização das bicicletas, uma vez que há um tráfego de automóveis e outros veículos motorizados muito intenso e perigoso. Desse modo, a poluição do ar aumenta, pois parte das pessoas que possuem carro o utiliza diariamente, e a outra parte utiliza os meios de transporte públicos, que também contribuem para a poluição. Vinte e sete por cento das famílias nos conjuntos habitacionais já possuem carro próprio. Quando se perguntou sobre o número de vagas nos estacionamentos, ficou claro que o carro é ainda um bem almejado pela grande maioria da população. De outro lado, a população tem claro o valor da vegetação em relação à qualidade do ar: 67% das pessoas acreditam no benefício da vegetação em relação à qualidade de vida em áreas urbanas.

A segurança física é um aspecto muito importante em cidades com índices de criminalidade elevados. Enquanto 61% dos usuários entrevistados declararam senti-

rem-se seguros dentro de suas unidades residenciais, 65% declararam-se inseguros acerca dos bairros onde os conjuntos estão localizados. Quase sempre nessa questão mencionava-se a problemática do tráfico de drogas no cotidiano desses cidadãos. Fica claro que a segurança física e psicológica dos moradores de um conjunto habitacional depende de muitos fatores, como o detalhamento do projeto e do uso adequado de espaços e equipamentos (KOWALTOWSKI et al., 2002). Em relação a fatores de implantação, sabemos que a segurança equaciona-se, em primeiro lugar, pelo controle de acesso ao lote. Observamos grandes problemas nesse aspecto, uma vez que, teoricamente, apenas os moradores teriam as chaves dos portões e os abririam somente para pessoas conhecidas. Entretanto, devido à falta de um sistema de comunicação entre o interior e o exterior dos edifícios, muitas vezes os portões eram deixados encostados ou eram abertos a pessoas desconhecidas, sem identificação. O controle visual pelos moradores de áreas públicas e semipúblicas é importante para aumentar a segurança. Nas bibliografias internacionais que discutem a implantação dos projetos arquitetônicos, o fator segurança merece destaque e sugere-se que deve assumir um caráter defensivo (NEWMANN, 1972). Recomenda-se que os próprios usuários tenham a capacidade de controlar o seu ambiente, através da visualização plena de toda a área. A visibilidade da área externa do apartamento ou da rua das casas foi considerada importante por apenas 29% das pessoas, e 51% consideraram boa a visibilidade da sua moradia específica. Culturalmente existe mais confiança nos muros altos do que o pleno controle pela própria população do seu espaço. A iluminação das áreas externas é outro fator que auxilia contra roubos e vandalismo. Assim, 64% dos moradores dos conjuntos habitacionais pesquisados acreditam que a boa iluminação pública e em áreas comuns nos prédios contribui para melhorar a segurança dos moradores. Alguns moradores mencionaram que as lâmpadas são com frequência destruídas, o que seria de interesse dos que praticam a violência.

As características do conforto térmico das moradias foram avaliadas pelos moradores para as estações de verão e inverno. No verão, 48% das pessoas avaliam suas moradias como desconfortáveis por serem excessivamente quentes e mal ventiladas e, no inverno, 64% declaram-nas confortáveis. Pouco se conhece sobre pos-

sibilidades naturais e simples de melhoria no conforto térmico, especialmente nos dias mais quentes que ocorrem com maior frequência em nosso país. Quando questionadas sobre quais soluções seriam possíveis para melhorar as condições térmicas, poucas pessoas souberam responder ou mencionaram alternativas mecânicas, como ar-condicionado ou ventilador. A orientação adequada das habitações, o espaço entre os volumes edificados, o projeto paisagístico e o adequado projeto das aberturas são alternativas que poderiam contribuir para a melhora das moradias do ponto de vista térmico.

A maior parte (52%) das moradias não enfrenta problemas de estanqueidade (goteiras, vedação das janelas). Os problemas existentes são relativos ao destelhamento ou à entrada de água pelas aberturas, quando da ocorrência de chuvas acompanhadas de vento muito forte. Por outro lado, 70% têm problemas com insetos e outros animais, devido à proximidade de terrenos baldios ou esgotos a céu aberto. A medida adotada para se proteger desse incômodo é o fechamento das aberturas em prejuízo às condições ideais de ventilação no calor. Deve-se lembrar também que a região onde foi realizada essa pesquisa pertence ao clima tropical, sendo a proliferação de insetos bastante comum. Para amenizar esse aspecto, recomenda-se a colocação de telas nas aberturas, especialmente para o aproveitamento do resfriamento noturno e das brisas naturais. Problemas com a instalação das redes de esgoto trazem mau cheiro para 52% da população. Há também problemas com a implantação dos conjuntos habitacionais próxima a indústrias como a de fabricação de sabão. Em outro caso, a proximidade de plantações de cana-de-açúcar foi indicada como a causa de grande desconforto em relação a cheiros.

O barulho representa um incômodo para 53% dos entrevistados. Principalmente sons emitidos por vizinhos causam constrangimento e desconforto acústico. O aspecto da privacidade dos moradores é prejudicado pela invasão do barulho da vizinhança, através de música em alto volume ou mesmo da brincadeira das crianças na área de uso comum. Esse é um problema bastante recorrente nos apartamentos

do andar térreo, que poderia ser solucionado com a elevação deles com um projeto de implantação em desnível.

A poeira também incomoda os moradores, tendo 59% das pessoas reclamado desse incômodo. As causas mais freqüentemente citadas são queima de cana nos arredores ou terra suspensa no ar das ruas não asfaltadas. Como medida preventiva, os moradores declararam que fecham os cômodos da casa, o que compromete o conforto térmico, já mencionado anteriormente.

Indagando à população sobre detalhes de implantação de conjuntos habitacionais, levantou-se que a beleza externa da moradia foi considerada importante para 81% dos entrevistados. A beleza do bairro foi considerada importante por 89% das pessoas. A beleza pode apresentar um aspecto de dignidade ao local para os visitantes. Como forma de melhorar a aparência externa da moradia, são mencionados a qualidade e o tipo de revestimento aplicado, assim como a existência de jardins. Em termos urbanos, mencionou-se a necessidade de praças e ruas mais arborizadas e limpas nas imediações dos conjuntos habitacionais. Os aspectos de implantação tiveram um alto índice de questões não respondidas (algumas questões com índices de mais de 50%). Da parcela que respondeu, 27% consideraram boa a localização do bairro e 31% boa a localização da sua moradia no conjunto. A distribuição das ruas no conjunto foi considerada boa por 22% da população, mas 55% das pessoas não opinaram sobre esse aspecto. No entanto, as observações técnicas levantaram sistemas de ruas bastante confusos e sem propiciar orientação para os visitantes. Talvez por já conhecerem bem as ruas dos conjuntos, os entrevistados avaliem a distribuição realizada como adequada e se orientem pelo hábito.

A distância entre os prédios foi considerada satisfatória por 38% das pessoas, embora, em alguns casos, a observação considerou que essa distância não alcançou uma medida recomendada, que visa à privacidade das unidades residenciais. A densidade foi avaliada como muito boa por 30% dos entrevistados e satisfatória por outros 30%. A topografia do bairro também foi classificada como satisfatória por 58% das pessoas na maioria dos conjuntos habitacionais. O caso crítico era o conjunto habitacional de Itatiba, projetado com desníveis muito grandes e com taludes perigosos.

Quando questionadas sobre o tipo de disposição das ruas e dos níveis de densidade habitacional, muitas famílias acreditam que os responsáveis pelos conjuntos deveriam ter planejado melhor a disposição da área, de tal forma que se pudesse incluir um número maior de residências. Assim, um maior número de famílias poderia se beneficiar dos projetos habitacionais públicos. Essa opinião é contrastante com a falta de um espírito comunitário, identificado por este estudo de APO.

Os moradores também foram incentivados a opinar sobre detalhes da administração dos conjuntos habitacionais, mas 49% não opinaram sobre esse aspecto e 42% das pessoas declararam que existem normas, ainda que nem sempre sejam cumpridas. É importante levantar que, para que as normas sejam efetivas, elas precisam ser construídas pela comunidade que irá utilizá-las, por meio de um sistema bastante democrático.

A qualidade de vida propriamente dita está associada, para essa população entrevistada, às questões de caráter social, ou seja, ao emprego, à saúde da família e à propriedade particular de uma habitação. Cerca de 40% da população avaliou como boa a sua própria qualidade de vida e outros 46% como satisfatória.

Em resumo, a avaliação dos conjuntos habitacionais não aponta para detalhes específicos de problemas e apresenta um quadro geral de satisfação dos moradores. De outro lado, as observações técnicas demonstram uma qualidade arquitetônica e urbana abaixo da desejada. Há problemas com a implantação dos conjuntos habitacionais que prejudicam as questões da sustentabilidade e da qualidade de vida.

A população associa os indicadores de sustentabilidade principalmente aos custos, como as contas de água e eletricidade. A poluição não é considerada um problema, sendo almejado um carro particular. A qualidade de vida depende da segurança econômica e física. As impressões de segurança na vizinhança são ofuscadas por problemas de drogas e taxas de criminalidade. A população percebe um pequeno número de problemas na implantação dos conjuntos. A delimitação do território através de cercas e portões trancados é mencionada por muitas famílias como sendo requisitos importantes, bem como boas escolas e serviços de saúde. A

vegetação é considerada um item importante, mas poucas famílias plantam árvores em frente às suas casas ou no terreno público. Um número pequeno intervém de alguma forma nesses espaços públicos. Com isso, não existem calçadas ou parques em muitos conjuntos.

## 4 Análise da percepção ambiental

Para o melhor entendimento e análise dos aspectos da psicologia ambiental foi desenvolvido um trabalho com as crianças, moradoras dos conjuntos habitacionais avaliados acima. Através de desenhos, com exemplos apresentados na Figura 3, as crianças puderam expressar suas sensações e percepções sobre o ambiente em que habitam. Esses desenhos, chamados mapas mentais ou cognitivos na literatura da psicologia ambiental, foram utilizados para um melhor entendimento das influências dos aspectos da psicologia ambiental na vida dos moradores de conjuntos habitacionais de interesse social. Os mapas mentais constituem um processo para descrição das transformações psicológicas referentes às percepções individuais, códigos, informações sobre os lugares e atributos do meio ambiente que faz parte do cotidiano de cada pessoa. O mapa mental ou mapa cognitivo não é necessariamente um “mapa”, mas sim uma “análise funcional” do ambiente. Esses dois tipos de mapas envolvem informações sobre o fenômeno espacial do qual a pessoa faz parte. Downs e Stea (1977) se referem a mapas cognitivos como processos mentais por meio dos quais pode-se aprimorar e compreender o mundo ao redor e também como uma representação pessoal organizada do meio físico. Os mapas cognitivos foram utilizados nesta pesquisa para que fosse possível uma análise mais detalhada sobre a influência dos aspectos da psicologia ambiental no cotidiano dos moradores.

É importante considerar as expectativas e a satisfação dos usuários de um conjunto habitacional, pois é através desses sentimentos que se configura a realização do morador como usuário. A introdução de melhorias nos conjuntos habitacionais também depende da contribuição e do engajamento ativo por parte dos moradores

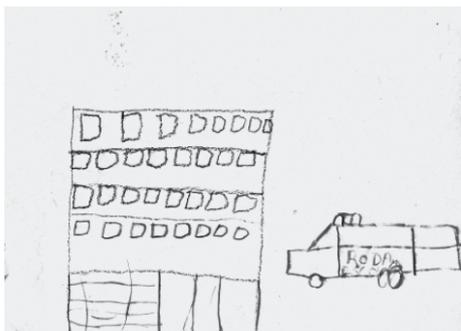
no controle e gestão do condomínio e no diagnóstico de aspectos positivos e negativos. Deve-se considerar que aspectos de segurança física e psicológica estão intimamente ligados às sensações de bem-estar de moradores. Atitudes de vandalismo, criminalidade e alcoolismo devem ser controladas. A individualidade de expressão também faz parte do bem-estar psicológico. As condições de privacidade devem ser consideradas como aspectos importantes na qualidade de vida de moradores.

Os aspectos psicológicos são relacionados a fatores físicos, como distâncias entre volumes construtivos e a posição de aberturas de moradias vizinhas. A territorialidade tem a ver com o espírito comunitário e o sentimento de pertencer ao lugar. O caráter estético e a extensão de um conjunto habitacional são fatores que influenciam esses sentimentos. As condições de interação sociocultural com a vizinhança também contribuem para criar o espírito comunitário. O engajamento em questões ambientais tem se mostrado de grande importância para a criação dessas interações.

Para criar os mapas cognitivos dessa pesquisa, pediu-se para que as crianças representassem a sua moradia e, ao terminar esse exercício, foi pedido para que elas representassem o caminho que fazem para irem de suas casas até a escola. Desse segundo exercício surgiu o “mapa” propriamente dito, com descrições visuais dos percursos e da vizinhança (PINA e PRADO, 2004).

Esse trabalho foi desenvolvido com crianças devido à dificuldade que o adulto possui em representar livremente as sensações que o ambiente lhe proporciona. “Crianças lidam, e com grande prazer, com mapas, que são representações gráficas do mundo que as cerca. Infelizmente, o mesmo não se dá com os adultos, que freqüentemente recorrem a uma expressão bastante comum: Desculpe, mas eu não consigo ler mapas” (DOWNS; STEA, 1977).

Várias pesquisas já utilizaram o desenho para a avaliação de conceitos e comportamentos de crianças. Pela análise desses desenhos pode-se chegar a conclusões sobre questões como territorialidade, privacidade, percepção da paisagem e conforto. Analisando os desenhos das crianças dessa pesquisa de campo, é interessante notar que aparecem freqüentemente desejos momentâneos e fortes das crianças. Assim, podemos constatar que, quando questionadas sobre sua moradia, as crianças,



a) Representação da escola e da ronda escolar



b) Representação dos prédios em vista e das "casinhas" de gás e das canaletas e grelhas vistas em planta



c) Representação da caixa de água e do caminho até a escola



d) Representação da moradia com características duplas de prédio e casa



e) Representação da moradia com telhado. Importância do ordenamento das janelas. Presença de pássaros



f) Representação da moradia. Prédios do CDHU com antenas e flores superdimensionadas

Figura 3 – Desenhos de crianças, moradores dos conjuntos habitacionais da região de Campinas avaliados

na maioria dos casos, representam o telhado de maneira irreal e ilusória. Percebe-se então que o símbolo da casa com o telhado de duas ou quatro águas é muito forte para elas. Essa representação simbólica da casa ocorre, na maioria das vezes, nos desenhos das crianças mais novas. Por outro lado, as crianças mais velhas já representam detalhes reais da sua moradia. A colocação das antenas no alto dos prédios é muito presente e demonstra uma representação mais crítica do ambiente. Também é marcante a frequência do desenho de árvores que não existem na realidade. Assim como foi constatado nos questionários, podemos identificar nos desenhos o desejo das crianças de possuir maiores áreas de vegetação.

É importante ressaltar que, como observado nos questionários, as crianças também acreditam ser importante a beleza do bairro e da moradia. Pode-se constatar isso pelas flores, animais, árvores, cores diferentes das originais, cortinas e outros complementos que são adicionados no desenho da moradia. É simples notar que há o interesse por parte da criança de que a sua moradia seja bonita.

## 5 Diretrizes de implantação e indicadores conhecidos

Os resultados da avaliação pós-ocupação efetuada demonstram que a implantação dessas áreas residenciais não é ideal. Procurou-se assim criar diretrizes para novos projetos. Diretrizes de implantação podem ser encontradas na literatura (MARCUS; SARKISSIAN, 1986; CROWE, 1991; WEKERLE; WHITZMAN, 1995; ALTERMAN; CHURCHMAN, 1998; MARCUS; FRANCIS, 1998). Muitas cidades publicam suas próprias recomendações e convertem essas diretrizes em leis (REED, 1997; ADRAC, 2003).

A literatura procura estabelecer diretrizes de implantação para as situações de habitações de interesse social abordando inicialmente indicadores de sustentabilidade e de qualidade de vida. Indicadores de sustentabilidade têm como base a definição, como descrita pela Brundtland Commission (1987), que indica que os projetistas devem estabelecer condições ambientais que respondam às necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessida-

des. Dados como etapas de desenvolvimento, densidade das construções, taxas de impermeabilidade e conservação das matérias-primas e do solo deveriam ser considerados. A disposição urbana, microclimas e sistemas de tráfego são outros indicadores de sustentabilidade, na medida em que afetam o consumo de energia elétrica, os níveis de poluição e os sistemas de infra-estrutura (THOMAS, 2003).

A definição dos indicadores adequados de qualidade de vida, relacionados com o ambiente construído, tem sido objeto de muitas discussões e estudos (FINDLAY et al., 1988; GOODE, 1993; FELCE; PERRY, 1995). É grande a variedade de indicadores que devem ser considerados na relação de decisões tomadas em projetos de arquitetura e de urbanismo. A satisfação do usuário está ligada aos indicadores de conforto ambiental (térmico, visual, acústico, aspectos de funcionalidade do espaço e qualidade do ar). O índice de satisfação também depende das atitudes do indivíduo em relação ao ambiente, seu conforto psicológico e sua sensação de segurança e proteção (NEWMAN, 1972). Os indicadores de psicologia ambiental dependem da percepção do espaço como território por parte do usuário (GIFFORD, 1997). Os sentimentos de posse, de privacidade e de grupo também são importantes, bem como o da propriedade individualizada (CARMONA, 1997; CARMONA, 2001; PUNTER; THOMAS, 2003).

Muitas diretrizes reconhecidas e encontradas na literatura são divididas em tópicos mais gerais, abrangendo a comunidade e a sua inserção na área urbana, e em tópicos específicos de implantação de conjuntos residenciais que discutem questões como segurança e linguagem arquitetônica das edificações (LGC, 2003).

Existem muitos parâmetros detalhados de projeto para orientar a definição de conjuntos habitacionais. Embora muitas dessas diretrizes não tenham origem em situações locais brasileiras, elas são aplicáveis. Afinal, as pessoas têm necessidades básicas e desejos semelhantes ao redor do mundo. Logicamente, o clima é diferenciado, além da cultura e da matéria-prima disponível, mas esses não deveriam ser motivos para repetir formas inadequadas de oferecer habitações para uma população específica.

Para dar início ao desenvolvimento de um método de projeto e avaliação para conjuntos habitacionais, devem ser estabelecidas diretrizes locais. Uma lista preliminar de diretrizes deveria ser baseada nos tópicos, com detalhamento, apresentados na Tabela 1, levando em questão as peculiaridades locais.

**Diretrizes gerais****Diretrizes locais****Comunidade e segurança**

Determinar dimensões e dispor moradias, mercados, escritórios, escolas, parques e serviços públicos próximos uns dos outros, de tal forma que possam ser percorridos a pé. Oferecer uma diversidade de tipologias residenciais, permitindo que grupos de situações econômicas variadas e de idades diferentes possam conviver dentro de seus limites. Dispor uma área central que ofereça serviços comerciais, públicos e culturais. Encorajar o uso de todas as áreas, quadras, parques e praças nos períodos diurnos e noturnos, através de espaços agradáveis e iluminados. Criar divisões com limites bem definidos, como cinturões agrícolas, permanentemente protegidos do desenvolvimento e avanço das outras áreas; ruas, calçadas e ciclovias constituindo um sistema interconectado e de rotas alternativas e convidativas para todos os lugares. Os terrenos originais, drenagens naturais e vegetações das áreas comunitárias devem ser preservados em conformidade com exemplos observados nas áreas principais de parques e cinturões verdes. Conservar os recursos naturais e minimizar o desperdício. Promover o uso adequado da água através de drenagens naturais, permeabilidade do solo e reciclagem; orientações das ruas, disposição dos edifícios e o aproveitamento de sombras visando a um uso adequado de energia elétrica; planejamento de uso do solo, integrado com uma rede maior de transporte e sistema viário. Implantar instituições regionais e serviços públicos (governamentais, estádios, museus, etc.) no núcleo urbano. Desenvolver um caráter local e uma identidade comunitária através do uso de materiais regionais e técnicas construtivas específicos.

Numa sociedade com altas taxas de criminalidade, criar uma sensação de segurança. É desejável que a comunidade/vizinhança esteja confinada ou murada para controlar o acesso das pessoas. Mesmo sendo muito criticado, viver em comunidades muradas é desejo comum entre os brasileiros da classe média. A particularidade dos limites territoriais deve evitar a imagem negativa de confinamento e de isolamento em relação à vida na cidade e deve considerar o acesso dos visitantes.

**Ruas e sistema viário**

Estabelecer um sistema em que as ruas tenham pequeno volume de tráfego, baixa velocidade e pouco barulho. Prever as alterações de mobilidade da população de idade mais avançada com um projeto apropriado das calçadas. Prever caminhos e bons acessos aos espaços livres e abertos. Avaliar a separação e/ou integração de zonas diversas para reduzir o uso do carro.

Dar atenção especial à orientação. O vento sudoeste predominante deveria ser aproveitado. As calçadas devem ser concluídas na fase de construção. Dispor de boas sombras de árvores sem atrapalhar a circulação dos pedestres, cadeiras de roda, carrinhos de bebê, etc. A rede de circulação de pedestres deve estar integrada com entradas controladas, sendo possível a comunicação com as unidades a partir do portão.

Diretrizes gerais	Diretrizes locais
<b>Implantação</b>	
<p>Relacionar o edifício com a rua e, existindo, com as áreas adjacentes, além de reforçar as fachadas junto à rua. Dispor, sempre que possível, de níveis privativos de entrada para a unidade individual. Assegurar-se de que as entradas dos edifícios são demarcadas e visíveis. Oferecer para cada unidade sua própria identificação visual e endereçamento individual sempre que possível. Manter padrões de recuo. Prover o acesso do pedestre aos serviços adjacentes através de passeios, portões, calçadas, travessas, etc. Dispor de serviços comuns em áreas centrais e ligá-las a espaços abertos comuns. Localizar os edifícios e o paisagismo de tal forma que se maximize a exposição solar durante os meses frios e se controle essa exposição nos meses quentes. Aproveitar a ventilação natural, a luz do sol e as vistas em cada unidade. Localizar o projeto próximo ao comércio e escolas e dentro de uma distância de 400 a 500 metros de paradas de trem ou ônibus sempre que possível.</p>	<p>Definir os serviços comuns com a população. Por exemplo, no Brasil as lavanderias não funcionam como serviço comum e devem ser, no mínimo, incorporadas dentro de cada unidade residencial. Oferecer áreas para varais ao sol, longe do movimento dos pedestres e das áreas de recreação das crianças. Espaços comuns deveriam incluir áreas onde as famílias pudessem organizar churrascos ou festas locais típicas. Essas áreas devem dispor de um espaço amplo, plano e aberto, além de serviços simples, como uma cozinha e banheiro.</p>
<b>Estacionamento</b>	
<p>Dispor de áreas de estacionamento nos fundos ou ao lado do terreno para possibilitar que a maioria das unidades residencial fique de frente para a rua. Construir vários bolsões de estacionamento em vez de uma grande área para estacionar. Plantar árvores e arbustos para suavizar o impacto das áreas de estacionamento e para oferecer sombra e redução do ruído. Evitar muros de frente para a rua em edifícios com áreas de garagem. No caso de os muros serem inevitáveis, amenizar seu impacto com ilustrações, expositores, vegetação e materiais de boa qualidade e duráveis. Localizar os lotes de estacionamento nas proximidades das unidades residenciais, favorecendo a vigilância casual. Separar os caminhos de pedestres e de bicicletas do tráfego de veículos. Estabelecer áreas livres de trânsito de veículos para proteção e lazer dos pedestres e de ciclistas.</p>	<p>Oferecer um espaço para o carro (que é um item desejado) para cada unidade residencial. Os estacionamentos de automóveis devem ser cercados por questões de segurança e ter o acesso controlado e separado das entradas de pedestres. Evitar a iniciativa de dispor abrigos individuais para carros, o que causa uma ocupação ineficiente da vaga de estacionamento, além de ter uma má aparência. Introduzir vegetação para sombrear áreas de estacionamento (as pessoas preferem andar uma pequena distância quando a vaga para estacionar dispõe de uma sombra).</p>

Diretrizes gerais	Diretrizes locais
<b>Espaços abertos públicos</b>	
<p>Projetar espaços livres abertos, como se fossem “cômodos abertos”, e evitar deixá-los iguais aos espaços vazios. Prover espaços abertos públicos onde possam ser realizados jogos, recreação e atividades sociais e culturais. Localizar espaços abertos públicos de tal forma que possam ser vistos das unidades residenciais individuais e, de preferência, da cozinha, da sala de estar e da sala de jantar. Dispor das áreas de brincadeiras infantis de forma centralizada, permitindo a supervisão dos adultos nas unidades residenciais e/ou de um serviço central. Oferecer um sistema de iluminação econômico e de uma variedade de fontes, em intensidades e qualidades apropriadas para a proteção.</p>	<p>Evitar sobras de pequenos espaços onde não podem ser ocupados por um campo plano de futebol ou um jardim de recreação com equipamentos simples (escorregadores, balanços, etc.). Introduzir equipamentos e paisagismos na concepção do projeto. Sombrear essas áreas, o que é de extrema importância em climas quentes. Facilitar a manutenção.</p>
<b>Espaços abertos privados</b>	
<p>Prover cada domicílio com algum tipo de espaço aberto privado útil e acessível, como um pátio, varanda, <i>deck</i>, terraço, quintal ou uma fração de varanda de entrada ou terraços. Cercar com grades as sacadas para permitir privacidade e definir limites, evitando paredes sólidas que impeçam que as crianças pequenas possam olhar para fora.</p>	<p>Evitar que o espaço seja visto como uma oportunidade para mais construções. Prover as habitações multifamiliares com uma pequena área aberta e privativa, com um espaço sombreado, com floreiras, e de onde se possa acompanhar as atividades das crianças e se refugiar do calor dos espaços fechados. Desencorajar a incorporação dessa área aos espaços fechados através do projeto ou da localização.</p>
<b>Paisagismo</b>	
<p>Projetar o paisagismo para valorizar a arquitetura e definir espaços públicos e privados úteis. Utilizar espécies de plantas nativas e resistentes, fáceis de aguar e manter. Sombrear áreas pavimentadas. Oferecer opções para sentar e ficar nas áreas ajardinadas. Incluir caminhos para receber crianças, adultos, bicicletas, <i>skates</i>, carrinhos de compra, caminhadas, animais de estimação, etc. Prover iluminação apropriada.</p>	<p>Escolher a vegetação adequada para obter sombra e evitar danos à construção através de uma área suficiente e reservada para vegetação. Prover uma boa cobertura do terreno para evitar erosão e problemas com lama. Dispor de um leve nivelamento das áreas abertas. Oferecer boa visibilidade das áreas abertas e dos arredores dos edifícios por questões de segurança. A vegetação deve ser de fácil manutenção. Calcular o crescimento da vegetação e as dimensões das árvores adultas no esquema paisagístico original. Prover faixas de vegetação e terreno naturais nos padrões das ruas.</p>

Diretrizes gerais	Diretrizes locais
<b>Arquitetura</b>	
<p>Projetar os edifícios do conjunto habitacional sem repetir soluções padrão. Aproximar o gabarito de altura das estruturas aos edifícios das redondezas. Dispor o primeiro piso do edifício em relação à rua de tal forma que esteja sutilmente elevado para manter a privacidade. Relacionar o tamanho e a volumetria do projeto de acordo com os edifícios da vizinhança. Eliminar formas de caixote com a definição de frentes amplas. Tornar a construção agradável visual e arquitetonicamente. Valorizar as vistas e tornar os espaços amplos através de grande número de janelas. Quebrar a fachada dos edifícios horizontais em pequenos componentes através do uso de estruturas verticais adjacentes. Certificar que o ritmo, tamanho e proporção das aberturas são semelhantes aos dos edifícios de boa qualidade na vizinhança. Utilizar varandas, escadas, balaustradas, faixas e cortes para valorizar as características do edifício. Selecionar os materiais e cores do edifício de tal forma que sejam complementares à área circundante e que tenham um alto nível de conteúdo reciclável, sempre que possível.</p>	<p>Usar projetos padrão de forma inteligente através de um projeto cuidadoso, que receba acréscimos em termos de implantação, paisagismo e uso da cor. Elevar o nível térreo/ primeiro piso, meio andar ou através de <i>pilotis</i> para favorecer a privacidade e a segurança. Prover acesso aos deficientes físicos por elevadores, rampas com inclinações apropriadas, adequações das calçadas e pavimentações sem obstruções. O depósito de lixo que incentive a reciclagem deve ser um critério de projeto. Introduzir a participação do usuário no processo de projeto para reduzir as alterações posteriores. As particularidades dos espaços devem estar de acordo com as atividades domésticas (prover uma área para mesa e cadeiras na cozinha ou na sala onde a família possa fazer as refeições e onde as crianças possam fazer seus deveres de casa).</p>

Tabela 1 – Diretrizes de implantação para áreas residenciais

A matriz de indicadores de sustentabilidade de assentamentos e vizinhanças foi definida com base nessas diretrizes e em recomendações de organização, mensuração e indicadores feitas em diversos trabalhos anteriores, entre eles Bequest (2000), Dett (2000), EGBF (2001) e Sharma (2003).

A matriz vincula cada categoria e subcategoria de sustentabilidade à escala espacial do impacto, à etapa do ciclo de vida em que devem ser considerados, às medidas de desempenho apropriadas e ao nível de desempenho mínimo aceitável. As *medidas de desempenho* ora constituem a verificação da adoção de diretrizes de projeto (qualitativas), ora oferecem possibilidades para quantificação da intensidade dessa adoção. Não foram estabelecidos pesos entre os diferentes indicadores-diretrizes. O objetivo é, antes, facilitar que os participantes do processo identifiquem os pontos em que podem intervir e estabeleçam, conforme cada contexto, uma estratégia de priorização e um plano de ação correspondente.

Devido à extensão da matriz completa, a Tabela 2 sintetiza as categorias consideradas, mas detalha apenas os itens *uso do solo* e *aspectos comunitários* (assinalados em cinza).

Categorias/ subcategorias	Escala especial	Etapa do ciclo de vida	Medida de desempenho	Nível de desempenho
Energia	n/a análise implantação			
Materiais	n/a análise implantação			
<b>Uso do solo</b>				
-Intensidade de uso do solo	Vizinhança	Planejamento, projeto	<i>footprint</i> projeto / área terreno n° unidades/hectare	80%, em dois pavimentos (habitação) ≥ 60 unidades/ hectare
-Área de solo consumida pela <i>footprint</i> dos edifícios	Edifício	Planejamento, projeto	m <sup>2</sup> /ocupante	2,5 m <sup>2</sup> /ocupante 2 pessoas por quarto
-Reúso/recuperação do sítio	Vizinhança	Planejamento, projeto	% contaminado % redensolvimento	60%
-Uso misto	Vizinhança	Planejamento, projeto, gestão do patrimônio	Proporção de usos (residencial, comercial, varejista, lazer, comunitário)	Conforme necessidade da comunidade, desde que seja uso misto
-Integração do sítio ao entorno	Vizinhança	Planejamento, projeto		
-Cobertura do solo	Vizinhança	Projeto	Área total/área construída Área construída/área verde	
-Ecologia	Vizinhança	Projeto	N° espécies/ha	Para melhoria radical: x Para aumento significativo do valor ecológico local: y
Água	n/a ref. aos edifícios			
Cargas ambientais na esfera global	n/a análise implantação			
Cargas ambientais na esfera local	Edifício, propriedade, vizinhança, cidade, região			
Aspectos ambientais na esfera do edifício	n/a ref. aos edifícios			
-Qualidade do ar interno	n/a ref. aos edifícios			
-Saúde no ambiente interno	n/a ref. aos edifícios			
-Conforto interno	n/a ref. aos edifícios			

Aspectos ambientais: esfera da propriedade/sítio				
· Conforto áreas externas				
Aspectos comunitários				
· Redução de oportunidades de crime	Vizinhança	Planejamento, projeto, desenvolvimento e empreendimento		Aplicação de princípios de projeto para segurança (controle visual, iluminação, etc.)
· Envolvimento comunitário	Vizinhança	Planejamento, projeto, construção, desenvolvimento e empreendimento	Nº reuniões públicas Nº participações e reuniões realizadas Nº pessoas envolvidas	
· Espaços públicos de boa qualidade	Vizinhança	Planejamento, projeto	% área pública Sistema de gestão implementado	
· Diversidade	Edifício, vizinhança	Planejamento, projeto	Nº de tipologias de edificações (e % de cada um) Nº de usos diferentes (% de cada um)	
· Adaptabilidade	Edifício, vizinhança	Planejamento, projeto, operação		
· Segurança em áreas externas	Vizinhança	Planejamento	Nº de atividades de risco na área (ex.: postos de gasolina)	
· Facilidade de movimentação	Vizinhança	Projeto, planejamento	% de ruas interconectadas % de <i>cul-de-sacs</i>	
· Facilidade para ciclistas e pedestres	Edifício, vizinhança	Planejamento, projeto, operação	km calçadas/km vias km ciclovia/km vias km ciclovia/ <i>footprint</i> duchas/ocupante armazenamento de bicicletas segregação de vias	Comprimento calçadas (largura adequada) = 2x comprimento total das vias Comp. ciclovia (90 cm) = 2x comp. total das vias 1 vaga coberta para, ao menos, 80% dos residentes
· Nível do serviço público	Vizinhança, cidade	Planejamento, desenvolvimento e empreendimento		
· Vitalidade urbana	Vizinhança, cidade	Planejamento, projeto, desenvolvimento e empreendimento	% propriedades desocupadas nível de criminalidade usos mistos acessibilidade (vias interconectadas)	Mínimo

Mobilidade integrada	Vizinhança, cidade	Planejamento, projeto, desenvolvimento e empreendimento		
Política de transporte	Vizinhança, cidade	Desenvolvimento empreendimento	Política de transporte disponível	
<b>Custos</b>				
<b>Acessibilidade econômica (custo no ciclo de vida x poder de compra do usuário)</b>				
<b>Oportunidades de negócios propiciadas pelos usos mistos</b>				

Tabela 2 – Matriz de indicadores de sustentabilidade para assentamentos e vizinhanças

Neste trabalho, não foram considerados aspectos de tamanho e layout, conforto e acessibilidade dentro das unidades  
n/a = não aplicável

## 6 Organização das diretrizes de implantação de conjuntos habitacionais

Uma vez reunidas as diretrizes de implantação, visando à sustentabilidade ambiental e à qualidade de vida em conjuntos habitacionais, coletam-se informações para que possam ser utilizadas adequadamente no desenvolvimento e análise de projetos.

Para constituir um método de avaliação de projeto, para conjuntos habitacionais de interesse social, o estudo de métodos de projeto nos levou até o chamado “Método Axiomático” (Axiomatic Design). Esse método foi desenvolvido por Suh (1990), para organizar o processo de projeto em engenharia mecânica. O método é baseado no seguinte princípio: “tornar o projetista mais criativo, reduzir o processo de pesquisa, minimizar as tentativas sucessivas e os erros de processo, além de determinar o melhor projeto, entre aqueles propostos”. A teoria desenvolvida por Suh utiliza uma decomposição do processo de projeto, em que as necessidades dos usuários (CNs – *Customer Needs*), ou clientes, geram requisitos funcionais (FRs – *Function Requirements*), que são determinantes dos parâmetros de projeto (DPs – *Design Parameters*); estes, por sua vez, geram variáveis do processo (PVs – *Process Variables*).

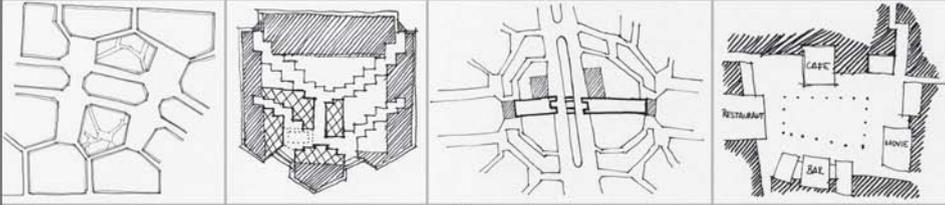
O método axiomático é visto como uma importante contribuição para a inclusão de dados qualitativos e para estruturar uma grande quantidade de informa-

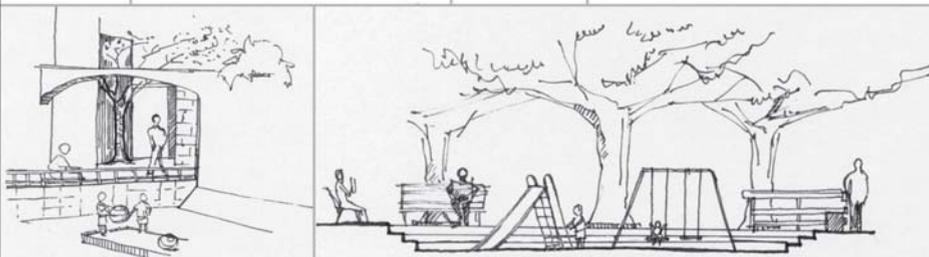
ções, para enriquecer o processo. O procedimento lógico, em que os projetistas avançam, passo a passo, na tomada de decisões, também deveria acrescentar coerência ao processo. Enquanto o processo mental em projeto não é seqüencial, a prática de pensar, de maneira estruturada, pode levar a uma maior criatividade (BROADBENT, 1973). A documentação do processo de decisão dá transparência ao processo de projeto e permite o registro da informação, evitando conflitos e insatisfações entre os usuários do produto final. Apesar do fato de que a subjetividade é inerente ao processo de projeto, um procedimento metodológico é importante para aumentar as bases científicas do projeto. A inclusão detalhada dos conceitos dos usuários sobre qualidade, no processo projetivo, pode gerar uma ligação direta entre os critérios de projeto e os desejos do usuário, mesmo se não forem baseados numa definição clara, um a um (GIFFORD, 1997).

A Tabela 3 apresenta uma aplicação do modelo axiomático na definição da implantação e projeto de áreas habitacionais. Esse exemplo teve como base o trabalho desenvolvido por Alexander et al. (1969), para um projeto de conjunto habitacional no Peru. As questões principais da implantação de conjunto habitacional foram adaptadas às realidades locais da região de Campinas, para uma aplicação efetiva em novos projetos.

## 7 Considerações finais

A introdução sistemática de aspectos diversificados, complexos e multidisciplinares dos fatores de projeto é, ainda, uma questão difícil no projeto de residências que deveria ser estudada a partir de bases metodológicas. Através de extensivos estudos de APO, deveria se esperar que fossem oferecidas respostas efetivas para os novos projetos, diminuindo a repetição dos erros. Uma grande companhia habitacional, com uma boa equipe de projetistas, deveria ser capaz de oferecer qualidades ambientais em seus novos projetos. Mas esse não é o caso na região de Campinas. Nosso estudo de APO mostrou que completar o processo de projeto

FR1	Projetos de casas que ajudem no desenvolvimento de uma comunidade (peruana) local.	DP1	Projeto baseado nos hábitos culturais e sociais locais.
FR1.1	Oferecer um lugar onde as pessoas compartilhem uma mesma forma de vida e reforce o sentimento de grupo.	DP1.1	Criar células residenciais de interesse particular, separadas por áreas abertas ou serviços comunitários ou áreas públicas.
FR1.1.1	Considerar as características pessoais fundamentais, como introvertido /extrovertido (ou privacidade e relação comunitária).	DP1.1.1	Dividir as células residenciais em áreas pacatas ou movimentadas, tendo estas casas diferentes níveis de exposição à circulação de pedestres, em áreas de atividades públicas.
FR1.1.1.1	Garantir o acesso a comida fresca.	DP1.1.1.1	Projetar um mercado central para o conjunto habitacional.
			
FR1.1.1.1.1	Garantir o acesso a pé, das casas, nas células residenciais, até o mercado.	DP1.1.1.1.1	Localizar o mercado numa artéria de tráfego central, com um acesso direto aos caminhos de pedestres.
FR1.1.1.1.2	Garantir o acesso de carros para entregas.	DP1.1.1.1.2	Localizar o mercado numa via arterial de grande tráfego.
FR1.1.1.2	Garantir o acesso aos serviços públicos durante a noite.	DP1.1.1.2	Criar centros noturnos com restaurantes, bares, cinemas, sorveterias, central de polícia, postos de gasolina, paradas de ônibus (dar às pessoas lugares agradáveis aonde ir à noite).
FR1.1.1.2.1	Garantir que as pessoas se sintam seguras.	DP1.1.1.2.1	Reunir, pelo menos, seis atividades (as pessoas se sintem seguras em grupo).
FR1.1.1.3	Garantir o acesso desimpedido à educação. Garantir a integração entre escola e comunidade. A educação superior não deveria ser separada da maioria dos processos sociais comuns.	DP1.1.1.3	Implantar a escola de forma que os caminhos públicos de pedestres atravessem as cercanias. Espaços públicos como playgrounds, auditórios e lojas encontram os caminhos públicos, para que possam ser compartilhados pela comunidade.
FR1.1.1.4	Garantir acesso à educação pré-escolar.	DP1.1.1.4	Distribuir, nas células residenciais, pequenos jardins infantis, com acesso direto dos pedestres.

FR1.1.1.4.1	Prover visibilidade das atividades pré-escolares.	DP1.1.1.4.1	Dispor das áreas de atividades infantis num nível mais baixo, em relação aos caminhos de pedestres, de tal forma que os passantes possam observar as crianças e estes possam ser observados.
			
FR1.1.2	Servir qualquer área residencial através de vias locais. Evitar ruídos e tráfego perigoso.	DP1.1.2	Localizar o sistema de circulação da vizinhança em ruas contínuas, estreitas e de sentido único.
FR1.1.2.1	Evitar cruzamento de duas ruas.	DP1.1.2.1	Em qualquer ponto da rede viária, onde duas ruas se encontram, sem semáforos, elas devem formar um "T" em ângulos retos, numa distância mínima de 50 m entre os pontos de conexão.
FR1.1.2.2	Dar conforto ao pedestre nas vias locais.	DP1.1.2.2	Em ruas com fluxo contínuo de carros dispor as vias de automóveis 50 cm abaixo dos caminhos de pedestres (dar ao pedestre um ar melhor para respirar e uma vista para o outro lado da rua).
FR1.1.3	Oferecer áreas de estacionamento distribuídas próximas dos serviços públicos, escolas, etc.	DP1.1.3	Criar pequenas quebras de estacionamento, para 5 ou 9 carros, no máximo, evitando grandes áreas pavimentadas ou a síndrome do mar de carros.
FR1.1.4	Dar às pessoas a possibilidade de passear entre os serviços públicos e nos parques.	DP1.1.4	Separar o tráfego de carros dos caminhos de pedestres. Criar sistemas de caminhos públicos, que não distem mais de 50 m dos edifícios e serviços públicos ou 100 m de qualquer casa.
FR1.1.4.1	Localizar atividades para criar relacionamentos comunitários.	DP1.1.4.1	Ao longo do caminho de pedestres, criar pequenos bolsões de atividades, por meio do aumento da passagem, como um espaço aberto. Dispor lojas e serviços nesses bolsões.

FR1.1.5	Criar sistemas separados de tráfego, tanto para carros como para pedestres, que se cruzem freqüentemente.	DP1.1.5	Criar dois sistemas ortogonais separados de tráfego (carro e pedestre), que se cruzam (com cruzamentos a cada 100 m de distância e pequenas áreas de estacionamentos, próximos aos cruzamentos, onde pedestres e carros possam se encontrar).
FR1.1.5.1	Sinalizar os cruzamentos entre pedestres e carros de forma clara.	DP1.1.5.1	Criar articulações nos cruzamentos dos dois sistemas ortogonais (carros e pedestres), para identificá-los claramente.

e implantação de residências, desenvolvido por uma agência habitacional do governo, como a CDHU no Brasil, não é uma tarefa fácil. As descrições e os resultados dos questionários acima e as transformações, em grande escala das casas, indicam que é necessário repensar o processo de projeto desses empreendimentos.

162

São necessárias mudanças em três frentes: política, conceitual e programas de acompanhamento. Primeiro, é necessária uma mudança política clara. Os resultados desta pesquisa acadêmica, assim como os dados dos estudos de APO, devem ser usados para estimular as políticas habitacionais a abandonar as soluções defasadas e baseadas em quantidade, e não na qualidade dos programas habitacionais. Atualmente, a propaganda política enfatiza o número de unidades habitacionais, construídas sob uma administração particular. Esse tipo de mudança é visto como sendo de

grande dificuldade, uma vez que, em países em desenvolvimento, a pressão pública é pequena quando a questão é a alteração da qualidade. Os protestos acontecem, apenas, em momentos de catástrofes, como no caso da condenação de um edifício. Não obstante, existe pouca informação disponível que demonstre a relação entre custo e benefício de melhores programas habitacionais, o que perpetua a maneira ultrapassada de fazer as coisas.

Em segundo lugar, a fase de projeto requer uma nova abordagem e uma análise sistemática para evitar a repetição de modelos inapropriados. Métodos de avaliação habitacional deveriam ser desenvolvidos. Esses métodos deveriam enfatizar os indicadores de sustentabilidade e de qualidade de vida. A análise de projeto deve ser baseada em definições de parâmetros projetivos e na atribuição de pesos desses conceitos. Contudo, a seleção dos parâmetros não é fixada ou regulada, dependendo apenas das escolhas pessoais do projetista. Também não é eficaz dar maior atenção a um ou outro parâmetro de projeto, mediante um sistema de pesos, uma vez que as variáveis são freqüentemente de mesma importância ou não comparáveis. Além disso, métodos matemáticos, que poderiam ser aplicados nessa situação, consomem tempo e não são muito proveitosos em áreas de incerteza (JONES, 1980).

Como terceiro e último passo, os projetos habitacionais requerem um envolvimento ativo da população. Deveriam ser delineados programas em que a população pudesse participar do processo de tomada de decisão dos projetistas e programas de acompanhamento, para ajustes das configurações físicas. O método do tipo “livro de atividades” para a participação do usuário, desenvolvido por Horelli (2002) e amplamente utilizado nos países escandinavos, deveria ser experimentado em um projeto residencial local, para avaliar sua aplicabilidade e eficácia na introdução de melhorias nos conjuntos habitacionais existentes na região de Campinas.

## Referências bibliográficas

ADRAC. Architectural Design and Review Advisory Committee. **Current trends architectural design guidelines for the Housing Finance Authority of Miami Dade Country**. Key West, Florida, USA, 2003.

ALEXANDER, C.; HIRSHEN, S.; ISHIKAWA, S.; COFFIN, C.; ANGEL, S. **Houses generated by patterns**. Center for Environmental Structure, Berkeley, CA, 1969.

ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **A pattern language**. Nova York: Oxford University Press, 1977.

ALTERMAN, R.; CHURCHMAN, A. **Housing density: a guide to increasing the efficiency of urban land use**. Haifa: The Center for Urban and Regional Studies, Technion, Israel, 1998.

BROADBENT, G. **Design in architecture: architecture and the human sciences**. London: John Wiley & Sons, 1973.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future: World Commission on Environment and Development**. Oxford, UK: Oxford University Press, 1987.

CARMONA, M. **Housing design quality through policy: guidance and review**. London: Spon Press, 2001.

164

CROWE, T. **Crime prevention through environmental design: application of architectural design and space managements concepts**. Boston: Butterworth Heinemann, 1991.

DETR UK. **Building a Better Quality of Life: a strategy for more sustainable construction**. 2000.

DOWNS, R. M.; STEA, D. **Maps in minds**. New York: Harper & Row, 1977.

FELCE, D.; PERRY, J. Quality of life: its definition and measurement. **Research in Developmental Disabilities**, v. 16, p. 45-55, 1995.

FINDLAY, A.; MORRIS, A.; ROGERSON, R. Where to live in Britain. **Quality of Life in British Cities**, v. 5, n. 3, p. 268-276, 1988.

FREITAS, C. G. L. de, BRAGA DE OLIVEIRA, T.; BITAR, O. Y.; FARH, F. **Habitação e meio ambiente: abordagem em empreendimentos de interesse social**. IPT, Programa de Tecnologia de Habitação, HABITARE, São Paulo, 2001.

GIFFORD, R. **Environmental psychology: principles and practice**. 2. ed. Boston, Allyn and Bacon, 1997.

GOODE, D. (Ed.). **Quality of life**. New York: Brookline, 1993.

HORELLI, L. A methodology of participatory planning. In: BECHTEL, R.; CHURCHMAN, A. (Ed.). **Handbook of Environmental Psychology**. New York: John Wiley, 2002.

JACOBS, J. **The death and life of great American cities**. Random House: New York, USA, 1961.

JONES, J. C. **Design methods: seeds of human futures**. Great Britain: A Wiley-Interscience Publication, 1980.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. **Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida**. Relatório parcial de projeto de pesquisa FINEP. Processo: 2412/00. Campinas: 2002.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Humanization in architecture: analysis of themes through high school building problems**. University of California, PhD. Thesis, Berkeley, USA, 1980.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PINA, S. A. M. G. Transformações de casas

populares: uma avaliação. In: ENCONTRO NACIONAL, 3., e ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1. Antac. **Anais...** Gramado, jul. 1995.

LGC. Local Government Commission. **Building more livable communities:** design guidelines for multifamily housing. Sacramento, USA, 2003.

LYNCH, K. **Site planning.** Cambridge: The MIT Press, 1972.

LYNCH, K. **The image of the city.** Cambridge: The MIT Press, 1960.

MARCUS, C. C.; FRANCIS, C. (Ed.). **People places:** design guidelines for urban open space, Van New York: Nostrand Reinhold, 1998.

MARCUS, C. C.; SARKISSIAN, W. **Housing as if people mattered:** site design guidelines for medium density family housing. Berkeley, USA: University of California Press, 1986.

NEWMAN, O. **Defensible space:** crime prevention through urban design. New York: Collier Books, 1997.

PEDRO, João Branco. **Programa habitacional:** vizinhança próxima. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2001.

PINA, S.A.M.G e PRADO, D. **Qualidade de Vida em Conjuntos Habitacionais: Análise da Percepção Ambiental.** XII CONGRESSO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (anais). Campinas: UNICAMP, setembro de 2004.

PUNTER, J.; CARMONA, M. **The design dimension of planning:** theory, content and best practice for design policies. London: E&FN Spon Press, 1997.

REED, D. **Australia's Guide to Good Residential Design.** AGPS: Canberra, National Office of Local Government, Canberra, Australia, 1997.

SUH, N. P. **The principles of design**. New York: Oxford University Press, 1990.

THOMAS, R. (Ed.). **Sustainable urban design**: an environmental approach.

London: Spon Press, 2003.

TIPPLE, G. **Extending themselves**: user-initiated transformations of government built housing in developing countries. Liverpool: University of Liverpool Press, 2000.

WEKERLE, G.; WHITZMAN, C. **Safe cities**: guidelines for planning, design, and management. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.



**Vanderley M. John** é engenheiro civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (1982). Mestre em Engenharia Civil (1987) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. É doutor em Engenharia (1995) e livre-docente (2000) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Fez pós-doutorado no Royal Institute of Technology na Suécia (2000-2001). É professor associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Diretor do CB 02 da ABNT desde 1995, representa esta organização no conselho técnico do PBQP-H. Participou diversas vezes da diretoria executiva da ANTAC, tendo sido seu presidente entre 1993 e 1995. Foi pesquisador do IPT no período de 1988 a 1995 e professor da UNISINOS (1986-1988). Atua nas áreas de Ciência de Materiais para Construção e Infra-estrutura, com ênfase em Reciclagem de Resíduos e Aspectos Ambientais.

E-mail: john@poli.usp.br

**Sérgio Cirelli Angulo** é engenheiro civil pela Universidade de Londrina (1998). Obteve título de Mestre (2000) e Doutor (2005) em Engenharia de Construção Civil e Urbana pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foi Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina em 2001. Ministrou palestras em instituições como Petrobrás, Universidade Estadual de Campinas, Associação Brasileira de Limpeza Pública, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo. Atualmente, é pós-doutorando em Engenharia de Minas e de Petróleo na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, atuando na área de Reciclagem de Resíduos para a Construção.

E-mail: sergio.angulo@poli.usp.br

**Henrique Kahn** é geólogo (1977) pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP. Mestre em Mineralogia e Petrologia pelo Instituto de Geociências da USP (1988). Doutor (1991) em Engenharia Mineral pelo Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP. Professor (livre-docente) de graduação e pós-graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP atuando na área de caracterização tecnológica de matérias-primas minerais. Atualmente é coordenador do Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP e presidente do International Council for Applied Mineralogy (ICAM).

E-mail: henrique.kahn@poli.usp.br

# 6.

## Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização

Vanderley M. John, Sérgio C. Angulo e Henrique Kahn

### 1 Introdução

**E**ste capítulo tem por objetivo apresentar um método de controle de qualidade para emprego dos agregados graúdos reciclados, provenientes da fração mineral dos resíduos de construção e demolição (RCD) em concretos, a partir de uma ferramenta de caracterização.

Ele é resultado de um projeto que teve por objetivo o aperfeiçoamento da normalização para emprego dos agregados de RCD reciclados em concretos, convênio nº 23.01.0673.00. Esse projeto foi financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep, Programa Habitaré) e executado pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com a participação do Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo (Sinduscon-SP). Ele ainda contou com recursos complementares de instituições como o Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

O projeto foi composto de equipe multidisciplinar, envolvendo especialistas de áreas como Construção Civil (especialidade em Materiais de Construção), Mineralogia, Tratamento de Minérios e Química, além de dois estagiários, três alunas de Iniciação Científica, duas alunas de Mestrado e um aluno de Doutorado.

Foram produzidas, nesse período, uma monografia de conclusão de curso, duas dissertações de Mestrado e uma tese de Doutorado, incluindo um capítulo de livro, um artigo em revista científica nacional, três artigos de periódicos de difusão tecnológica (um deles internacional), 15 artigos de congressos (nacionais e internacionais) e quatro resumos de Iniciação Científica. Ainda nesse período, a equipe colaborou intensamente na elaboração das normas técnicas de uso de agregados de RCD reciclados, particularmente em concretos sem função estrutural, NBR 15116, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicada oficialmente no ano de 2004.

Uma contextualização do tema é apresentada no item 2, para destacar a importância da reciclagem intensiva da fração mineral do RCD, a fim de minimizar os impactos ambientais e econômicos desse resíduo em cidades, assim como as potencialidades do emprego de agregados de RCD reciclados nos setores de argamassas e concretos. O item 3 discute as dificuldades do emprego dos agregados de RCD reciclados em concretos, em razão da: a) pouca eficiência na triagem da fração mineral do RCD; b) variabilidade intrínseca desses agregados; c) insuficiência dos métodos de controle de qualidade; e d) necessidade de controle no processamento do RCD mineral. No item 4, apresenta-se o método de controle de qualidade dos agregados de RCD reciclados para emprego em concretos, considerando os seguintes itens: a) obtenção de amostras médias representativas, por método de homogeneização; b) método de separação por densidade e influência nas características e propriedades físicas desses agregados; e c) parâmetros de controle de qualidade desses agregados, para emprego em concretos.

## 2 Contextualização

### 2.1 Gerenciamento dos resíduos de construção e demolição

Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam de 13% a 67%, em massa, dos resíduos sólidos urbanos, tanto no Brasil como no exterior; e cerca

de duas a três vezes a massa de resíduos domiciliares (JOHN, 2000). No Brasil, considerando-se um índice médio de geração *per capita* de 500 kg/habitante por ano, estima-se uma geração na ordem de 68,5 milhões de toneladas/ano para uma população urbana de 137 milhões de pessoas, segundo censo do IBGE<sup>1</sup> de 2002 (ANGULO et al., 2002).

As experiências nacionais e internacionais indicam que, quando ignorados pelas administrações públicas, os RCD acabam sendo depositados ilegalmente na malha urbana (EC, 2000) e são responsáveis pela degradação urbana, pelo assoreamento de córregos e rios, pelo entupimento de galerias e bueiros, degradação de áreas urbanas e proliferação de escorpiões, aranhas e roedores que afetam a saúde pública (PINTO, 1999). Na cidade de São Paulo, por exemplo, mais de 20% dos RCD são depositados ilegalmente dentro da cidade e em cidades vizinhas, o que gera para o município uma despesa anual de R\$ 45 milhões/ano para coleta, transporte e deposição correta desse resíduo (SCHNEIDER, 2003). O ciclo “deposição ilegal privada e limpeza pelo órgão público” é repetido indefinidamente (Figura 1). O RCD, dada a sua elevada massa, também contribui para o esgotamento dos aterros em cidades de médio e grande portes (SYMONDS, 1999; EC, 2000).



(a)

(b)

Figura 1 – Deposição ilegal na cidade de São Paulo. (a) Rua utilizada como depósito clandestino limpa pela prefeitura em 30/08/2002. (b) A mesma rua depois de dois meses.

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – <http://www.ibge.gov.br>.

Muitos países, e até cidades brasileiras, como Belo Horizonte, investem num sistema formal de gestão dos resíduos urbanos, que inclui mecanismos específicos para os RCD. A literatura apresenta a experiência de países como a Holanda (HENDRIKS, 2000), Reino Unido (HOBBS; HURLEY, 2001), Brasil (PINTO, 1999) e outros. Esse sistema geralmente contempla os seguintes pontos (JOHN et al., 2004): a) incentivo à deposição regular dos resíduos, através de uma rede de pontos de coleta desses resíduos, que evita as deposições irregulares, pois reduz os custos de transporte, combinada com regulamentação e fiscalização da atividade de transporte; b) promoção da segregação na fonte dos diferentes materiais presentes no RCD, reduzindo a contaminação e o volume dos aterros de inertes e facilitando a reciclagem; e c) estímulo da reciclagem por meio de proibição ou imposição de impostos para a deposição do RCD em aterros, e por meio do estabelecimento de marco legislativo e de normas técnicas que permitam as utilizações dos materiais reciclados, particularmente da fração mineral do RCD.

No Brasil, essa visão foi parcialmente adotada pelas Resoluções nº 307/2002 e nº 348/2004, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). A Resolução nº 307 atribui responsabilidades aos geradores, transportadores e gestores municipais. Aos municípios cabe a definição de uma política municipal para RCD, incluindo sistemas de pontos de coleta. Dos construtores, exige a definição de planos de gestão de resíduos para cada empreendimento. Ela estabelece que o RCD deve ser selecionado em quatro diferentes classes, sendo as classes A e B recicláveis. A classe A, objeto do presente estudo, é a de origem mineral (rochas, solos, cerâmicas, concretos, argamassas, etc.), que deve ser reciclada como agregados para construção civil ou destinada a aterros específicos, onde possa ser, inclusive, minerada futuramente. A classe B é composta de plásticos, papel, metais, vidros, madeiras, asfaltos e outros. A classe C é composta dos resíduos do gesso, e a D composta dos resíduos perigosos.

Os benefícios da reciclagem são (JOHN, 2000; EC, 2000): a) redução da utilização de aterros; (b) menor ocorrência de deposições irregulares; (c) redução no consumo de recursos naturais não-renováveis; e (d) redução dos impactos ambientais

das atividades de mineração. Esses benefícios só poderão ser atingidos por meio da reciclagem intensiva (ANGULO et al., 2002).

## 2.2 Reciclagem e mercados potenciais do RCD

Os resíduos classe B, plásticos, papéis e metais, já possuem mercados de reciclagem consolidados em boa parte das grandes cidades brasileiras. A inserção de toda e qualquer madeira nessa categoria talvez deva ser revista, uma vez que o principal mercado dessa fração hoje é a queima, que pode ser ambientalmente problemática para produtos contendo colas, tintas e biocidas. A reciclagem dessas frações, embora importante, está fora do escopo deste trabalho, assim como as frações C e D.

A fração de origem mineral, que inclui o resíduo classe A mais o gesso, representa em torno de 90% da massa do RCD no Brasil (BRITO, 1998; CARNEIRO et al., 2000), na Europa (EC, 2000; HENDRIKS, 2000) e em alguns países asiáticos (HUANG et al., 2002). A Figura 2 mostra uma usina de reciclagem dessa fração típica no Brasil e seu produto principal, o agregado reciclado, que é destinado para usos como correção de relevos, concretos magros de fundações, base de pavimentação, entre outros. Essa realidade é observada até mesmo em países mais desenvolvidos (COLLINS, 1997; ANCIA et al., 1999; HENDRIKS, 2000; MULLER, 2003).



(a)

(b)

Figura 2 – Usina de reciclagem da fração mineral do RCD de Vinhedo, estado de São Paulo (a) e detalhe do agregado de RCD empregado nas atividades de pavimentação (b)

No Brasil, existiam, em 2002, 11 usinas de reciclagem municipais (LEVY, 2002). Esse número cresceu e hoje existem até mesmo algumas privadas. As escalas de produção das usinas nacionais são pequenas, tipicamente menos que 100 toneladas de RCD processado/dia (ANGULO, 2005). Assim, a reciclagem do RCD é ainda quase insignificante diante do montante gerado. Já na União Européia existem países com índices de reciclagem entre 50% e 90%, como a Holanda, Dinamarca e Alemanha, assim como países com índices menores que 50%, como Portugal e Espanha (EC, 2000).

Uma discussão sobre os diferentes mercados de agregados potencialmente interessantes para a reciclagem da fração mineral de classe A do RCD é apresentada em Angulo et al. (2002, 2003), a partir de dados disponíveis na bibliografia, como Kulaif (2001), Whitaker (2001) e Tanno e Mota (2000), entre outros. A Figura 3 mostra o consumo brasileiro de alguns materiais de construção de origem mineral, com destaque para o mercado de agregados naturais, dividido por setor. A massa total de agregados consumida anualmente é estimada em aproximadamente 380 milhões de toneladas. A geração de RCD classe A é estimada em 61,6 milhões de toneladas por ano<sup>2</sup>.

O setor público é o grande consumidor de agregados para pavimentação, com um consumo de cerca de 50 milhões de toneladas por ano. Nesse total se incluem os agregados utilizados para pré-moldados de concreto, utilizados na infra-estrutura urbana. Esse setor, no entanto, não pode consumir toda a produção potencial de agregados de RCD reciclados, tanto no Brasil quanto na Europa, onde se estima que a pavimentação é capaz de absorver em torno de 50% da massa total do RCD (COLLINS, 1997; BREUER et al., 1997; HENDRIKS, 2000).

O restante, cerca de 330 milhões de toneladas de agregados, é consumido pelo setor privado, sendo majoritariamente empregado em concretos e argamassas. Se todo o RCD classe A for reciclado como agregados e destinado a esse mercado, apenas 20% dos agregados naturais serão substituídos por reciclados.

<sup>2</sup> A fração mineral do RCD corresponde a 90% da massa total do resíduo, que é estimada em 68,5 milhões de toneladas/ano.

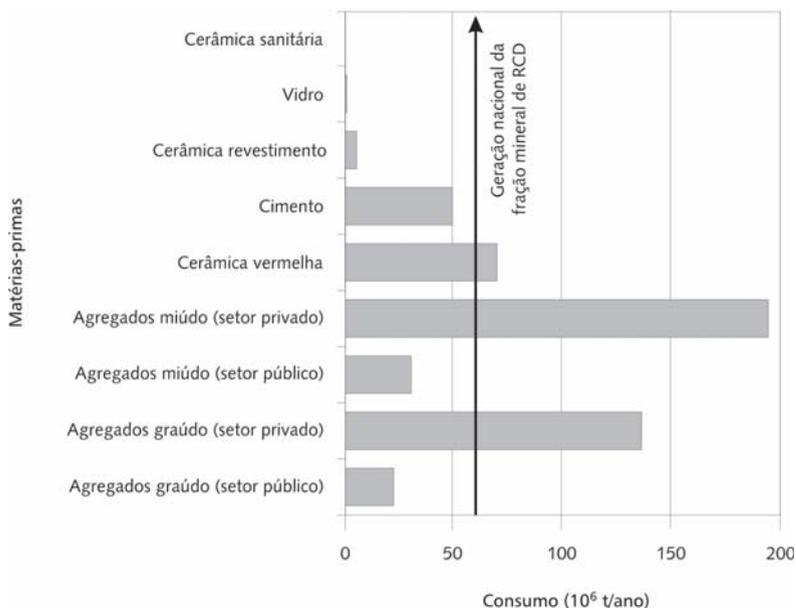


Figura 3 – Consumo brasileiro de agregados por setor e de matérias-primas para a indústria do cimento e cerâmica. A seta vertical indica a estimativa de geração de RCD no Brasil (a partir de dados de KULAIF, 2001; WHITAKER, 2001; TANNO; MOTA, 2000)

### 3 Dificuldades no emprego dos agregados de RCD reciclados em concretos

Apesar da existência de normas técnicas na Dinamarca, Holanda (HENDRIKS, 2000; HENDRIKS; JANSSEN, 2001), Alemanha (DIN, 2002), Inglaterra (REID, 2003) e no Brasil (ABNT, 2004) que regulamentam o emprego dos agregados de RCD reciclados em concretos, existem diversas especificidades que tornam difícil essa utilização, tais como: a) pouca eficiência na triagem da fração mineral do RCD; b) variabilidade intrínseca dos agregados de RCD reciclados; c) insuficiência dos métodos de controle de qualidade desses agregados; e d) deficiência de controle de processamento.

#### 3.1 Pouca eficiência na triagem da fração mineral do RCD

As normas técnicas que discutem o emprego de agregados de RCD reciclados em concretos estruturais exigem que estes sejam constituídos quase que exclusivamente do resíduo de concreto. Na prática só é possível a obtenção de agregados de

RCD reciclados constituídos de concreto com o uso de demolição seletiva que separa, na origem, o concreto dos demais resíduos minerais de classe A das demais classes. Essa prática dificilmente ocorre, exceto quando são demolidas obras constituídas quase que exclusivamente de concreto, o que no Brasil são raras. Mesmo a Holanda, que é um país que recicla em torno de 90% do RCD (SYMONDS, 1999), somente 1% das empresas de demolição do país utilizam a técnica de demolição seletiva (KOWALCZYK et al., 2002). Neste país, o resíduo oriundo da demolição corresponde a grande parte dos resíduos de construção e demolição (ANGULO, 2000). Conseqüentemente, mesmo na Holanda, os agregados de RCD reciclados são pouco utilizados em concretos estruturais com resistência mecânica superior a 20 MPa (HENDRIKS, 2000). O mesmo deve ocorrer em outros países que possuem mercados de reciclagem menos consolidados.

No Brasil, mesmo com a aplicação integral da resolução 307 do Conama, será difícil a obtenção de agregados reciclados que atendam a essa exigência, uma vez que essa resolução não prevê a segregação entre as diferentes frações dos resíduos minerais da classe A, misturando os resíduos de concreto e de alvenaria.

Angulo e John (2002) compararam as características físicas e a composição por fases dos agregados graúdos de RCD reciclados produzidos na usina de reciclagem de Santo André (SP) com as recomendações japonesa e holandesa para uso desses agregados em concretos. Nenhuma das 36 amostras analisadas de agregados atendeu aos requisitos dessas normas para uso em concretos com resistência superior a 25 MPa. Isso ocorreu, principalmente, em função da presença de materiais não-minerais e de argamassas e cerâmicas, fases minerais classe A que prejudicam a classificação de acordo com as normas existentes. Porém, aproximadamente 50% das amostras analisadas desses agregados poderiam ser utilizadas em concretos sem função estrutural e com resistência mecânica inferior a 25 MPa.

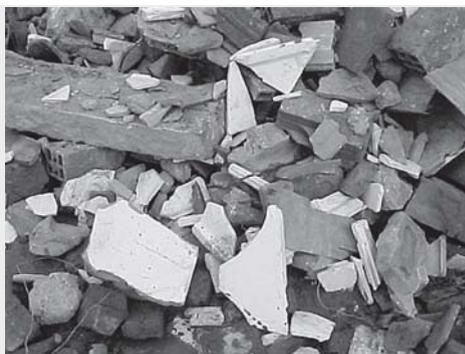
Na prática, nas usinas de reciclagem a triagem é feita por inspeção visual das cargas que chegam, sendo as cargas aparentemente muito contaminadas desviadas. No entanto, caçambas com aparência superficial de natureza mineral podem apre-

sentar quantidades elevadas de fração não mineral, conforme exemplificado na Figura 4a. Podem ainda existir nas usinas nacionais frações indesejáveis para a reciclagem, como gesso de construção (Figura 4b). A separação, na usina, das diferentes fases é tarefa difícil e cara.

O amianto também é misturado com a fração mineral do RCD em algumas usinas de reciclagem nacionais (Figura 5), embora sua segregação seja exigida na fonte de geração, segundo as Resoluções Conama nº 307 e 456.



(a)



(b)

Figura 4 – Contaminação excessiva por madeira, em uma caçamba de RCD, com aparência mineral, na superfície na usina de reciclagem de São Paulo (Itaquera) (a) e presença de gesso de construção na fração mineral do RCD na usina de reciclagem de Campinas (b)



Figura 5 – Telhas de amianto misturadas na fração mineral do RCD, em usina de reciclagem nacional

### 3.2 Variabilidade intrínseca dos agregados de RCD reciclados

As normas de agregados reciclados propõem a classificação dos agregados gerados nos seguintes tipos: agregados de concreto, alvenaria e misto (HENDRIKS, 2000; DIN, 2002; MULLER, 2004; ABNT, 2004), com o objetivo de reduzir a variabilidade das propriedades, entre os diferentes lotes, facilitando o emprego dos agregados de concreto na produção de novos concretos.

No entanto, embora exista uma melhora na homogeneidade dos agregados, ela não é suficiente, uma vez que existem concretos com propriedades muito distintas que, processados, vão gerar agregados reciclados bastante diferentes. Alaejos e Sánchez (2004) estudaram diferentes lotes de resíduos de concreto que chegavam a uma usina de reciclagem da Espanha, bem como os agregados com eles produzidos. A resistência à compressão de corpos-de-prova extraídos dos lotes de resíduos de concreto variou de 10,2 MPa a 53,3 MPa. Os agregados resultantes tiveram absorção de água – uma estimativa da porosidade – variando entre 4,9% e 9,7%, e massa específica aparente entre 2,09 kg/dm<sup>3</sup> e 2,40 kg/dm<sup>3</sup>, o que teve grande impacto no desempenho mecânico dos concretos com eles produzidos. Além disso, os teores de outras fases presentes nesses agregados reciclados resultantes variaram de 0,4% a 17% da massa. Ou seja, agregados reciclados classificados como concreto apresentam propriedades muito variáveis.

Na Alemanha, Muller (2003) investigou a composição e as propriedades físicas dos agregados reciclados, classificados como alvenaria, provenientes de dez usinas de reciclagem. Os teores de concreto desses agregados variaram de 0% a 60% e os teores de argamassa e de cerâmica porosa de 0% a 50%, resultando numa variação nos valores de massa específica aparente de 1,49 kg/dm<sup>3</sup> a 2,22 kg/dm<sup>3</sup>.

Se, para países europeus, em que obras costumam ser compostas predominantemente de concretos, a normalização existente é deficiente, a situação fica mais complexa no Brasil, em que, tipicamente, a obra costuma ser uma combinação de concreto e alvenaria, e a demolição seletiva é feita somente em obras históricas, visando à remoção de peças de valor, como esquadrias, componentes de madeira e,

eventualmente, tijolos maciços. Como consequência, os agregados produzidos são e serão, na maioria dos casos, mistos (ANGULO, 2000) e terão suas propriedades bastante variáveis ao longo do tempo, dificultando o desenvolvimento de mercado.

Algumas usinas nacionais, como a de Itaquera, São Paulo (SP), Vinhedo (SP) e Macaé (RJ), classificam os agregados reciclados em dois diferentes tipos: cinza (visualmente com predominância de componentes de construção de natureza cimentícia); e vermelho (visualmente com predominância de componentes de construção de natureza cerâmica, especialmente do tipo vermelha). A Tabela 1, elaborada a partir de três amostras representativas de cerca de 20 dias de produção, mostra que as propriedades dos agregados graúdos dos dois tipos não são muito diferentes, exceto pela coloração, e que os agregados gerados têm propriedades muito variáveis. A absorção de água desses agregados variou de 0% a 30% e a massa específica aparente de 1,50 kg/dm<sup>3</sup> a 2,67 kg/dm<sup>3</sup>, observando-se um teor máximo de 72% de cerâmica vermelha.

Propriedades dos agregados	Fração mineral do RCD		
	Itaquera vermelho	Itaquera cinza	Vinhedo vermelho
Teor de materiais não-minerais (média, %)	0,75	0,05	0,14
Teor de cerâmica vermelha (faixa de variação, %)	0-38	0-29	0-72
Absorção de água (faixa de variação, %)	0,3-27,3	0,7-32,7	1,0-23,7
Massa específica aparente (faixa de variação, kg/dm <sup>3</sup> )	1,50-2,62	1,50-2,60	1,62-2,67

Tabela 1 – Variabilidade na composição e propriedades físicas dos agregados reciclados obtidos do RCD mineral cinza e vermelho

Como a resistência mecânica de um material diminui exponencialmente com o aumento da porosidade (MEHTA; MONTEIRO, 1994; CALLISTER, 2000), é de se esperar que diferentes lotes desses agregados resultem em concretos com grande variação de propriedades mecânicas, o que reduz a atratividade desses agregados e implica aumento da resistência de dosagem e consumo de cimento do concreto. A variação da porosidade também vai afetar o comportamento, no estado fresco, do concreto confeccionado com esses agregados (ANGULO, 2005).

Outra conclusão deste estudo é que as propriedades e a composição dos agregados foram bastante influenciadas pela origem do RCD. O teor de cerâmica vermelha foi mais influenciado pela origem do agregado (Itaquera ou Vinhedo) do que pela classificação. Nesses agregados, os teores médios de materiais não-minerais foram baixos.

### 3.3 Insuficiência dos métodos de controle de qualidade

As normas para uso de agregados graúdos de RCD reciclados em concretos impõem limites máximos de presença de outras fases minerais que não o concreto, tais como argamassa, cerâmica vermelha, etc., e controlam valores mínimos da massa específica aparente média ou máximos de absorção de água (RILEM RECOMMENDATION, 1994; HENDRIKS, 2000; DIN, 2002; ABNT, 2004). Esses valores não permitem estabelecer uma relação clara entre as propriedades dos agregados de RCD reciclados e as propriedades mecânicas dos concretos produzidos.

180

A determinação do teor das diferentes fases minerais presentes nos agregados, prevista nas normas, é realizada por catação manual, baseada em inspeção visual. Esse método é trabalhoso, demorado, caro (ANGULO, 2000), subjetivo (HENDRIKS, 2000; SANT'AGOSTINO; KAHN, 1997) e sujeito a erro por desatenção ou fadiga. Sua principal virtude é a simplicidade.

Por outro lado, a porosidade, que é uma propriedade que está intimamente relacionada com as propriedades físicas dos agregados, é um critério mais interes-

sante, por influenciar a resistência mecânica e a durabilidade dos concretos (CALLISTER, 2000; MEHTA; MONTEIRO, 1994; LIMBACHYIA et al., 2000; WIRQUIN et al., 2000). A quase totalidade das normas especifica valores médios mínimos para a massa específica aparente do grão e/ou máximos para a absorção de água, propriedades relacionadas à porosidade. No entanto, quando se trabalha com valores médios, não se controla a dispersão do parâmetro, que pode ser importante no desempenho do produto. A única recomendação a adotar um controle de teor máximo de porosidade elevada é a RILEM, que controla os teores de massa abaixo de uma densidade de  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , medida pela separação por líquidos densos.

### 3.4 Necessidade de controle no processamento do RCD mineral

A reciclagem da fração mineral do RCD é um processo de tratamento de minérios constituído pela seqüência de operações unitárias, com o objetivo de, a partir de uma matéria-prima de composição variável, produzir um concentrado com qualidade física e química adequada à sua utilização pela indústria de transformação (metalúrgica, química, cerâmica, vidreira, concreto, pavimentação, etc.) (JONES, 1987; SANT'AGOSTINO; KAHN, 1997; LUZ et al., 1998; CHAVES, 1996).

As variações na forma de processamento influenciam não somente a remoção de frações indesejáveis no processo – como fração não-mineral, gesso, vidro e outros – mas também em aspectos críticos, como teor de finos (menor que 0,15 mm) e até a proporção entre as frações graúda e miúda.

A Tabela 2 mostra as operações unitárias bem como os equipamentos encontrados nas usinas de reciclagem nacionais e internacionais. Com exceção da usina de Socorro, todas as usinas nacionais são via seca e compostas de alimentação, catação, cominuição e, em alguns casos, separação granulométrica, separação magnética de metais ferrosos e abatedores de poeira. Essa configuração é também encontrada em usinas européias, que, no entanto, contam com operações de concentração e de separação da fração não-mineral mais eficientes (JUNGMANN et al., 1997; HANISCH, 1998; KOHLER; KURKOWSKI, 2000).

Usinas de reciclagem	Equipamentos de cominuição	Equipamentos de separação por tamanhos	Operações de concentração	Operações auxiliares
<i>Santo André</i> <sup>1</sup> São Paulo/Brasil	Britador de impacto (10 t/h)	Peneira # 12,7 mm	Catação (AC)	1 TC
<i>São Paulo (Itaquera)</i> São Paulo/Brasil	Britador de impacto (100 t/h)	Peneiras # 40, 20 e 4,8 mm	Catação (AC/PC) Sep. magnética	2,5 TC
<i>Vinhedo</i> São Paulo/Brasil	Britador de mandíbulas (8 t/h)	Peneiras # 12,7, 9,5 e 4,8 mm	Catação (AC)	1 TC 1 AP
<i>Ribeirão Preto</i> <sup>2</sup> São Paulo/Brasil	Britador de impacto (30 t/h)	Nd	Catação (AC) Sep. magnética	1 TC 1 AP
<i>Socorro</i> <sup>4</sup> São Paulo/Brasil	Britador de mandíbulas (2,5 t/h) Moinho de impacto	Peneiras # 20, 4,8 e 1,2 mm	Catação (AC) Sep. magnética	Classificador à úmido
<i>Piracicaba</i> São Paulo/Brasil	Britador de mandíbulas	Peneiras # 12,7, 9,5 e 4,8 mm	Catação (AC) Sep. magnética	2 TC
<i>Campinas</i> São Paulo/Brasil	Britador de impacto (80 t/h)	Peneiras # 50, 25,4, 12,7 e 4,8 mm	Catação (AC) Sep. magnética	2,5 TC
<i>Londrina</i> Paraná/Brasil	Britador de impacto Moinho de martelos	Peneiras # 4,8 mm	Catação (AC)	1 TC
<i>Belo Horizonte (Pampulha)</i> Minas Gerais/Brasil	Britador de impacto (30 t/h)	Peneiras	Catação (AC) <sup>5</sup>	1 TC 1 AP
<i>Belo Horizonte (Estoril)</i> <sup>3</sup> Minas Gerais/Brasil	Britador de impacto (25 t/h)	Nd	Catação (AC)	1 TC
<i>Macaé</i> Rio de Janeiro/Brasil	Britador de impacto (6-8 t/h)	Nd	Catação (AC) Sep. magnética	1 TC
<i>Alemanha</i> <sup>6</sup>	Britador de mandíbulas (1º estágio) Britador de impacto (2º estágio)	Escalpe # 12 e 120 mm Peneiras # 45, 32, 16, 8 mm	Catação (AC) Sep. magnética (2) "Scrubber"	TC (vários)
"Sistema Hazemag" Holanda <sup>7</sup>	Britador de impacto	Peneiras # 80, 40, 10 mm	Catação (AC) Sep. Pneumática	TC (8)
<i>Salzburg</i> Áustria	Britador de impacto	Peneiras # 32, 16 e 4 mm	Catação (PC) Jigue	Rec. de água Desaguador Trat. das lamas

Nd significa não-detectado. AC significa "antes da cominuição" e PC significa "após a cominuição". TC significa "transportadores de correia" e AP significa "abatedores de poeira". <sup>1</sup> Usina piloto. Atualmente desativada.

<sup>2</sup> Conforme Zordan (1997). <sup>3</sup> Conforme Pinto (1999). <sup>4</sup> Fonte: L. Miranda. <sup>5</sup> Realizada em pilhas horizontais.

<sup>6</sup> Conforme Muller (2003). <sup>7</sup> Conforme Hendriks (2000).

Tabela 2 – Operações unitárias e equipamentos encontrados em algumas usinas fixas nacionais e internacionais de reciclagem da fração mineral do RCD

A Figura 6 apresenta a seqüência de operações unitárias, típica de unidades de processamento da fração mineral de RCD, no Brasil. Essa seqüência de processamento é bastante simples e muito diferente de uma alemã, apresentada por Muller (2003) (Figura 7).

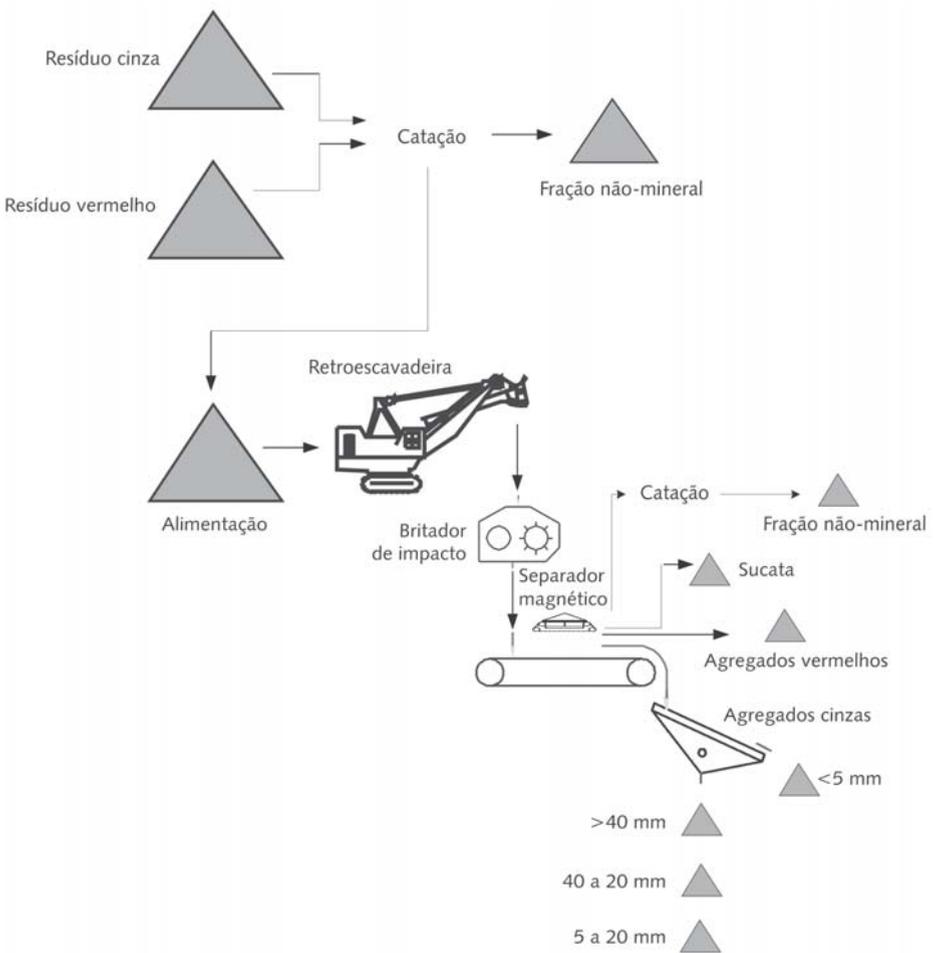


Figura 6 – Fluxograma da usina de reciclagem da fração mineral do RCD de Itaquera – São Paulo (SP)

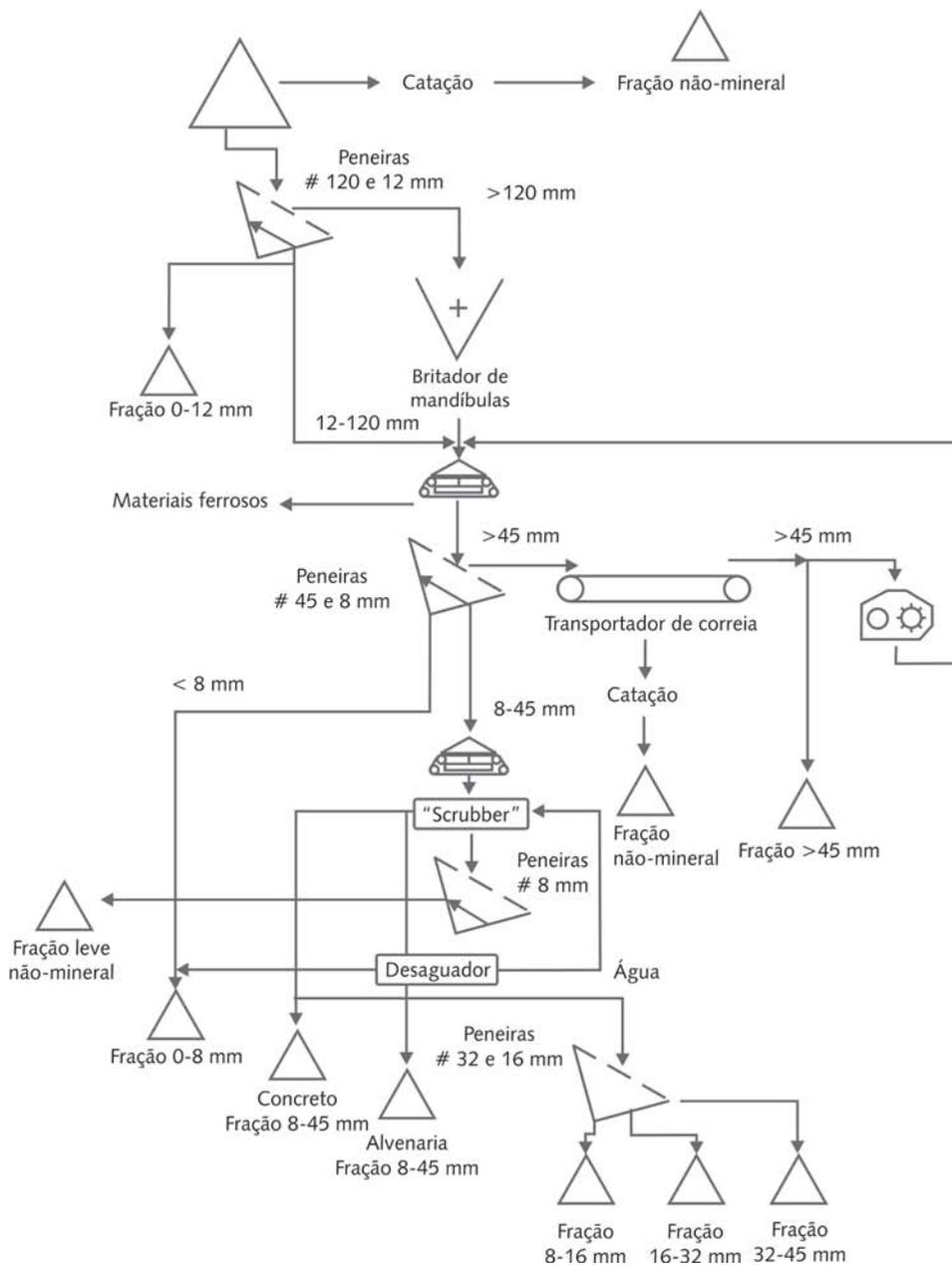


Figura 7 – Fluxograma de uma usina de reciclagem da fração mineral do RCD, na Alemanha (MULLER, 2003, adaptado)

No Brasil, um estudo de Angulo (2000), realizado na usina piloto de Santo André, a qual removia a fração não-mineral por catação manual antes e após a cominuição, verificou que o teor de contaminantes nos agregados produzidos variou de 0% a 3,5%. Internacionalmente, aceita-se que o teor de contaminantes deve ser inferior a 1,5% para agregados destinados à produção de concretos estruturais, com resistência mecânica superior a 25 MPa (RILEM RECOMMENDATION, 1994; MULLER, 2004). Assim, esses procedimentos de remoção por catação manual dos contaminantes, comumente adotados no Brasil, podem inviabilizar o emprego de uma parcela dos agregados de RCD reciclados em concretos, pois padecem dos mesmos problemas descritos quando se discutiu a catação como controle de qualidade dos lotes.

No exterior, para executar essa tarefa, são utilizados classificadores mecânicos, que geram uma corrente de ar e separam, com mais eficiência, partículas leves de papel, plásticos, madeiras, etc., dos agregados de RCD reciclados (HANISCH, 1998; KOHLER; KURKOWSKI, 2002), além de outros métodos, como a concentração gravítica.

A concentração gravítica, por meio de jiges, também pode ser eficiente para separar uma fração leve (mineral ou não-mineral) presente nos agregados de RCD reciclados. Esse método traz também benefícios indiretos, como a redução do teor de finos nos agregados e a redução da emissão de particulados, um problema ambiental e de saúde dos trabalhadores, comum em usinas que operam por via seca. No jigue (Figura 8), as partículas são separadas pela massa específica aparente do grão, através de um leito pulsante. Assim, as partículas são estratificadas em camadas com densidade crescente, da parte superior em direção à parte inferior do leito.

Foi observado em algumas usinas brasileiras que uma parcela significativa da fração fina ( $< 75 \mu\text{m}$ ) pode estar misturada com a fração mineral do RCD (Figura 9). Isso pode prejudicar a qualidade dos agregados de RCD reciclados, tanto pela presença de argilominerais como por sua quantidade, por demandar aumento de consumo de água em concretos. Em um estudo realizado em uma usina nacional, os teores de finos em agregados miúdos atingiram até 30% da massa total (MIRANDA et al., 2002).

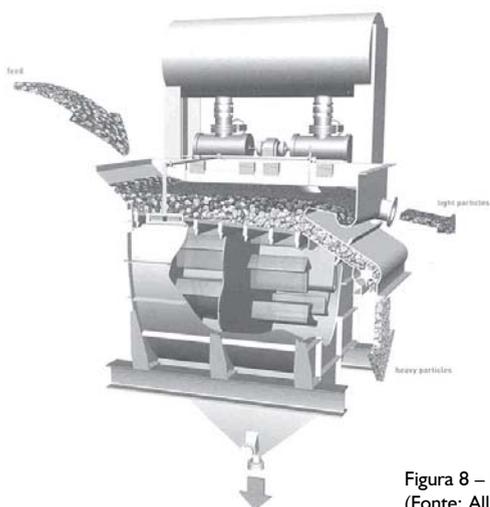


Figura 8 – Desenho esquemático sobre o funcionamento do jige  
(Fonte: Allmineral Aufbereitungstechnik GmbH&Co/Alemanha)



Figura 9 – Mistura de solo com a fração mineral do RCD na usina de reciclagem de Campinas

Uma análise do balanço de massa dos agregados de RCD reciclados foi realizada nas usinas de reciclagem de Vinhedo e de Itaquera (ANGULO et al., 2003). Nessas usinas, as frações granulométricas maiores que 25,4 mm, que são inadequadas para o uso em concreto convencional, representaram de 20% a 45% da massa. Embora a fração miúda (menor que 4,8 mm) dos agregados de RCD reciclados não seja normalmente utilizada em concretos, ela representa em torno de 40% da massa total, e o seu uso é fundamental para a viabilidade técnica das usinas de

reciclagem. Esse arranjo de produção, portanto, limita a utilização da maior parte dos agregados gerados como base de pavimentação.

## 4 Controle da qualidade dos agregados de RCD reciclados para concreto

Ante a pouca eficiência da classificação do RCD mineral, a variabilidade intrínseca dos agregados de RCD reciclados e das fases presentes, a baixa correlação dos resultados de controle de qualidade tradicionais desses agregados com o desempenho dos concretos e a possibilidade industrial de separar os produtos, de acordo com a porosidade (ou massa específica aparente do grão), propõe-se um método de controle de qualidade baseado na caracterização direta de amostras representativas provenientes de lotes de agregados de RCD produzidos.

### 4.1 Considerações sobre a amostragem

A eficiência de qualquer metodologia de controle de qualidade por amostragem depende da representatividade da amostra (SANT'AGOSTINO; KAHN, 1997).

John e Angulo (2003) apresentam uma forma de estimar a massa representativa média necessária de um resíduo, a partir de suas características, por meio da aplicação da Teoria de Pierre Gy, que é comumente utilizada na Engenharia Mineral (PITARD, 1993; JONES, 1987).

Existem diversas formas de elaborar um plano de amostragem, composto da coleta de alíquotas, de forma aleatória ou sistemática (LUZ et al., 1998). Pode-se obter o produto médio representativo, através da construção de uma pilha alongada, composta das alíquotas coletadas, sendo construída em camadas com a direção de distribuição alternada, conforme procedimento apresentado na Figura 10. No final da coleta, as extremidades devem ser retomadas e redistribuídas, seguindo o mesmo procedimento. Essa técnica de pilha pode, também, ser empregada para a produção de lotes industriais homogêneos de agregados. Detalhes de um procedimento que se revelou adequado aos agregados de RCD podem ser encontrados em Angulo (2005).

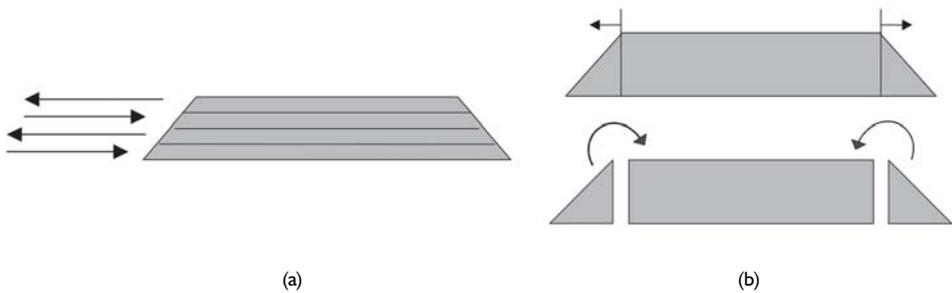


Figura 10 – Formação da pilha alongada (a) e corte e retomada dos extremos da pilha (b)

## 4.2 Separação densitária dos agregados de RCD reciclados

Dada a relativa homogeneidade de composição química das diferentes fases presentes na fração mineral de RCD – composta essencialmente de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , conforme detalhadamente demonstrado por Angulo (2005) –, as variações na massa específica aparente dos agregados de RCD reciclados são devidas às variações na porosidade, propriedade que controla a resistência mecânica dos materiais porosos. Assim, uma classificação por densidade é, indiretamente, uma classificação por resistência mecânica dos grãos desses agregados.

A separação por líquidos densos é um método de separação densitária, em escala de laboratório, que separa os agregados de RCD reciclados, em função da massa específica aparente dos grãos que os constituem. Através da imersão em líquido de densidade definida é possível separar as partículas mais leves, que flutuam, das mais pesadas, que afundam (JONES, 1987; BURT, 1984; SANT'AGOSTINO; KAHN, 1997; CAMPOS; LUZ, 1998).

Nessa operação de laboratório, normalmente, utilizam-se soluções orgânicas, tais como tetracloreto de carbono-benzeno, bromofórmio-álcool etílico, tetrabrometano-benzeno, e soluções inorgânicas, tais como cloreto de zinco-água e sais de tungstênio-água (LST). As densidades, a depender do líquido empregado, podem atingir até  $4,3 \text{ g/cm}^3$  (SANT'AGOSTINO; KAHN, 1997; CAMPOS; LUZ, 1998).

A absorção do líquido pelas partículas porosas é uma variável interveniente a ser considerada. Nos estudos realizados, essa variável introduziu um erro sistemático (ver Figura 14), que pode ser corrigido (ANGULO, 2005).

A Figura 11 apresenta o desenho esquemático da separação por líquidos densos. As partículas, quando imersas em béquer, na solução com densidade conhecida, são agitadas levemente com bastão, definindo o flutuado e o afundado. Após essa definição visual, o flutuado é retirado com um cesto e filtrado em papel-filtro com auxílio de bomba de vácuo, para recuperação do líquido denso. Para o afundado, o líquido denso é separado em outro béquer, sendo a fração de líquido remanescente filtrada, seguindo o mesmo procedimento. Após a remoção do excesso de líquido denso, o flutuado e o afundado são lavados com solventes (água para a solução de cloreto de zinco e água, e álcool etílico para solução de bromofórmio e álcool etílico), para evitar a contaminação das amostras pelos líquidos densos e secos em estufa a 100 °C.

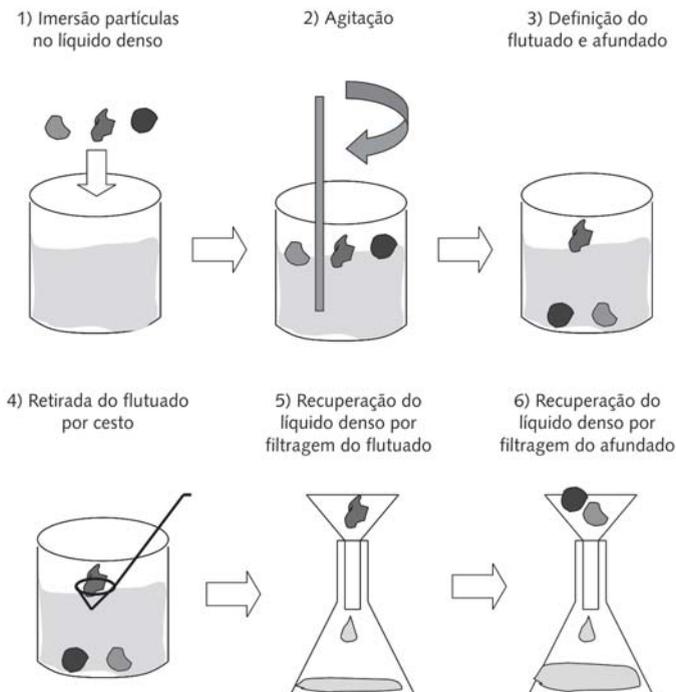


Figura 11 – Desenho esquemático que ilustra separação por líquidos densos

A Figura 12 exemplifica a prática usual em laboratório.

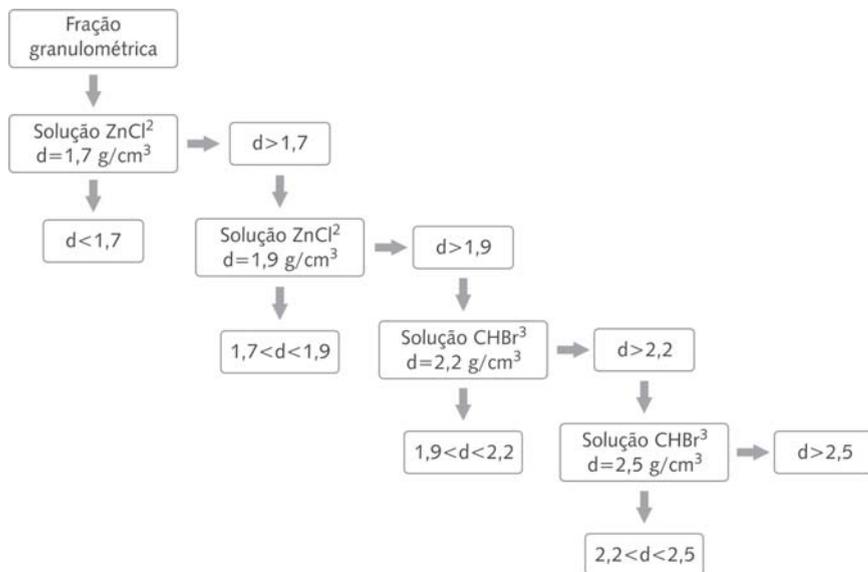


Figura 12 – Separação sequencial em densidades crescentes por líquidos densos

Angulo (2005) caracterizou amostras representativas de três diferentes tipos de agregados graúdos de RCD reciclados das usinas de Itaquera e de Vinhedo (SP), por separação sequencial por líquidos densos. A Figura 13 mostra a distribuição em massa ponderada da fração graúda, expressa em porcentagem, desses agregados, nos intervalos densidade. Eles são compostos de partículas de diferentes porosidades; ou seja, partículas com diferentes valores de massa específica aparente e de absorção de água, conforme os dados apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4.

A Figura 14 mostra a distribuição dos valores (mínimos, médias, máximos) de massa específica aparente desses agregados. Esses valores não coincidem com os valores de densidade estabelecidos pelos intervalos, especialmente para os intervalos menos densos ( $1,7 < d < 2,5$ ), que são compostos de partículas mais porosas. A absorção dos líquidos densos aumentou a densidade aparente das partículas porosas, fazendo com que a massa específica aparente real seja menor do que a prevista pelo líquido denso. O erro introduzido é nulo para a fração pouco porosa (massa específica aparente de  $2,61 \text{ g/cm}^3$ ) e cresce na razão direta da porosidade.

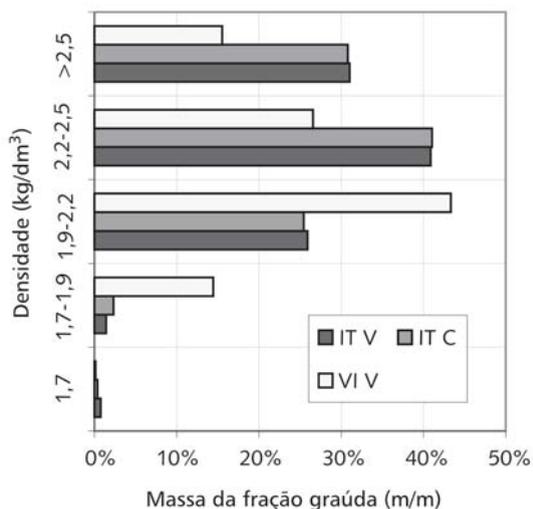


Figura 13 – Distribuição em massa ponderada dos três diferentes tipos de agregados graúdos de RCD reciclados, nos intervalos de densidade. IT C – Itaquera cinza, IT V – Itaquera vermelho, e VI V – Vinhedo vermelho

Fração (mm)	Intervalos da separação por líquidos densos (g/cm³)											
	1,7<d<1,9			1,9<d<2,2			2,2<d<2,5			D>2,5		
	IT C	IT V	VI V	IT C	IT V	VI V	IT C	IT V	VI V	IT C	IT V	VI V
-25,4+19,1	1,77	1,50	1,70	2,03	1,99	1,93	2,34	2,14	2,27	2,60	2,62	2,61
-19,1+12,7	1,73	1,61	1,72	1,99	2,02	1,90	2,18	2,12	2,24	2,59	2,55	2,62
-12,7+9,5	1,66	1,59	1,71	1,93	1,98	1,83	2,15	2,12	2,15	2,63	2,59	2,67
-9,5+4,8	1,50	1,52	1,62	1,95	1,88	1,96	2,11	2,15	2,09	2,60	2,60	2,58
<b>MP</b>	<b>1,68</b>	<b>1,56</b>	<b>1,70</b>	<b>1,98</b>	<b>1,96</b>	<b>1,91</b>	<b>2,20</b>	<b>2,13</b>	<b>2,21</b>	<b>2,60</b>	<b>2,59</b>	<b>2,62</b>
<b>DP</b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>
<b>CV</b>	<b>7,1</b>	<b>3,4</b>	<b>2,7</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>3,1</b>	<b>4,5</b>	<b>3,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,5</b>

MP, DP e CV significam média ponderada, desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente.

Tabela 3 – Valores de massa específica aparente (kg/dm³) das frações dos agregados graúdos de RCD reciclados

Fração (mm)	Intervalos da separação por líquidos densos (g/cm <sup>3</sup> )											
	1,7<d<1,9			1,9<d<2,2			2,2<d<2,5			D>2,5		
	IT C	IT V	VI V	IT C	IT V	VI V	IT C	IT V	VI V	IT C	IT V	VI V
-25,4+19,1	17,9	25,9	20,7	7,1	11,6	7,9	3,8	7,1	4,3	0,7	0,9	1,3
-19,1+12,7	18,5	23,9	20,7	6,4	11,8	9,2	3,9	7,4	6,9	1,8	0,6	1,4
-12,7+9,5	21,9	25,1	22,0	6,5	14,7	10,3	5,5	8,2	6,4	1,1	0,3	1,0
-9,5+4,8	32,7	27,3	23,7	10,5	9,4	10,5	7,0	7,6	7,4	1,3	1,3	1,1
<b>MP</b>	<b>22,1</b>	<b>25,7</b>	<b>21,3</b>	<b>7,5</b>	<b>11,6</b>	<b>9,2</b>	<b>4,8</b>	<b>7,6</b>	<b>6,2</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>
<b>DP</b>	<b>6,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>
<b>CV</b>	<b>31,0</b>	<b>5,6</b>	<b>6,7</b>	<b>25,7</b>	<b>18,7</b>	<b>13,0</b>	<b>31,4</b>	<b>6,1</b>	<b>21,9</b>	<b>35,4</b>	<b>52,2</b>	<b>14,3</b>

MP, DP e CV significam média ponderada, desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente.

Tabela 4 – Valores de absorção de água (% kg/kg) das frações dos agregados graúdos de RCD reciclados

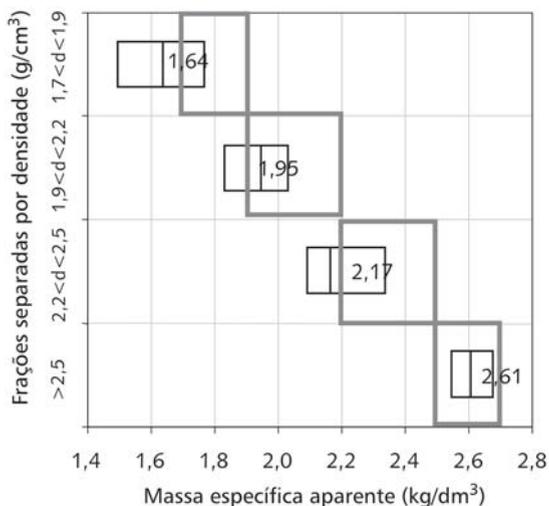


Figura 14 – Distribuição dos valores (mínimos, médias, máximos) de massa específica aparente dos agregados graúdos de RCD reciclados separados por densidade. Em verde: densidade no intervalo

Os resultados revelam que a porosidade dos agregados tem duas origens principais: teor de aglomerantes; e cerâmica vermelha (Figura 15). O teor de aglomerantes – compostos predominantemente de pasta de cimento ou de cal endurecida<sup>3</sup> – pode ser determinado pelo ataque com solução de ácido clorídrico a 33%. Tanto o teor de aglomerantes quanto o teor de cerâmica vermelha diminuem com o aumento da massa específica aparente.

Betume, madeira, gesso, fibrocimento e outros contaminantes ficaram concentrados nas densidades abaixo de 1,9 g/cm<sup>3</sup>. Portanto, além de classificar conforme a porosidade, o método permite estimar indiretamente o nível de contaminantes.

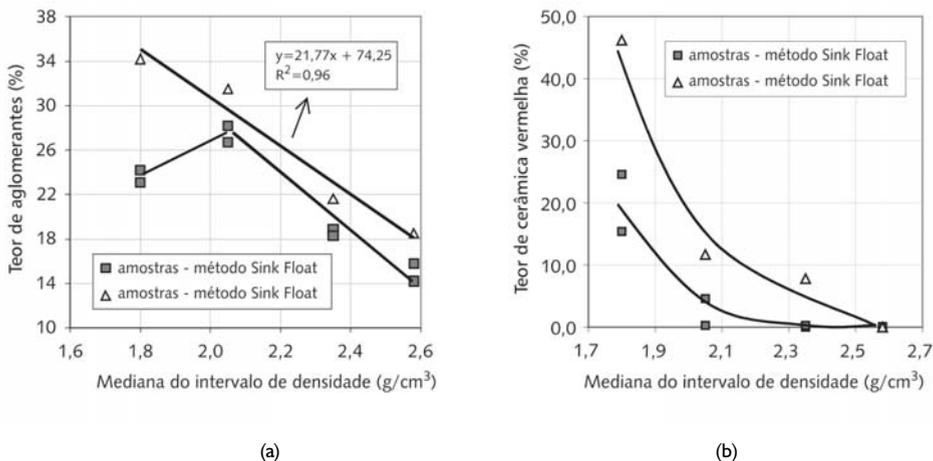


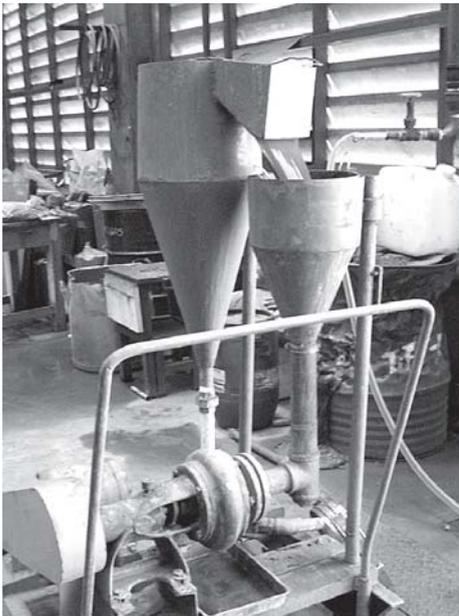
Figura 15 – Teores de aglomerantes (a), de cerâmica vermelha (b) em função da mediana do intervalo de separação por densidade pelo “Sink and Float” e pelos líquidos densos (valores médios)

### 4.3 Massa específica aparente *versus* desempenho do agregado no concreto

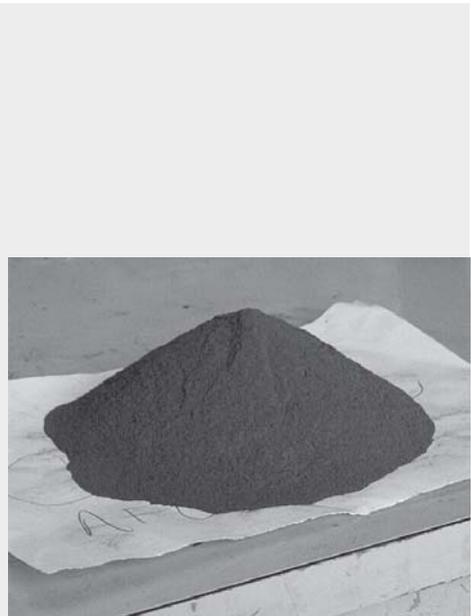
Visando verificar a adequação do método de classificação, baseado em faixas de massa específica aparente do grão, foi realizado um experimento laboratorial.

<sup>3</sup> Nas amostras analisadas a presença do gesso foi quase desprezível.

Para a obtenção de agregados reciclados classificados em diferentes faixas de massa específica aparente, em quantidades suficientes para estudos de dosagem de concretos, foi utilizado um cone de separação estática em meio denso (LUZ et al., 1998), da Denver, denominado *Sink and Float*, de escala piloto (Figura 16). A Figura 17 mostra o desenho esquemático do funcionamento desse equipamento. Assim, foram classificadas 1 tonelada de RCD processado do tipo cinza e 1 tonelada do tipo vermelho, coletadas na usina de reciclagem de Itaquera. Esse material foi peneirado entre 19,1 mm e 9,5 mm, lavado e, a seguir, separado nos seguintes intervalos de densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ):  $d < 1,9$ ;  $1,9 < d < 2,2$ ;  $2,2 < d < 2,5$ ; e  $d > 2,5$ . A polpa do meio denso foi obtida por uma mistura de ferro-silício (liga constituída por silício (15%) e ferro (85%), com massa específica aproximada de  $6,9 \text{ kg}/\text{dm}^3$ ). Essa polpa pode atingir uma densidade máxima em torno de  $3,4 \text{ g}/\text{cm}^3$ , limite que atende às restrições impostas no experimento.



(a)



(b)

Figura 16 – Equipamento “Sink and Float”, da Denver (a) e o ferro-silício em pó (b)

A operação do equipamento é simples, mas deve ser feita de forma controlada. Inicialmente, a água pura é adicionada no equipamento, até iniciar a circulação. Em seguida, o ferro-silício é adicionado, progressivamente, até a polpa adquirir a densidade desejada, com variação admissível de  $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ . A densidade de polpa é determinada pela razão da massa e do volume em uma proveta graduada de 1000 mL, coletada em intervalos regulares de 5 segundos. Ela é monitorada, periodicamente, a cada três baldes de 8 L de agregados alimentados no equipamento, e o ferro-silício que sedimenta é recirculado, a partir de uma torneira situada na parte inferior do equipamento.

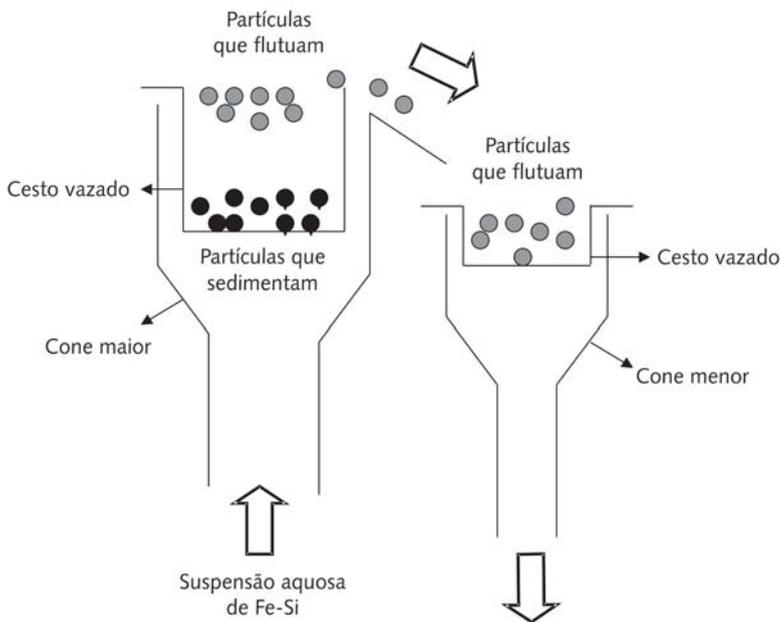


Figura 17 – Desenho esquemático sobre o funcionamento do equipamento “Sink and Float”

O método de dosagem dos concretos adotou um volume fixo para os agregados grãos de RCD reciclados. Não se deve usar diretamente o método de dosagem do IPT-EP USP (HELENE; TERZIAN, 1992), pois a fixação dos traços unitários em massa conduz a uma diferença volumétrica dos agregados grãos nos concretos, resultado da variação dos valores de massa específica aparente média (LEITE, 2001; LARRARD, 1999). A variação dos traços, prevista no diagrama de

dosagem de concretos, foi realizada por meio da adoção de três diferentes consumos de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) para os concretos: 300, 400 e 500 (CARRIJO, 2005, ANGULO, 2005). Nesse caso, admitiu-se, portanto, uma variação de 9% a 11% na relação entre a água e materiais secos, e uma variação de 0,51 a 0,61 na proporção entre areia e os agregados graúdos. A consistência do concreto foi mantida dentro de um limite de variação plástica, empregando-se um aditivo.

Os resultados experimentais demonstraram que a massa específica aparente dos agregados controlou a resistência mecânica de concretos, confeccionados com mesmo consumo de cimento – ou relação entre água e cimento (Figura 18). A soma dos teores de aglomerantes e de cerâmica vermelha também se revelou um indicador eficiente do desempenho mecânico. As mesmas conclusões foram obtidas para o módulo de elasticidade e absorção de água dos concretos.

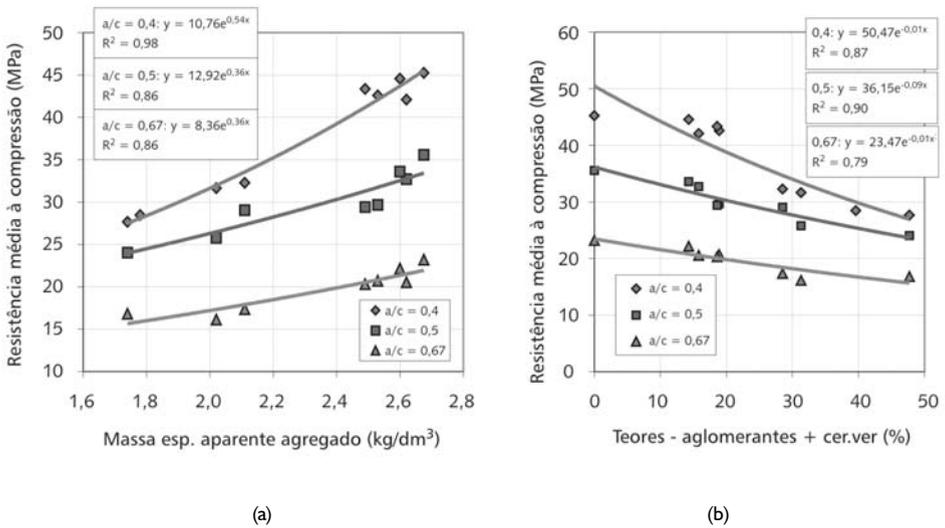


Figura 18 – Resistência média à compressão dos concretos, em função dos valores de massa específica aparente (a) e a soma dos teores de aglomerantes e da fase cerâmica vermelha (b) dos agregados graúdos de RCD reciclados contidos nos diversos intervalos de densidade, para as diferentes relações entre água e cimento ou consumos de cimento

O consumo de cimento pode variar significativamente com esses agregados, em função do valor de resistência à compressão que se pretende atingir. Conforme a Figura 19, não é economicamente viável e ambientalmente eficiente a produção de

concretos com resistência acima de 20 MPa, com agregados contidos nos intervalos  $d < 1,9$  e  $1,9 < d < 2,2$ , exceto em situações em que não se disponha de alternativas.

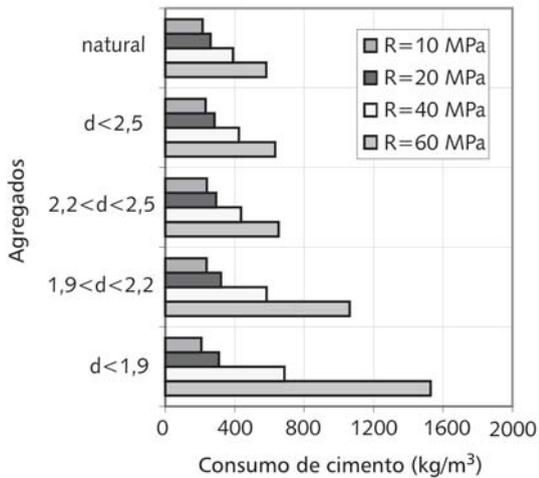


Figura 19 – Variação do consumo de cimento nos concretos produzidos com agregados graúdos de RCD reciclados, separados por densidade, para diferentes valores de resistência à compressão

Os estudos realizados até o momento empregaram lotes de agregados situados dentro de diferentes faixas de densidade. Não se dispõe, até o momento, de resultados que demonstrem o efeito da mistura de agregados com densidades muito diferentes nas propriedades mecânicas. Pesquisa em andamento está iniciando a investigação do tema, buscando estabelecer modelos que permitam, a partir da distribuição de massa específica aparente desses agregados, estimar a resistência máxima com a qual um lote de agregado pode ser economicamente competitivo e ambientalmente sustentável.

## 5 Conclusões

Classificar o RCD mineral em resíduos de concreto, de alvenaria ou mistos não garante agregados reciclados com composição e propriedades físicas constantes, o que dificulta sua inserção nos diversos setores de agregados.

A qualidade potencial de um lote de agregado de RCD reciclado, para uso em concretos, deve ser avaliada diretamente a partir de uma amostra representativa, empregando um método de caracterização que correlacione as características desses agregados com as propriedades mecânicas do concreto.

A separação por líquidos densos é uma técnica eficiente para separar os agregados graúdos de RCD reciclados em faixas de massa específica aparente e, indiretamente, determinar o teor de alguns contaminantes de baixa massa específica presentes.

Os agregados graúdos de RCD reciclados são compostos de conteúdos distintos de massa, dentro dos intervalos de densidade, sendo, portanto, uma mistura de subgrupos de agregados separados em faixas de massa específica aparente. Os teores dos aglomerantes e da cerâmica vermelha nesses agregados reduzem com o aumento da massa específica aparente.

Quando o agregado reciclado é separado em faixas de diferentes densidades, a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e a absorção de água dos concretos são influenciados pela massa específica aparente do grão (ou porosidade) do agregado. Assim, a massa específica aparente é um parâmetro de controle de qualidade que pode ser facilmente empregado em usinas de reciclagem, para caracterizar os lotes de agregados de RCD reciclados, direcionando-os para os mercados em que serão mais competitivos.

O conceito de separação dos agregados em diferentes faixas de densidade pode, também, ser implementado nas usinas de reciclagem, pois existem equipamentos de concentração gravítica, tais como o jig, capazes de segregar os produtos de acordo com a densidade. Nesse cenário, os agregados com massa específica aparente do grão maior que  $2,2 \text{ kg/dm}^3$  poderiam ser destinados ao mercado de concretos estruturais convencionais, onde serão competitivos econômica e ambientalmente, e os produtos menos densos, para outros mercados menos exigentes, como pavimentação. Na usina de Itaquera, os agregados mais densos representaram mais de 50% da massa total. A viabilidade econômica dessa abordagem deverá ser decidida em função de características e escala do mercado local e da qualidade dos resíduos disponíveis.

Como a massa específica aparente desses agregados está correlacionada com a soma dos teores de aglomerantes e de cerâmica vermelha – materiais responsáveis pela porosidade no agregado de RCD reciclado –, as propriedades dos concretos também podem ser controladas por meio dessa soma, podendo substituir a separação por densidade no controle de qualidade através do laboratório. Essa correlação, no entanto, deve ser estabelecida em cada usina de reciclagem, considerando as diferenças da indústria de materiais e das práticas construtivas entre regiões brasileiras.

Finalmente, o uso de agregados reciclados afeta outros parâmetros relevantes no desempenho dos concretos, tais como retração e fluência. A influência da massa específica aparente dos agregados nesses parâmetros deve ser também investigada.

## 6 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR**

**15116**: agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ALAEJOS, P. G.; SÁNCHEZ, M. J. Utilization of recycled concrete aggregate for structural concrete. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. **Proceedings...** Bagnaux, France: Elsevier, 2004. v. 2, p. 693-702.

ANCIA, P. et al. The use of mineral processing techniques for the improvement of the building rubble characteristics. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, 1999, San Sebastián. **Proceedings...** Warrendale: TMS; INASMET, 1999. p. 583-598.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos**. 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2002. p. 1613-1624.

ANGULO, S. C. et al. Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON; IPEN. 2002. p. 293-307.

200

ANGULO, S. C. et al. Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON; IPEN. 2003. CD-ROM.

BURT, R. O. **Gravity concentration technology**. Amsterdam: Elsevier, 1984. v. 5, 605 p.

BREUER, H. et al. Gravity separation of rubble: a contribution to the closed cycle of raw material usage. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 20., 1997, Aachen. **Proceedings...** Aachen, Germany: GMDB, 1997. p. 445-456.

BRITO, J. A. Cidade versus entulho. **Areia & Brita**, v. 2, n. 6, p. 22-26, out./dez. 1998.

CALLISTER, W. **Materials science and engineering**: an introduction. New York: Wiley, 2000. 871 p.

CAMPOS, A. R.; LUZ, A. B. Separação em meio denso. In: LUZ, A. B. et al. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM; CNPq; MCT, 1998. p. 299-337.

CARNEIRO, A. P. et al. Construction waste characterization for production of recycled aggregate: Salvador/Brazil. In: WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTION, 4., 2000, Leeds. **Proceedings...** Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 825-835.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, 1996. 2 v. 424 p.

COLLINS, R. Recycled concrete. **Quarry management**, v. 24, n. 12, p. 31-36, Dec. 1997.

DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). **DIN 4226-100**: aggregates for mortar and concrete – part 100: recycled aggregates. Germany, 2002.

EUROPEAN COMMISSION (EC). **Management of construction and demolition waste**. Brussels, Belgium: 2000. Disponível em: <<http://europa.eu.int/comm/enterprise/environment>>. Acesso em: 15 set. 2002. (DG ENV E.3).

HANISCH, J. Current developments in the sorting of building waste. **Aufbereitungs Technik**, v. 39, n. 10, 1998.

HELENE; P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349 p.

HENDRIKS, C. F. **The building cycle**. Delft: Aeneas, 2000. 231 p.

HENDRIKS, C. F.; JANSSEN, G. M. T. Application of construction and demolition waste. **Heron**, v. 46, n. 2 , p. 79-88, 2001.

202

HOBBS, G.; HURLEY, J. Deconstruction and reuse of construction materials. In: CHINI, A. R. **Deconstruction and material reuse**: technology, economy and policy. Florida: CIB, 2001. p. 98-124. (Publication 266).

HUANG, W. L et al. Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. **Resources, Conservation and recycling**, n. 37, p. 23-37, 2002.

JONES, M. P. **Applied mineralogy**: a quantitative approach. London: Graham & Trotman, 1987. 259 p.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C. Metodologia para o desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: JOHN, V. M.; ROCHA, J. C. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. v. 4, p. 8-71.

JOHN, V. M. et al. Strategies for innovation in construction and demolition waste management in Brazil. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 2004, Toronto. **Proceedings...** Toronto: National Research Council of Canada, 2004. CD-ROM.

JUNGMANN, A et al. Building rubble treatment using alljig in Europe and USA. **Aufbereitungs Technik**, v. 38, n. 10, p. 543-549, 1997.

KOHLER, G.; KURKOWSKI, H. Optimizing the use of RCA. 2000. Disponível em: <[http://www.b-im.de/public/deutag\\_remex/kohlerkurkowski.htm](http://www.b-im.de/public/deutag_remex/kohlerkurkowski.htm)>. Acesso em: 5 jul. 2002.

KOWALCZYK, T et al. State of art deconstruction in Netherlands. In: KIBERT, C. J.; CHINI, A. R. **Deconstruction and material reuse**: technology, economy and policy. Florida: CIB, 2000. p. 95-129. (CIB Publication 252).

KULAIIF, Y. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais**: estudo de caso da indústria e pedras britadas do estado de SP. 2001. 144 f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LARRARD, F. de. **Concrete mixture proportioning: a scientific approach.**

London: E&FN Spon, 1999. 420 p.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 2002. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LIMBACHIYA, M. et al. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. **Materials and Structures**, v. 33, n. 233, p. 574-580, 2000.

LUZ, A. B. et al. **Tratamento de minérios.** 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM; CNPq; MCT, 1998. 676 p.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MIRANDA, L.F.R. et al. Análise da variabilidade de agregados miúdos reciclados pela usina de Socorro (SP). In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON/IPEN. 2002.

MULLER, A. Recycling von Mauerwerkbruch – stand und neue verwertungswege (teil 1). **Ziegelindustrie International**, v. 56, n. 6, p. 17-25, 2003.

MULLER, A. Lightweight aggregates from masonry rubble. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. **Proceedings...** Bagneux, France: Elsevier, 2004. p. 97-106.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PITARD, F. F. **Pierre Gy's sampling theory and sampling practice: heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control**. 2. ed. Ann Arbor : CRC, 1993. 488 p.

REID, J. M. Alternative materials in construction: UK experience. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE ENVIRONMENTAL AND TECHNICAL IMPLICATIONS WITH ALTERNATIVE MATERIALS, 5., 2003, San Sebastian. **Proceedings...** Espanha: ISCOWA; INASMET, 2003. p. 743-752.

RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures**, v. 27, p. 557-59, 1994.

SANT'AGOSTINHO, L. M; KAHN, H. **Metodologia para caracterização tecnológica de matérias-primas minerais**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP BT/PMI/069, 1997. 29 p.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. 2003. 130 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SYMONDS. Construction and demolition waste management practices and their economic impact, 1999. Disponível em: <<http://europe.eu.int/comm/environment>>. Acesso em: 14 set. 14, 2002.

TANNO, L. C.; MOTTA, J. F. M. Panorama setorial: minerais industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 3, p. 37-40, maio/jun. 2000.

WHITAKER, W. **Técnicas de preparação de areia para uso na construção civil**. São Paulo. 2001. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

WIRQUIN, E. et al. Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité: application aux bétons de granulats recycles. **Materials and structures**, n. 33, p. 403-08, 2000.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 1997.

## 7 Equipe

Prof. Dr. Antonio Domingues de Figueiredo – PCC/USP

Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves – PMI/USP

Carina Ulsen (bolsista de IC) – PMI/USP

Engracia Bartuciotti – PCC/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn – PMI/USP

Hilton Mariano (estagiário) – PCC/USP

Ivie F. Pietra (M. Eng.) – PCC/USP

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Alba Cincotto – PCC/USP

Paula Ciminelli Ramalho (bolsista de IC) – PCC/USP

Priscila Meireles Carrijo (M. Eng.) – PCC/USP

Raquel Massami Silva (bolsista de IC) – PCC/USP

Sérgio C. Ângulo (Dr. Eng.) – PCC/USP

Prof. Dr. Vanderley M. John – PCC/USP

## 8 Agradecimentos

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep/Habitare, Fundo Verde e Amarelo), ao SIDUSCON-SP, ao CNPq, à Fapesp, à Prefeitura de São Paulo (Sr. Dan Schneider e funcionários), à empresa Nortec (Sr. Artur Granato e funcionários), à Prefeitura de Vinhedo (Sr. Geraldo, Sr. Henrique e demais funcionários), a todos os membros da equipe e à Fusp pelo apoio na gestão dos recursos.

# COLETÂNEA HABITARE

**Fernanda Lustosa Leite** é arquiteta e urbanista pela Universidade Federal do Ceará – UFC (2002), Mestre em Engenharia Civil pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2005). Pesquisadora da Escola de Engenharia Civil da Carnegie Mellon University, USA e em doutoramento pela Escola de Arquitetura da Carnegie Mellon University, USA. Atua nas áreas de Gestão do Processo de Projeto e Desempenho da Edificação.  
E-mail: fl@cmu.edu

**Fábio Kellermann Schramm** é arquiteto e urbanista pela Universidade Federal de Pelotas – UFPel (1994), Especialista em Gestão Empresarial pela Fundação Universidade de Rio Grande – FURG (2001), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2004). Em doutoramento pelo Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da UFRGS. Professor Assistente da UFPel desde 1998, atuando na área de Gestão da Produção.  
E-mail: fabioks@ufpel.edu.br

**Carlos Torres Formoso** é engenheiro civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (1980), doutor pela University of Salford, Inglaterra (1991), Pós-doutorado pela Universidade da Califórnia (2000), USA. Professor Adjunto da UFRGS desde 1989, atuando nas áreas de Gerenciamento da Construção Civil e Engenharia de Produção. Membro do IGLC – International Group for Lean Construction. Editor da Revista Ambiente Construído. Pesquisador-bolsista Nível 1B do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.  
E-mail: formoso@ufrgs.br

# 7.

## Gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social: foco na gestão de requisitos do cliente e no projeto do sistema de produção

Fernanda Lustosa Leite, Fábio Kellermann Schramm e Carlos Torres Formoso

### 1 Introdução

O projeto Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (GEHIS) foi desenvolvido de 2001 a 2004 pelo grupo de pesquisa em Gerenciamento e Economia da Construção (GEC) do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em conjunto com grupos de outras quatro universidades brasileiras, na Bahia (Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS), no Ceará (Universidade Federal do Ceará – UFC) e no Paraná (Universidade Estadual de Londrina – UEL e Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE). Cada núcleo desenvolveu estudos em diversas áreas, como pode ser observado no Quadro 1.

O objetivo geral do Projeto GEHIS foi desenvolver um modelo de gestão integrada de projeto e produção para empreendimentos habitacionais de interesse social, enfatizando a redução de perdas dos vários recursos envolvidos na construção desses empreendimentos, tais como tempo, materiais, mão-de-obra, equipamentos e capital.

	Gestão da Produção	Gestão da Qualidade	Gestão de Custos	Gestão de Requisitos
UFRGS	✓	✓	✓	✓
UEFS	✓	✓	✓	
UFC	✓			✓
UEL	✓			
UNIOESTE	✓			

Quadro 1 – Áreas de pesquisa abrangidas por núcleo

Nessa publicação são apresentados os três principais resultados obtidos nos diversos estudos empíricos realizados ao longo do projeto<sup>1</sup>. O primeiro é o Modelo Integrado de Gestão de Projeto e Produção em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (EHIS), o Modelo GEHIS, principal contribuição do projeto. O segundo é o Modelo Descritivo do Processo de Desenvolvimento de Empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial (PAR)<sup>2</sup>, e o terceiro é o Modelo de Elaboração do Projeto do Sistema de Produção (PSP) em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social, que enfatiza a necessidade de integração entre projeto e produção, concebido a partir de um conjunto de princípios de gestão.

<sup>1</sup> Os dados aqui apresentados são resultado de pesquisas e discussões dos vários pesquisadores da rede nacional de pesquisa do Projeto GEHIS, cujas principais publicações estão listadas ao final deste capítulo.

<sup>2</sup> O PAR é promovido pelo setor público e sua implementação está a cargo da Caixa Econômica Federal (CAIXA), sendo o empreendimento realizado por iniciativa de empresas privadas. Segundo a CAIXA (2003), o PAR introduz uma nova relação com a moradia na medida em que o arrendatário ocupa o imóvel em condomínio, mas não detém a propriedade. É destinado a famílias com renda mensal total de dois a seis salários mínimos, envolvendo a construção ou reforma de edificações em áreas metropolitanas, capitais e centros urbanos, com uma população de, no mínimo, 100.000 habitantes (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2003).

## 2 O processo de desenvolvimento do produto na indústria da construção

Das diversas definições para processo de desenvolvimento do produto (PDP) encontradas na literatura (COOPER; PRESS, 1994; KOTLER, 1998; YAZDANI; HOLMES, 1999; KOSKELA, 2000; ULRICH; EPPINGER, 2000; WINCH, 2001), uma das que mais se aproxima da indústria da construção é a de Ulrich e Eppinger (2000). Para esses autores, o desenvolvimento do produto é definido como um processo pelo qual o produto é concebido, projetado e lançado no mercado, incluindo também a retroalimentação das etapas de produção e uso. Inclui também o projeto do produto e o projeto de atividades da produção. Apesar de a maioria das atividades desenvolvidas serem de projeto, há também outros processos envolvidos. Ainda segundo Ulrich e Eppinger (2000), esse processo se inicia com a percepção de uma oportunidade de mercado e tipicamente envolve a identificação dos requisitos do cliente, a tradução desses requisitos em especificações de projeto, o desenvolvimento de um conceito, o projeto do produto, a validação do produto, o lançamento no mercado e a coleta e disseminação de informações para retroalimentação. Nesse contexto, o desenvolvimento do produto normalmente envolve uma ampla variedade de pessoas, disciplinas e organizações (ULRICH; EPPINGER, 2000).

A realização de um empreendimento de construção pode ser entendida como um processo de desenvolvimento do produto (PDP), já que engloba as atividades necessárias para conceber e projetar o produto (por exemplo, uma edificação), para projetar o sistema de produção, para lançar o produto no mercado e para produzir um protótipo (a própria obra). O principal benefício de se analisar o desenvolvimento de um empreendimento como um PDP é o fato de que isso possibilita uma visão mais integrada do processo.

## 3 Gerenciamento de requisitos do cliente

Com o aumento da complexidade do processo de desenvolvimento de empreendimentos da construção, o processo que gera o programa de necessidades não

pode ser simplesmente atribuído a um profissional, como, por exemplo, um arquiteto. Kiviniemi e Fischer (2004) afirmam que fatores como a quantidade e a complexidade das informações sobre empreendimentos, a necessidade de os projetistas trabalharem simultaneamente em vários projetos e o fato de que diferentes agentes participam em cada uma das etapas do PDP impossibilitam que os participantes do PDP saibam e lembrem de todos os requisitos relevantes, assim como das relações entre eles e as soluções de projeto (KIVINIEMI; FISCHER, 2004).

Nesse sentido, Kamara et al. (2002) argumentam que é necessário processar as necessidades e expectativas do cliente em um formato que aumente a sua compreensão por parte da equipe de desenvolvimento do produto. Isso se deve à grande quantidade de interesses conflitantes dos diferentes clientes envolvidos no processo (KAMARA et al., 2002) e também à natureza dos requisitos do cliente. Griffin e Hauser (1991) afirmam que algumas necessidades ou expectativas não são facilmente explicitadas pelos clientes.

Miron (2002) define gerenciamento de requisitos como a identificação, análise, priorização, disponibilização, controle, avaliação e armazenamento das informações sobre as necessidades e preferências dos principais clientes. Esse esforço de gerenciamento do valor não se limita somente à captura de requisitos e avaliação da satisfação, mas também à transformação das necessidades e expectativas dos clientes em requisitos e objetivos para o produto. É importante frisar que a captura pode ocorrer durante todo o PDP (MIRON, 2002). Nesse sentido, o processo de gerenciamento de requisitos do cliente, segundo Miron (2002), permeia as diversas etapas do empreendimento.

## 4 Projeto do sistema de produção

O Projeto do Sistema de Produção (PSP) consiste no processo de análise e discussão de alternativas de organização do sistema de produção do empreendimento e de seleção da alternativa mais adequada à consecução de um melhor desempenho desse sistema durante a etapa de execução (SCHRAMM, 20004).

Os procedimentos de análise e discussão são realizados com base em diversas alternativas de combinações, considerando os seguintes aspectos ou tópicos de decisão: a) nível de integração vertical (opção da empresa por adquirir sistemas ou tecnologias construtivas de fornecedores externos ou fabricá-los utilizando recursos próprios); b) níveis de capacidade produtiva, em termos de equipes de produção e equipamentos, necessários, que estarão disponíveis ao longo da execução do empreendimento; c) arranjo físico e fluxos dos diferentes processos que compõem o sistema de produção do empreendimento; d) necessidade de sincronização entre processos; e e) projeto de processos de produção, com ênfase nos processos considerados críticos.

O PSP busca contribuir para o aumento do desempenho do processo de planejamento e controle da produção e de melhoria do sistema de produção (SLACK et al., 1997).

A partir da elaboração do PSP, pode-se antecipar as decisões relacionadas ao sistema de produção do empreendimento tentando garantir que elas possam ser efetivamente operacionalizadas antes do início da sua execução, buscando reduzir, dessa forma, os níveis de incerteza e variabilidade, cujo efeito é amplificado em função das características peculiares desses empreendimentos, como velocidade, repetitividade e pequena margem de lucro.

## 5 Método de pesquisa

A estratégia de pesquisa adotada ao longo do projeto foi o desenvolvimento de estudos de caso de curta duração (tipicamente de 3 a 4 meses), com intervenção nos processos analisados (YIN, 2001). Para a consecução dos objetivos do Projeto GEHIS, existia a necessidade de se realizarem intervenções em empreendimentos reais, devido à necessidade de abstração e adaptação de conceitos que estavam sendo transferidos do contexto da indústria de manufatura para a construção.

Em função da complexidade inerente aos processos de intervenção em ambientes organizacionais, todos os estudos empíricos foram desenvolvidos por meio

de ciclos de aprendizagem, envolvendo planejamento, execução e coleta de dados, avaliação dos resultados e replanejamento. Nesses ciclos, alguns dos estudos de caso desenvolvidos tiveram um caráter exploratório, em função da pouca consolidação teórica dessa área do conhecimento.

No estudo que gerou o modelo do processo de desenvolvimento do produto para o PAR, foram analisados os processos de desenvolvimento do produto de sete empreendimentos do PAR, realizados por duas empresas construtoras do interior do Rio Grande do Sul. Foram também entrevistados diversos profissionais envolvidos nesse processo, incluindo empresários, projetistas e técnicos da Caixa Econômica Federal. O estudo de unidades múltiplas de análise, como nos caso desses sete empreendimentos, é chamado por Yin (2001) de estudo de caso incorporado, no qual, dentro de um estudo de caso, se dá atenção a uma subunidade ou a várias subunidades.

Nos estudos que resultaram na proposição do Modelo de Elaboração do PSP para EHIS, foram realizados quatro estudos de caso em empreendimentos habitacionais de interesse social financiados com recursos dos programas Morar Melhor, Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH) e Programa de Arrendamento Residencial (PAR), executados no Rio Grande do Sul. A Figura 1, abaixo, apresenta dois dos empreendimentos estudados.



Figura 1 – Fotos de dois empreendimentos estudados

## 6 Principais resultados

### 6.1 Modelo integrado de gestão de projeto e produção em empreendimentos habitacionais de interesse social (Modelo GEHIS)

O Modelo GEHIS é composto de módulos que representam diferentes processos gerenciais, os quais se referem às diferentes etapas do PDP, conforme ilustra a Figura 2: a) concepção; b) projeto; c) produção; e d) uso e ocupação.

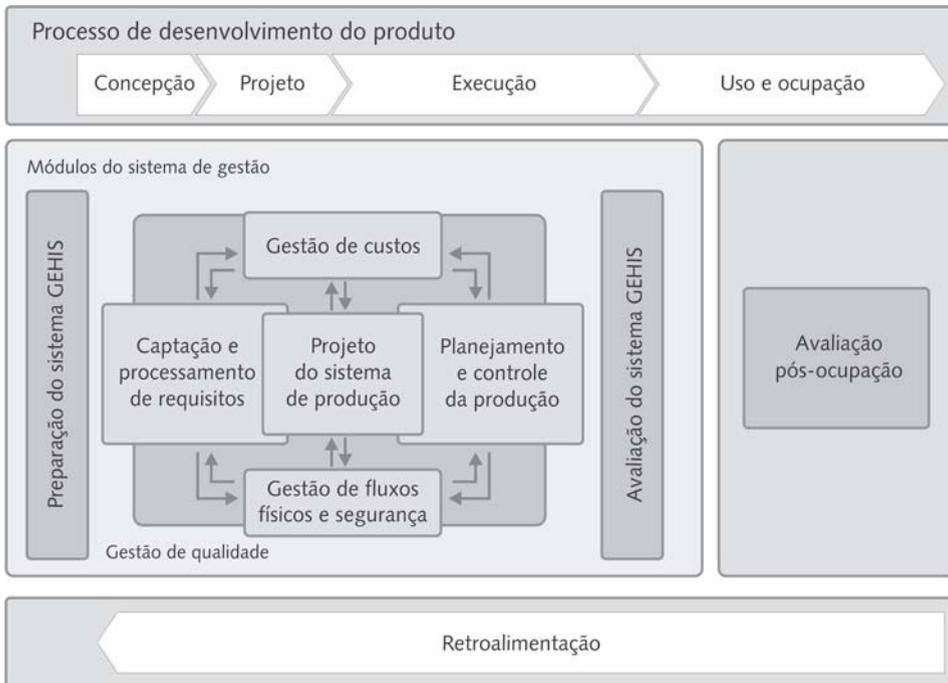


Figura 2 – Modelo GEHIS

O Modelo GEHIS é composto dos seguintes módulos: Gestão de Requisitos, Projeto do Sistema de Produção, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Custos, Gestão de Fluxos Físicos e Segurança e Gestão da Qualidade. Esse último, por sua vez, permeia todos os demais módulos. Observa-se na Figura 1 que os módulos interagem e que o processo de implantação é iniciado pela etapa de preparação do sistema de gestão e finalizado pela avaliação geral dele, sendo posteriormente utilizado para retroalimentar futuros empreendimentos. Vale destacar que a

avaliação pós-ocupação não fez parte do escopo deste trabalho, pois vem sendo tema de outro projeto de pesquisa, o Projeto Requali<sup>3</sup>.

O presente trabalho tem como foco os módulos de gestão de requisitos do cliente e projeto do sistema de produção, ambos parte do Modelo do GEHIS. É também apresentado um modelo descritivo do PDP de empreendimentos PAR, de forma a situar os demais processos nas diferentes etapas do empreendimento. Foi escolhido esse tipo de empreendimento por ter sido o mais estudado no Projeto GEHIS.

## 6.2 Modelo descritivo do processo de desenvolvimento de empreendimentos do programa de arrendamento residencial

Para o desenho do modelo (Figura 3), primeiramente, foram identificadas as três grandes etapas do PDP de empreendimentos do PAR: concepção e projeto, produção e uso e ocupação. Para cada etapa foram identificados os principais agentes envolvidos e as atividades desenvolvidas. Os marcos determinam o fim de uma etapa. A opção por unir as etapas de concepção e projeto em uma se deu pelo fato de não haver um marco que as separasse claramente.

Os principais agentes envolvidos nesse processo são Caixa Econômica Federal (CAIXA), Poder Público, tipicamente prefeituras municipais ou companhias habitacionais, empresas construtoras, que desenvolvem e executam os empreendimentos, e projetistas contratados pela empresa construtora.

O modelo explicita três conjuntos de atividades críticas, que consistem em atividades que têm grande impacto no andamento do processo de desenvolvimento

<sup>3</sup> O projeto Gerenciamento de Requisitos e Melhoria da Qualidade na Habitação de Interesse Social (Requali) está em desenvolvimento desde 2003, com término previsto para 2006 pelo grupo de estudos em Gerenciamento e Economia da Construção (GEC) do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em parceria com outras instituições de pesquisa no Rio Grande do Sul (Universidade Federal de Pelotas – UFPel), Bahia (Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS), Ceará (Universidade Federal do Ceará – UFC e Universidade Estadual do Ceará – UECE) e Paraná (Universidade Estadual de Londrina – UEL). O objetivo geral do projeto Requali consiste em estabelecer critérios e diretrizes para o gerenciamento de requisitos dos clientes em empreendimentos habitacionais de interesse social, buscando a melhoria da qualidade deles. Os estudos estão focados em experiências dos programas habitacionais atualmente existentes no Brasil.

do produto, podendo atrasar ou até parar o processo. O primeiro consiste na busca pelo terreno e análise dele pela CAIXA; o segundo consiste no desenvolvimento do projeto do produto específico dentro da empresa e sua análise e aprovação pela CAIXA e pela Prefeitura Municipal; e o terceiro é a etapa de produção, realizada pela empresa construtora e fiscalizada pela CAIXA. Uma descrição mais detalhada desse modelo encontra-se em Leite et al. (2004) e em Leite (2005).

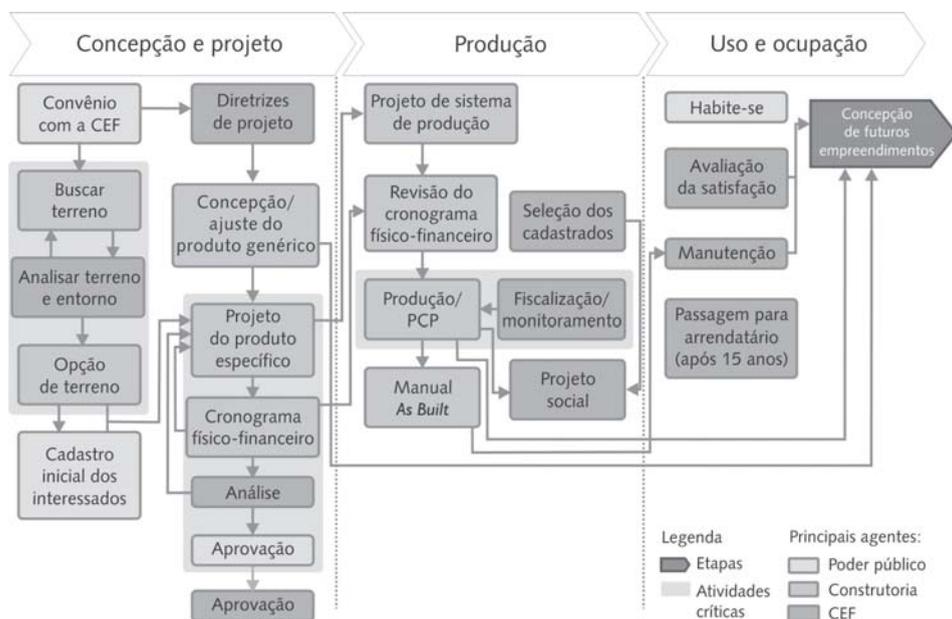


Figura 3 – Modelo descritivo do processo de desenvolvimento de empreendimentos do PAR

Por acompanhar o desenvolvimento dos empreendimentos estudados, foi possível constatar que o cliente que mais influencia no estabelecimento de requisitos de projeto e produção é a CAIXA. Esses requisitos, nos empreendimentos do PAR realizados até o presente momento, não se originam de forma sistemática a partir do cliente final, mas de diretrizes do programa desenvolvidas pelo Ministério das Cidades e pelas especificações estabelecidas pelos técnicos da CAIXA. Nos empreendimentos do PAR contratados a partir da publicação da Portaria nº 231, de 4 de junho de 2004, essas definições foram ainda mais influenciadas por decisões do Ministério das Cidades.

Identificar os requisitos do cliente final é essencial para minimizar esses conflitos e aumentar o valor do produto para os clientes finais, já que eles poderão vir a ser os futuros proprietários. Segundo Whelton e Ballard (2002), para gerar maior valor para os clientes finais e investidores, é necessário que os responsáveis pela concepção de empreendimentos da construção aprendam sobre as características desses empreendimentos de forma crítica e coletiva. Dessa forma, para que seja possível gerar mais valor no desenvolvimento de empreendimentos do PAR, os arrendatários potenciais ou já efetivados deveriam contribuir nas definições de concepção do empreendimento. Um primeiro passo para o gerenciamento dos requisitos dos clientes finais é a captação desses requisitos ao longo do PDP. No desenho do modelo, foram identificadas quatro principais oportunidades de captação de requisitos do cliente final:

a) no cadastro inicial dos interessados – atualmente, as Prefeituras Municipais realizam novos cadastros a cada novo empreendimento do PAR. Existe uma perda de cerca de 80% desses cadastrados ao longo do processo de análise de documentação, sorteio e contratação, que é gerenciada pela Gerência de Alienação de Imóveis (GILIE) da CAIXA<sup>4</sup>. Realizando cadastros únicos por Município, sem especificar um determinado programa habitacional, as Prefeituras Municipais poderiam reduzir o retrabalho atualmente causado pelos cadastros por empreendimento. No entanto, muitas prefeituras não possuem as competências necessárias para gerar um cadastro único, de forma eficiente, que poderia fornecer informações importantes para o desenvolvimento do produto. Um dos cuidados a serem tomados é a expectativa gerada na população pelo processo de cadastramento: algumas pessoas podem acreditar que, realizando o cadastro, obterão uma unidade habitacional;

<sup>4</sup> Segundo levantamento realizado em 2005 pelo núcleo UFPel do Projeto Requali, na cidade de Pelotas.

b) na seleção dos cadastrados – poderiam ser coletadas informações adicionais sobre os requisitos nos contatos estabelecidos com os cadastrados no processo de seleção. Além disso, a seleção dos cadastrados e a distribuição das unidades entre os selecionados poderia considerar, também, a adequação de um determinado agrupamento familiar para um tipo de empreendimento ou para um tipo de unidade habitacional. Por exemplo, famílias com crianças poderiam ser alocadas nas unidades habitacionais próximas ao parque infantil;

c) durante o projeto social – por meio dessa ação, busca-se preparar os futuros arrendatários para a vida em condomínio. Essa atividade pode alterar as expectativas compatíveis com o produto que irão receber, afetando, por essa razão, o grau de satisfação final. Além disso, o contato direto com os futuros moradores possibilita uma melhor compreensão de suas necessidades específicas, podendo também ser coletadas mais informações sobre os requisitos dos clientes, principalmente aqueles requisitos de caráter tácito. Tais requisitos poderiam ser considerados na distribuição das unidades entre os cadastrados, na gestão da operação e também na retroalimentação para empreendimentos futuros; e

d) na etapa de uso e ocupação – é importante realizar avaliações de satisfação de forma sistemática, para que essas informações possam ser retroalimentadas na concepção de novos empreendimentos do PAR.

Cabe considerar que o gerenciamento das atividades da etapa de concepção de empreendimentos da construção necessita de uma estruturação capaz de convergir os diferentes interesses existentes, sejam esses determinados pela legislação, por programas governamentais de incentivo à construção e ao desenvolvimento tecnológico ou pelas metas financeiras das empresas envolvidas. Para tanto, faz-se necessário captar os requisitos dos vários agentes envolvidos no processo para, então, priorizar esses requisitos. Esse gerenciamento torna-se ainda mais complexo quando são considerados os requisitos específicos dos clientes finais na etapa de concepção e projeto do PDP.

A análise do PDP dos empreendimentos do PAR indicou que a lógica predominante dessa forma de provisão é a produção em massa, caracterizada por um grande número de unidades habitacionais muito semelhantes dentro de um mesmo empreendimento e também entre diferentes empreendimentos, com o objetivo principal de reduzir custos de produção. Dentro dessa lógica, não é considerada a diversidade da população que viverá naqueles espaços. Uma primeira crítica que se poderia fazer a esse modelo é o fato de que, dadas as peculiaridades do produto habitação, tais unidades localizam-se em diferentes pavimentos e diferentes posições e, portanto, não são exatamente idênticas<sup>5</sup>.

A lógica de customização em massa apresenta-se como uma alternativa à lógica atualmente predominante no PAR. Segundo Pine II (1994), na customização em massa, cada produto é produzido unicamente, de acordo com os requisitos individuais do consumidor, mas com uma eficiência próxima à da produção em massa. O mesmo autor ainda apresenta exemplos de customização em massa em diversas indústrias, entre elas a indústria automobilística, que vem integrando esse conceito em sua produção há três décadas.

Nesse sentido, as empresas construtoras poderiam efetivamente usar uma combinação de componentes, utilizando o conceito de produto genérico<sup>6</sup> de forma mais ampliada, não se limitando a soluções espaciais padronizadas, que são muito restritivas.

### 6.3 Modelo para elaboração do projeto do sistema de produção

O escopo de decisões que compõem o Projeto do Sistema de Produção em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social, conforme proposto por Schramm (2004), é definido com base em uma série de seis etapas agrupadas de

<sup>5</sup> Essas diferenças de valor são amplamente evidenciadas pelas avaliações de imóveis.

<sup>6</sup> Nos estudos que geraram o Modelo descritivo do processo de desenvolvimento de empreendimentos do PAR, observou-se que o primeiro empreendimento realizado por umas das empresas estudadas levou maior tempo na etapa de concepção e projeto, em função do sucessivo refinamento do produto, no qual foram geradas diversas versões de projeto. Ao final do empreendimento, esta empresa tinha um projeto de unidade habitacional, que foi novamente utilizado nos empreendimentos seguintes. Essa unidade-base foi denominada, nesta pesquisa, de produto genérico. O refinamento e a adaptação do produto genérico a uma determinada parcela de terra foi denominado de 'produto específico'. Ambos são discutidos em mais profundidade em Leite (2005).

acordo com a unidade de análise a que se referem: a unidade-base ou o empreendimento como um todo. Embora essas etapas sejam representadas de forma seqüencial, as decisões a que se referem não são tomadas de forma isolada. Pelo contrário, por se tratarem de aspectos relativos a um sistema de produção, devem ser percebidos de forma integrada ou holística. Assim, a modificação de uma das decisões estabelecidas repercutirá, em maior ou menor grau, sobre as demais, à jusante ou à montante da etapa em questão.

Dessa forma, essas etapas são conectadas por setas em dois sentidos, uma no sentido do fluxo de decisão, caracterizado pela definição da etapa, e a outra no sentido do fluxo de revisão, necessário em função do aspecto iterativo do processo. A Figura 4 representa as etapas que compõem o modelo.

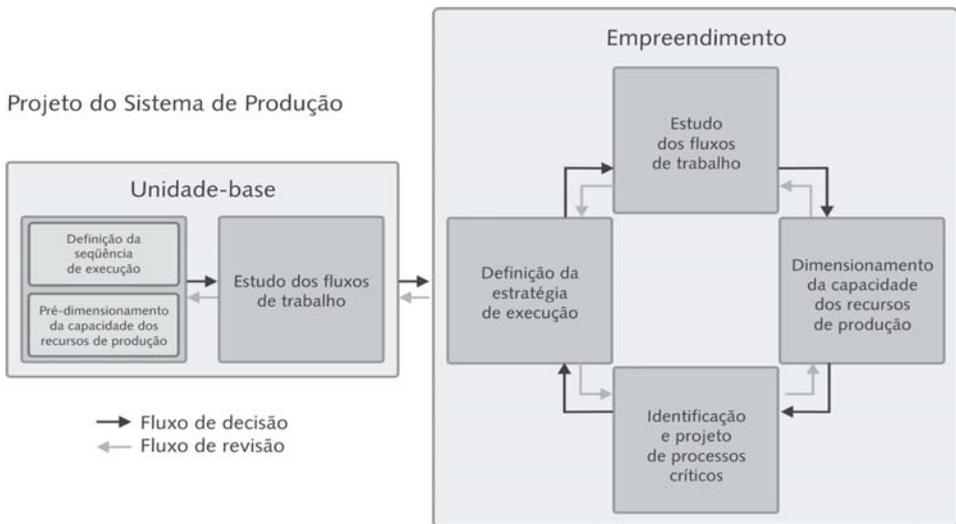


Figura 4 – Modelo para a elaboração do Projeto do Sistema de Produção (baseado em SCHRAMM, 2004)

Inicialmente, o processo de elaboração do PSP deve estar em consonância com a estratégia de produção da empresa, a qual pode ser resumida em dois conjuntos de decisões estratégicas: a) aquelas que determinam a estrutura da produção e influenciam principalmente as atividades de projeto; e b) aquelas que determinam sua infra-estrutura e, por sua vez, influenciam as atividades de planejamento e controle e de melhoria da produção (SLACK et al., 1997).

Segundo Slack et al. (1997), com relação ao primeiro conjunto de decisões que influenciam diretamente o PSP, elas apontam para as seguintes estratégias: desenvolvimento de novos produtos, integração vertical, instalações, tecnologia e organização e força de trabalho. Assim, estratégias relacionadas ao projeto determinam os recursos físicos e humanos que serão empregados na produção. Dessa forma, embora não esteja explicitada no modelo proposto, a estratégia de produção representa uma das informações de entrada para a elaboração do PSP.

Outras informações de entrada para o Projeto do Sistema de Produção provêm do Projeto do Produto Específico. Entre essas informações destacam-se: especificações relacionadas à tecnologia construtiva e materiais a serem utilizados, informações relacionadas às condições do terreno e de acessibilidade e espaços disponíveis para circulação e armazenamento.

### 6.3.1 Etapas do Modelo de Projeto do Sistema de Produção

#### 6.3.1.1 Definição da seqüência de execução e pré-dimensionamento dos recursos de produção da unidade-base

A partir da coleta de informações preliminares sobre o empreendimento, a primeira etapa a ser realizada é a de definição da seqüência de execução da unidade-base<sup>7</sup> de produção e de pré-dimensionamento dos recursos de produção utilizados na sua execução.

Durante as discussões relacionadas à definição da seqüência de execução, surgem outras definições importantes para o PSP. Conforme as diversas atividades que compõem a seqüência de execução são definidas e listadas, surgem discussões e definições quanto:

<sup>7</sup> A unidade-base de produção é uma unidade repetitiva que pode ser representada por um pavimento, um apartamento, uma casa ou um sobrado, conforme as características do empreendimento sob estudo.

- a) ao nível de integração vertical: quais materiais ou processos serão executados pela empresa ou adquiridos de fornecedores externos; e
- b) à seleção das tecnologias construtivas a serem utilizadas, com relação a materiais, sistemas construtivos e equipamentos.

As principais informações coletadas nessa etapa relacionam-se à seqüência e precedência das atividades a serem realizadas para a execução da unidade-base de produção, além das suas durações e necessidades de equipamentos e mão-de-obra. Com base nessas informações são elaborados a planilha de pré-dimensionamento de recursos de produção (mão-de-obra e equipamentos) e o diagrama de precedência para a unidade-base de produção.

### 6.3.1.2 Estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base

A partir das definições da seqüência de execução e do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção (que determina o ritmo de produção máximo que poderá ser atingido ao longo da execução), têm-se as informações básicas necessárias à elaboração do estudo dos fluxos de trabalho na unidade-base do empreendimento.

Nessa etapa, busca-se estabelecer os fluxos de trabalho na unidade-base de produção, que se referem ao conjunto de operações realizadas pelas equipes de trabalho na sua execução com relação às dimensões espaço e tempo, identificando possíveis interferências entre equipes. A operação, nesse contexto, refere-se ao trabalho realizado por equipes e máquinas, como, por exemplo, a elevação de alvenaria ou a execução de chapisco das alvenarias pelas equipes. Para o estudo do fluxo de trabalho da unidade-base de produção, pode ser utilizada a técnica da Linha de Balanço, que está exemplificada na Figura 5, a qual contém um plano para uma unidade-base de um empreendimento, um edifício multifamiliar com cinco pavimentos e quatro apartamentos por andar.

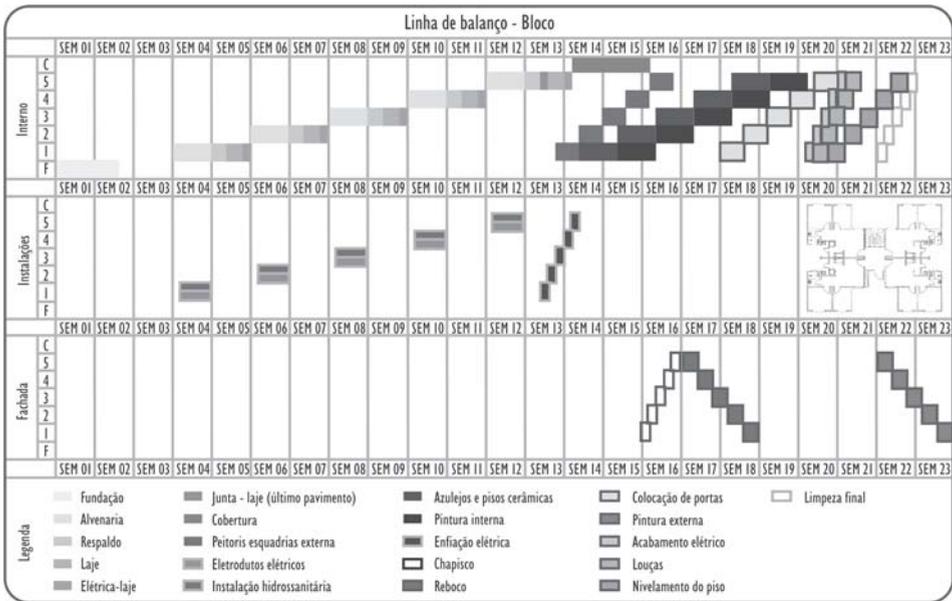


Figura 5 – Linha de balanço utilizada para o estudo do fluxo de trabalho em uma unidade-base (baseado em SCHRAMM, 2004)

### 6.3.1.3 Definição da estratégia de execução do empreendimento

A definição da estratégia de execução do empreendimento inicia-se pela divisão dele em zonas de trabalho menores, criando uma série de “pequenos empreendimentos” dentro do empreendimento maior, que podem ser executados de forma seqüencial ou em paralelo. Essas zonas agregam certo número de unidades habitacionais, para as quais serão alocadas equipes de trabalho que, em uma situação ideal, devem desenvolver suas atividades num fluxo contínuo de trabalho seguindo um ritmo preestabelecido.

Nessa etapa são geralmente simuladas e analisadas inúmeras alternativas de execução. A mais adequada é escolhida em função de diferentes aspectos, entre os quais se destacam: a) impacto no prazo final de execução do empreendimento; b) capacidade de fornecimento dos fornecedores de suprimentos; c) limites de capacidade de produção dos processos críticos (gargalos) para atender à demanda gerada pela alternativa; e d) viabilidade financeira da alternativa escolhida, em função do

volume de recursos de produção necessários para a sua consecução. Esses estudos são formalizados num plano de ataque do empreendimento, cuja definição representa uma decisão fundamental à viabilização das demais etapas do PSP.

A definição do plano de ataque é influenciada pelos estudos de fluxo de trabalho do empreendimento e pelo dimensionamento da capacidade dos recursos de produção. O plano poderá ser revisado em função do projeto dos processos críticos. As definições nessas etapas são atreladas a três requisitos básicos: prazo, custo e viabilidade técnica. Caso seja identificada a inviabilidade dessas atividades em função desses requisitos, é necessário discutir novas soluções de plano de ataque que atendam àquelas necessidades. A Figura 6, abaixo, apresenta um plano de ataque definido para um empreendimento estudado que consistia de dez blocos de edifícios, cada um com cinco pavimentos.

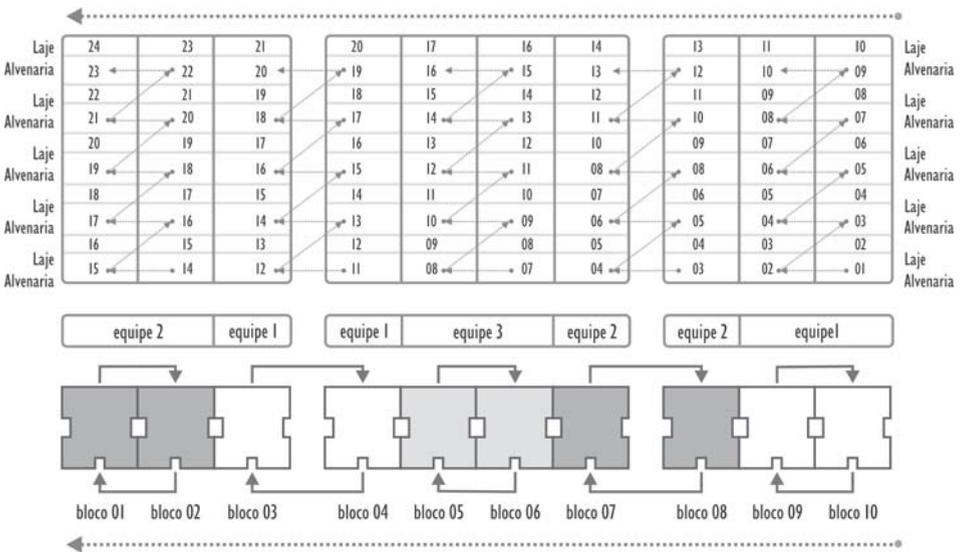


Figura 6 – Plano de ataque de um empreendimento estudado (baseado em SCHRAMM, 2004)

### 6.3.1.4 Estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento

As informações provenientes do estudo dos fluxos de trabalho na unidade-base e do plano de ataque do empreendimento permitem a elaboração do estudo

dos fluxos de trabalho no empreendimento, que também é realizado utilizando a técnica da linha de balanço. Essa técnica permite visualizar os fluxos de trabalho em todo o empreendimento, bem como comparar datas-marco de início e conclusão dos processos de acordo com o prazo previsto para a execução do empreendimento.

Procura-se considerar um plano que permita um fluxo ininterrupto das equipes de produção, a partir da sincronização entre processos, principalmente com relação àqueles processos considerados críticos para o sistema de produção.

Além da utilização da linha de balanço, na qual são representados, em conjunto, todos os processos que compõem a execução das várias unidades-base do empreendimento, podem ser necessários estudos específicos de sincronização entre alguns processos, como, por exemplo, entre os processos de elevação de alvenaria e montagem de lajes. Nesses casos, utiliza-se a ferramenta designada Diagrama de Sincronia (ver exemplo da Figura 7). Essa ferramenta tem como objetivo representar um plano detalhado de execução de alguns processos ao longo de todo o seu desenvolvimento, buscando garantir um fluxo contínuo dos recursos empregados, com base na sincronização entre esses processos.

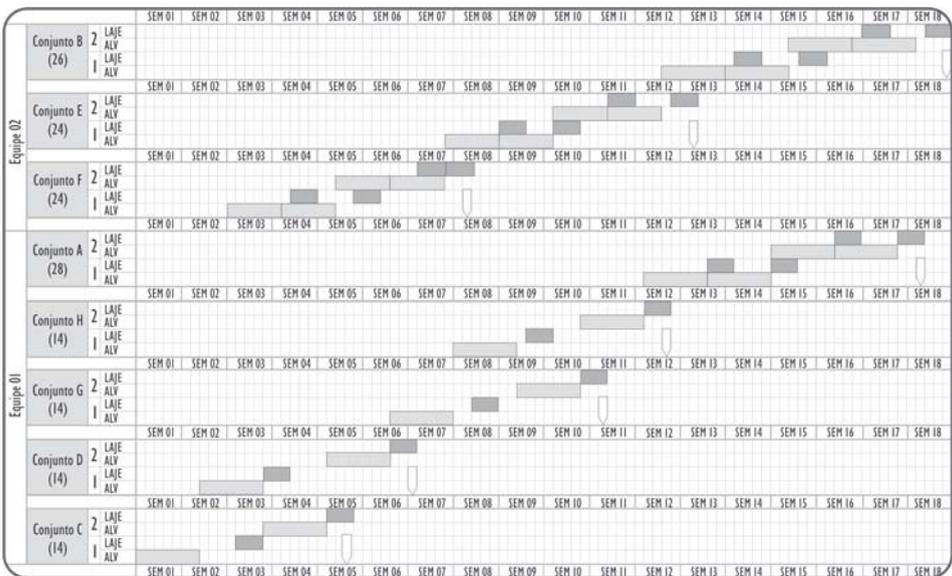


Figura 7 – Diagrama de sincronia utilizado em um dos estudos (baseado em SCHRAMM, 2004)

### 6.3.1.5 Dimensionamento da capacidade dos equipamentos e da mão-de-obra

Com base no estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento e dos dados do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos realizado na primeira etapa, é possível dimensionar a necessidade de capacidade dos recursos de produção para a consecução do empreendimento.

A partir da linha de balanço elaborada para a execução do empreendimento, gera-se um diagrama de seqüenciamento das atividades das equipes de produção, a partir do qual é possível determinar o número de equipes necessárias para a execução de cada processo. Na ocorrência de execução de uma mesma atividade simultaneamente em mais de um local, torna-se necessário alocar outra equipe de produção. Assim, a partir do número de equipes e da sua composição, estabelece-se o volume de recursos necessários. Essas informações (necessidade de mão-de-obra e de equipamentos) são representadas por meio de planilhas e histogramas de recursos. A partir dessas informações, são realizadas análises que podem resultar na reprogramação de atividades devido à necessidade de nivelamento dos recursos em função da sua disponibilidade.

### 6.3.1.6 Identificação e projeto dos processos críticos

Embora seja necessária atenção a todos os processos de produção, alguns merecem maior dedicação quanto à sua preparação e execução, buscando-se, através do seu projeto, minimizar os efeitos negativos que possam vir a acarretar ao sistema de produção. Esses processos, chamados processos críticos, são aqueles que representam os gargalos do sistema de produção, ou seja, cuja capacidade individual limita (gargalos) ou pode vir a limitar (processos com restrição de capacidade) a capacidade de produção do sistema como um todo (COX; SPENCER, 2002; UMBLE; SRIKANTH, 1995). Por exemplo, em alguns dos empreendimentos habitacionais estudados, o processo crítico foi representado pelo processo de pré-fabricação e montagem de lajes. Assim, ainda na etapa de PSP, deve-se buscar minimizar os efeitos negativos desses processos sobre o sistema de produção me-

diante um projeto adequado, que, de forma geral, compreende o estabelecimento das etapas que o constituem e sua seqüência de execução, visando à consecução do produto com a qualidade, quantidade e custo desejados (GATHER; FRAZIER, 2001).

Nessa etapa pode-se fazer uso de uma série de ferramentas, entre as quais se destacam: a) planilha de definição da seqüência de execução do processo; b) planilha de dimensionamento da capacidade do processo; c) planilha de simulação de capacidade *versus* demanda; e d) estudo do *layout* do processo.

### 6.3.2 Principais conclusões do estudo

Os estudos realizados permitiram obter algumas conclusões relacionadas à elaboração do PSP em EHIS.

#### 6.3.2.1 Oportunidade, validade e incerteza

Pode-se afirmar que o período despendido com a elaboração do PSP é pequeno diante dos potenciais benefícios da sua elaboração. Desconsiderando algumas dificuldades pontuais, num período de quatro semanas antes do início do empreendimento, aproximadamente de oito a dez horas de reuniões e de quatro a seis horas de preparação das planilhas e ferramentas utilizadas, totalizando de doze a dezesseis horas, são suficientes para a elaboração do PSP.

Deve-se ressaltar, entretanto, a necessidade de algumas condições para isso: a) dedicação da equipe; b) autonomia para a tomada de decisões; e c) conhecimento técnico dos participantes.

Outra conclusão do estudo relaciona-se à possibilidade de que a inclusão do período necessário à elaboração do PSP no prazo de execução do empreendimento, após a assinatura do contrato, poderia contribuir para uma redução do nível de incerteza do processo e, conseqüentemente, para um melhor desempenho na execução do empreendimento. Na prática, isso poderia ser conseguido se, a partir da assinatura do contrato, fosse concedido à empresa um prazo para a organização do sistema produtivo, através da elaboração e operacionalização do PSP.

### 6.3.2.2 Interfaces entre PSP e o processo de projeto do produto

Sob a ótica dos potenciais benefícios da consideração simultânea entre projeto do produto e os processos de produção individuais, a elaboração do PSP deveria ocorrer de forma sobreposta à elaboração do projeto do produto. Nesse sentido, Melhado e Fabrício (1994) referem-se à elaboração de um projeto para produção com o objetivo de atender à exigência de inclusão no projeto de informações adequadas às necessidades das atividades a serem realizadas no canteiro, já que elas não são caracterizações de produto, que existem no projeto executivo, mas informações vinculadas aos processos produtivos.

Assim, puderam ser identificadas algumas decisões de projeto que vieram a influenciar decisões relativas à execução do empreendimento. Outro aspecto que deveria ser considerado durante a elaboração do projeto do empreendimento diz respeito à possibilidade de implantação de unidades de pré-fabricação no canteiro e, para tanto, devem ser previstos espaços para a implantação dessas unidades.

### 6.3.2.3 Interfaces entre projeto do sistema de produção e o planejamento e controle da produção<sup>8</sup>

Os limites entre as atividades que compõem os escopos do PSP e do PCP, especialmente o planejamento de longo prazo, são bastante tênues. Segundo Bernardes (2001), os principais produtos desse nível de planejamento são o plano de longo prazo e a programação de recursos com longo *lead time* de aquisição. Assim, percebe-se que a elaboração do PSP fornece informações de entrada à elaboração do plano de longo prazo e, em especial, no caso dos EHIS, à elaboração do cronograma físico-financeiro que deve ser aprovado junto ao contratante (CAIXA).

Nos estudos empíricos realizados, a elaboração do PSP acarretou a renegociação dos cronogramas físico-financeiros dos empreendimentos com a CAIXA, elabora-

<sup>8</sup> Com relação às interfaces entre PSP e PCP, torna-se oportuno considerar que este trabalho restringiu-se a analisar empreendimentos habitacionais de interesse social. Dessa forma, as interfaces entre PSP e PCP aqui discutidas têm relação com esse tipo de empreendimento.

previamente (sob força do processo de aprovação), como forma de adequá-los ao conjunto de aspectos que deveriam ser considerados na elaboração do PSP (estratégia de ataque, ritmo de produção, capacidade dos fornecedores, capacidade dos recursos de produção, etc.).

Dessa forma, a empresa parte de uma demanda agregada, formada pelo número de unidades habitacionais e pelo prazo de execução máximo do empreendimento. A partir desses dados são estabelecidas as demandas mensais de execução, com base não só na visão de transformação, mas também na visão de fluxo, viabilizadas a partir da consideração sistêmica de decisões relativas aos processos individuais. Essas decisões geram informações que são consolidadas no plano de longo prazo do empreendimento.

A partir das informações do PSP e do plano de longo prazo, pode-se estabelecer contratos de longo prazo com os fornecedores dos principais materiais e serviços, em função das demandas mensais geradas a partir do estudo dos fluxos de trabalho do empreendimento. Propõe-se, dessa forma, que o PSP represente uma etapa anterior à elaboração do planejamento de longo prazo, gerando informações de entrada para este.

Já com relação ao planejamento nos horizontes de médio e curto prazos, o acompanhamento da execução dos empreendimentos demonstrou que dois aspectos são relevantes: o atendimento ao plano de ataque e a manutenção dos ritmos de produção dos processos. Assim, os estudos gerados durante a elaboração do PSP foram utilizados como parâmetro de controle para as atividades de execução. Conforme observado, os diagramas gerados naquela etapa foram efetivamente utilizados no acompanhamento da execução, ou novas ferramentas foram propostas com base nas informações oriundas daquelas.

## 7 Considerações finais

O estudo que gerou o modelo do processo de desenvolvimento do produto de empreendimentos PAR refere-se a empresas de construção que desenvolvem

produtos genéricos, que incluem a unidade habitacional e, tipicamente, a combinação dela em uma planta em forma de “H”. Em outras palavras, um produto genérico foi desenvolvido no primeiro empreendimento e utilizado como base para o projeto do produto específico dos demais. A adaptação do referido produto genérico em empreendimentos subseqüentes resultou em um aumento de eficiência e de velocidade das etapas de concepção e projeto e de produção. Sugere-se que o conceito de produto genérico, detalhado em Leite (2005), seja mais amplamente explorado no contexto de empresas que realizem um número razoável de empreendimentos com determinadas similaridades, mesmo em diferentes modos de provisão habitacional, nos quais é necessário adotar distintos programas de necessidades ou tipologias construtivas diversificadas.

Os principais clientes no PDP de empreendimentos PAR foram identificados a partir de entrevistas semi-estruturadas com diversos agentes do processo e da análise de documentos. As atividades exercidas pelos agentes foram representadas no modelo do PDP. O modelo identificou oportunidades de captação de requisitos que podem, cada uma, ser foco de estudos mais aprofundados. Também se constatou que os principais agentes não conheciam em profundidade o perfil dos clientes finais e suas necessidades. Assim, existe um grande potencial de aumentar o valor do produto mediante a captura dos requisitos do cliente, tanto os explícitos como os latentes. Evidentemente, os requisitos captados devem ser adequadamente processados, conforme sugerido por Kamara et al. (1999), de forma a apoiar a tomada de decisão ao longo do PDP. Essa captura deve envolver a coleta de um conjunto consistente de informações, iniciando-se pelos resultados de empreendimentos anteriores, devendo incluir também as visões dos vários intervenientes, sobretudo dos clientes finais.

Já com relação ao PSP, sua elaboração dirige a atenção da equipe de produção para aspectos que devem ser considerados durante a execução do empreendimento: estratégia de ataque, ritmos de produção e sincronia entre processos. Ainda, tornou-se evidente a necessidade de projetar e gerenciar especialmente aqueles pro-

cessos considerados críticos para o desempenho do sistema de produção, em termos de custo e prazo. Dessa forma, pode-se pensar no PSP como o principal elo que conecta as atividades de projeto do produto e a sua execução, através do processo de planejamento e controle da produção.

Assim, considerando que o principal objetivo do projeto do sistema de produção é a criação de condições para o seu controle e melhoria, a sua elaboração permite a estruturação do conjunto de recursos de produção de uma forma organizada e gerenciável, tornando-se referência para o processo de planejamento e controle e para a melhoria da produção.

## Referências

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa de Arrendamento Residencial**. Brasília, 2003. Disponível em: <<https://webp.caixa.gov.br/urbanizacao/Publicacao/Texto/programa/PAR.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2003.

COOPER, R.; PRESS, M. **The design agenda: a guide to successful design management**. 2. ed. London: John Wiley, 1994. 179 p.

COX, J. F.; SPENCER, M. S. **Manual de Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

KAMARA, J. M. et al. Client requirements processing in construction: a new approach using QFD. **Journal of architectural engineering**, ASCE, New York, v. 5, n. 1, p. 8-15, Mar. 1999.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J.; EVBUOMWAN, N. F. O. **Capturing client requirements in construction projects**. Reston: Thomas Telford, 2002.

KIVINIEMI, A.; FISCHER, M. Requirements Management Interface to Building Product Models. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 10., 2004, Weimar. **Proceedings...** Weimar: Bauhaus-Universitat Weimar, 2004. p. 252-263.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** 2000. Thesis (Doctor of Technology) – Technical Research Centre of Finland – VTT, Helsinki.

KOSKELA, L. Application of the new production to construction. **Technical Report 72**, Finland: CIFE, 1992.

KOTLER, P. **Administração de marketing:** análise, planejamento, implementação e controle. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

LEITE, F. L. **Contribuições para o gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial.** 2005. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEITE, F. L.; MIRON, L. I. G.; BELMONTE JUNIOR, K. R.; FORMOSO, C. T. Modelo descritivo do processo de negócio de empreendimentos de Arrendamento Residencial. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC/EPUSP, 2004.

MIRON, L. **Proposta de diretrizes para o gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos da construção.** 2002. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PINE II, B. Joseph. **Customização maciça**: a nova fronteira da competição dos negócios. São Paulo: Makron Books, 1994.

SCHRAMM, F. K. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill, 2000.

UMBLE, M. M.; SRIKANTH, M. L. **Synchronous manufacturing**: principles for world-class excellence. Wallingford: The Spectrum Publishing Company, 1995.

WINCH, G. M. Governing the project process: a conceptual framework. **Construction Management and Economics**, n. 19, p. 799-808, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## 8 Principais publicações do projeto GEHIS

### 8.1 Teses de doutorado

KERN, A. P. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção**. 2005. 234 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAURIN, T. **Segurança e produção**: um modelo para o planejamento e controle integrado. 2002. 312 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

## 8.2 Dissertações de mestrado

AKKARI, A. M. P. **Interligação entre o planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso de pacote computacional**: proposta baseada em dois estudos de caso. 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

COELHO, H. O. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. 2003. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COSTA, D. B. **Diretrizes para a concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção civil**. 2003. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEITE, F. L. **Contribuições para o gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial**. 2005. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MIRON, L. I. G. **Proposta de diretrizes para o gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos da construção**. 2002. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHRAMM, F. K. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. 2004. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

### 8.3 Artigos publicados em revistas nacionais

FORMOSO, C. T.; COSTA, D. B.; SCHRAMM, F. K. Modelo Integrado de Gestão de Projeto e Produção em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. **Inovação na Construção Civil: Monografias**. Campinas: Uniemp, 2005.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre: Antac, 2005. [artigo submetido e sob avaliação].

### 8.4 Artigos publicados em eventos internacionais

LEITE, F. L.; MIRON, L. I. G.; FORMOSO, C. T. Opportunities for client requirements management in low-income house building projects in Brazil. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005. **Proceedings...** Sydney: Unitech New Zealand, 2005.

MIRON, L. I. G.; FORMOSO, C. T. Client requirement management in building projects. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Blacksburg. **Proceedings...** Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.

MIRON, L. I. G.; LEITE, F. L.; FORMOSO, C. T. Client Requirements Management in Low-income House Building Projects in Brazil. In: JOINT CIB INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 11., 2005, Helsinki. **Proceedings...** Helsinki: VTT Technical Research Institute, 2005.

SAFFARO, F. A.; DE PAULA, E. C. P. Formulating the Work Flow Plan for Horizontal Projects: Case Study. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN

CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SCHRAMM, F. K.; COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T. The Design of Production Systems for Low-Income Housing Projects. In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004. **Proceedings...** Helsingor: [s.n.], 2004.

## 8.5 Artigos publicados em eventos nacionais

BULHÕES, I. R.; AKKARI, A. M.; SOUSA, M. G. L.; FORMOSO, C. T. Informatização do planejamento e controle de produção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO – SIBRAGEC, 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.

BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T.; AVELLAN, T. V. Gestão dos fluxos físicos e sua integração com o planejamento e controle da produção: caso de uma empresa de Salvador-BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO – SIBRAGEC, 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.

BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T. Desenvolvimento e aplicação de ferramentas gráficas para obras de habitação de interesse social. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

CORDEIRO, C. C. C.; FORMOSO, C. T.; MIRON, L. I. G. Oferta de habitações de interesse social na grande Porto Alegre: enfoque baseado em princípios da estratégia de produção. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC/EPUSP, 2004.

CORDEIRO, Cristóvão César Carneiro; FORMOSO, Carlos Torres; MIRON, Luciana Ines Gomes. Oferta de habitações de interesse social na grande Porto Alegre: enfoque baseado em princípios da estratégia de produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

COSTA, D. B.; SCHRAMM, F.K.; FORMOSO, C.T. A importância do projeto do sistema de produção em empreendimentos habitacionais de interesse social. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC/EPUSP, 2004.

DE PAULA, E. C. P. Análise da etapa de preparação do processo de PCP em uma empresa de pequeno porte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2003.

LEITE, F. L.; MIRON, L. I. G.; BELMONTE JR., K. R.; FORMOSO, C. T. Modelo descritivo do processo de negócio de empreendimentos de arrendamento residencial. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC/EPUSP, 2004.

238

MIRON, L. I. G.; FORMOSO, C. T. Gerenciamento de requisitos do cliente em empreendimento habitacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2003.

MIRON, L. I. G.; FORMOSO, C. T. Gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

MOURÃO, Y. R.; BARROS NETO, J. P.; SANTOS, A. P. S. A pesquisa de satisfação como forma de verificar a discordância entre os requisitos dos clientes e as especificações dos projetistas. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MOURÃO, Y. R.; BARROS NETO, J. P.; SANTOS, A. P. S.; FARIAS, J. P. Desenvolvimento de um modelo de melhoria do produto através da pesquisa de satisfação dos clientes de construtoras habitacionais. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

OLIVEIRA, R. R.; SILVA, K.; OLIVEIRA, M. V. S. Zoneamento e tipologia de obras em sistemas de planejamento e controle da produção. In: Encontro Tecnológico da Engenharia e Arquitetura de Maringá, 3., 2002, Maringá. **Anais...** Maringá: [s.n], 2002.

SALES, A. L. F.; BARROS NETO, J. P.; ALMINO, I. A gestão dos fluxos físicos nos canteiros de obras focando a melhoria nos processos construtivos. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

SILVA, K.; OLIVEIRA, M. V. S.; OLIVEIRA, R. R. Estudo sobre zoneamento e tipologias de obras em práticas de planejamento e controle da produção na construção civil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2003.

**Margaret Souza Schmidt Jobim** é Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1976). cursou Especialização em Patologias das Construções (1988) pela UFSM. É Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1997). É Doutoranda em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Desde 1977, é Professora Adjunto do Departamento de Estruturas e Construção Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, além de atuar como pesquisadora nas seguintes áreas: Processos Construtivos, Materiais e Componentes de Construção e Gerenciamento.  
E-mail: mssjobim@terra.com.br

**Helvio Jobim Filho** é Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS (1971). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (2002). Professor adjunto do Departamento de Estruturas e Construção Civil do Centro de Tecnologia da UFSM desde 1972. Engenheiro especialista da Prefeitura da cidade universitária da UFSM (1971 - 2001). Presidente e fundador do Sindicato da indústria da construção civil de Santa Maria (1995 - 1999). Participou desde 1994 na formação do atual PBQP-H. Diretor do Sistema FIERGS - Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul desde 1999.  
E-mail: jobimh@terra.com.br

# 8.

## Sistema de avaliação de materiais e componentes na indústria da construção civil: integração das cadeias produtivas

Margaret Souza Schmidt Jobim e Helvio Jobim Filho

### Resumo

Sabe-se que a atividade de construção civil é parte indissociável do desenvolvimento do país, gerando bens que, além de produzir a infra-estrutura necessária para diversas atividades econômicas, proporcionam bem-estar e qualidade de vida à sociedade. Ainda, constata-se que, na última década, as empresas de construção têm enfrentado mercados mais competitivos, necessitando conviver com a realidade de uma economia aberta e os desafios da competição numa dimensão global. Paralelamente, o movimento da qualidade desencadeou mudanças nos padrões de pensamento das estruturas organizacionais e na forma de administração, questionando sua eficiência e concluindo pela necessidade de redução da distância entre os elementos que formam a cadeia de suprimentos. Dessa forma, segundo os conceitos mais recentes da economia industrial, não é possível analisar a indústria da construção como atividade-fim isolada. Considerado um conceito inovador, a idéia de desenvolvimento de cadeias de suprimentos, também chamadas por diversos autores de cadeias produtivas ou cadeias de valor (Supply Chain), surgiu na década

de 80, na França, e procura agrupar segmentos produtivos e estudar formas diferenciadas de competição e de cooperação dentro de um conjunto inter-relacionado. O objetivo do presente trabalho é analisar os materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H nas suas respectivas cadeias produtivas, na tentativa de promover a integração das diversas atividades de cada cadeia, através de discussões conjuntas. Existe certo grau de dificuldade no estudo em função das diferenças de complexidade dos materiais e componentes numa única cadeia. É o caso, por exemplo, da cadeia da cerâmica e cal, que envolve desde a cal hidratada, blocos e telhas cerâmicas, até as louças sanitárias e os vidros planos. Entretanto, constata-se que a seleção de fornecedores, baseada nos conceitos e métodos teóricos desenvolvidos para o gerenciamento das cadeias produtivas, pode conduzir à integração entre fornecedor e cliente, formando uma rede. Para tanto, propõem-se itens para a seleção fundamentados em análise criteriosa e devidamente avaliados. Além disso, a discussão dos critérios para avaliação e seleção de fornecedores, mediante reuniões de trabalho envolvendo todos os agentes das cadeias específicas, pode mostrar-se uma ferramenta eficaz para a integração das cadeias produtivas da indústria da construção.

## Introdução

A gestão da cadeia de suprimentos representa uma promissora fronteira para as empresas que pretendem obter vantagens competitivas de forma efetiva, podendo ser considerada, segundo Pires (1998), uma visão expandida, atualizada e, sobretudo, holística da administração de materiais tradicional, abrangendo a gestão de toda a cadeia produtiva de forma estratégica e integrada. O autor enfatiza a necessidade de as empresas definirem suas estratégias competitivas e funcionais através de seus posicionamentos dentro das cadeias produtivas nas quais se inserem. A definição dos posicionamentos exige, entretanto, que a empresa identifique perfeitamente seus fornecedores e clientes. Dessa forma, o escopo da gestão da cadeia de suprimentos abrange toda a cadeia produtiva, incluindo a relação da empresa com seus clientes, e não apenas com seus fornecedores. Introduce, também, uma importante mudança de paradigma competitivo, na medida em que considera que a competição

no mercado ocorre, de fato, no nível das cadeias produtivas, e não apenas no nível das unidades de negócios isoladas. A mudança resulta em competição entre “unidades virtuais de negócios”, ou seja, entre cadeias produtivas. Atualmente, as mais efetivas práticas de gestão da cadeia de suprimentos procuram obter uma “unidade virtual de negócio”, providenciando, assim, muito dos benefícios da tradicional integração vertical, sem as desvantagens em custo e perda de flexibilidade. O conjunto de unidades de negócios (várias empresas distintas) que compõe uma determinada cadeia produtiva, segundo Pires (1998), forma uma unidade virtual de negócios que pode participar de diversas unidades virtuais de negócios lideradas por grandes montadoras (automobilísticas, metalmecânica, imobiliárias, etc.). O modelo proposto pelo autor enfatiza que cada unidade virtual de negócios deve se preocupar com a competitividade do produto perante o cliente final e com o desempenho da cadeia produtiva como um todo, acarretando uma gestão integrada da cadeia produtiva através de um estreitamento nas relações e a criação conjunta de competências distintas pelas empresas da cadeia.

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, abordando a análise das relações nas cadeias de suprimentos industriais, das relações nas cadeias de suprimentos na construção civil, a percepção dos principais intervenientes quanto aos critérios para seleção e avaliação de fornecedores de materiais e componentes e prática das questões ambientais, e a proposição de tópicos para seleção e avaliação.

O presente estudo analisa, numa amostra intencional, as relações entre empresas construtoras e fornecedores de materiais e componentes quanto aos critérios de seleção e avaliação destes. Inicialmente foram selecionadas 59 construtoras associadas ao Sindicato da Indústria da Construção Civil de Santa Maria, Sindicato da indústria da Construção Civil e Mobiliário de Pelotas e Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul para responder a uma pesquisa sobre os critérios de seleção e avaliação de fornecedores de materiais e componentes. As empresas foram escolhidas considerando-se a organização e os patamares de desenvolvimento gerencial e tecnológico. Trinta e seis empresas responderam à pesquisa.

Na primeira etapa deste trabalho pretendia-se, a partir da análise dos critérios de seleção e avaliação de fornecedores adotados pelas principais indústrias do parque tecnológico regional (teoricamente mais desenvolvidas), sugerir critérios para a cadeia da construção. Entretanto, constatou-se que, no Estado do Rio Grande do Sul, somente a cadeia automotiva possui critérios documentados para a avaliação e seleção de fornecedores. Isso porque a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS) criou, em 1998, o Instituto Gaúcho de Estudos Automotivos (IGEA), que é uma associação sem fins lucrativos, com personalidade jurídica de direito privado constituído por prazo indeterminado para promover ações voltadas ao ensino, pesquisa, consultoria e atualização dos métodos de gestão tecnológica e empresarial, voltadas ao desenvolvimento da indústria automotiva no Estado do Rio Grande do Sul e à preservação e modernização do parque industrial já instalado.

Assim, os critérios para seleção e avaliação de fornecedores de materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H da indústria da construção habitacional, propostos neste trabalho, fundamentam-se nos critérios propostos pelo IGEA e na análise do estudo de caso realizado junto a um grupo de empresas do estado.

Para alcançar o objetivo deste trabalho – proposta de critérios para avaliação e seleção de fornecedores de materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H –, realizou-se um diagnóstico junto a uma amostra de empresas construtoras do Rio Grande do Sul. A coleta dos dados relativos aos vários aspectos envolvidos na forma de seleção e avaliação de fornecedores foi realizada por questionário entregue diretamente nas empresas pertencentes aos sindicatos da construção do Rio Grande do Sul.

## **Tópicos para a seleção e avaliação de fornecedores na construção civil**

A incerteza da qualidade do produto pode representar uma barreira à construção de novos modelos de relacionamento na indústria da construção, onde, a exemplo das modernas indústrias, o foco é a transparência e a proximidade cada vez maior com o cliente final.

Segundo Souza (1996), a gestão da qualidade na aquisição dos materiais é de grande importância, visto que os insumos respondem por parte significativa do custo da obra, tendo forte impacto na produtividade dos serviços e no desempenho final do produto entregue, além de representar a oportunidade de exposição dos atributos das necessidades por parte do cliente consumidor, integrando-se às demais etapas da cadeia de suprimentos.

A importância dos suprimentos no sistema de gestão da qualidade pode ser avaliada, ainda, pela análise dos requisitos da ISO 9000:2000. De acordo com a norma, é preciso identificar quais materiais e componentes podem afetar a qualidade da edificação, documentando o critério de decisão sobre a seleção de fornecedores e considerando confiabilidade, capacidade de fornecimento, recursos necessários, tempo de entrega, preço, existência de sistema da qualidade, experiência anterior e reputação. Entretanto, quando se trata de um pequeno negócio, deve-se estar consciente de que o poder de compra é limitado, em especial quando se obtêm produtos de grandes organizações nacionais e internacionais.

De acordo com Amorin (2000), a montagem de um sistema de avaliação eficiente depende de uma capacidade técnica e de investimentos nem sempre presentes em grande parte das empresas de construção, visto que essas são, na sua maioria, empresas de pequeno ou médio porte e o desenvolvimento de sistemas apresenta-se como um esforço significativo, tanto economicamente como em termos de alocação de recursos humanos. Segundo o autor, essa situação é agravada pelo quadro de competição que as obriga a uma intensa busca de produtividade, levando-as a reduzir ao mínimo seu pessoal técnico.

Este estudo envolveu, ainda, a coleta de informações referentes a um conjunto de 31 materiais e componentes da cesta básica do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H). Os pesquisados identificaram os critérios considerados prioritários na seleção de fornecedores dos materiais e componentes, considerando: preço e condições de pagamento; limitação de mercado; qualidade do produto; padronização e normalização; e atendimento (incluindo logística).

Os valores foram calculados com base no número de citações e no peso atribuído para cada um dos itens (de 5 a 1, sem possibilidade de repetição) em cada material ou componente estudado. Quanto mais próximo de 5 (cinco) o valor, maior o número de pesquisados que apontam o critério como importante na escolha do fornecedor do material ou componente.

O objetivo principal dessa coleta de informações foi permitir maior visibilidade e gerar constantes que foram analisadas na elaboração de critérios para a avaliação e seleção de fornecedores.

No caso dos blocos cerâmicos, por exemplo, embora a qualidade do produto tenha sido apontada como o primeiro critério (63%) na hora da compra, 15% dos pesquisados citam a padronização e a normalização como critério prioritário na seleção do produto. Esse dado pode refletir o fato de algumas construtoras adotarem a alvenaria estrutural como tecnologia construtiva, necessitando de blocos estruturais com dimensões padronizadas e moduladas.

Apesar da existência de um número relativamente elevado de fabricantes de blocos cerâmicos no estado, 11% dos pesquisados apontam a limitação de mercado (Figura 1) como fator prioritário na escolha do fornecedor desse material.

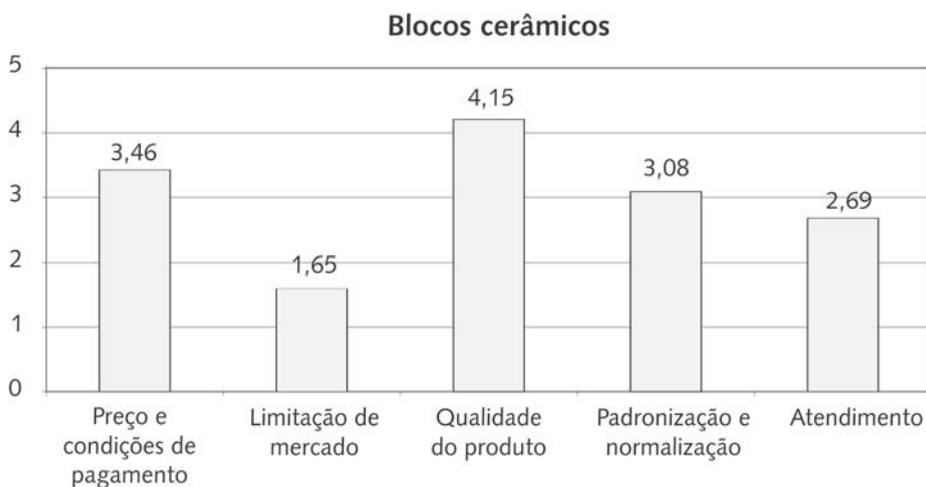


Figura 1 – Importância atribuída aos critérios de avaliação de fornecedores de blocos cerâmicos

A última etapa da pesquisa junto à amostra de empresas construtoras e incorporadoras estudadas refere-se à percepção e prática das questões ambientais. Young e Lustosa (1999) afirmam que a indústria brasileira apresenta um perfil de potencial poluidor, resultado do atraso no estabelecimento de normas ambientais e agências especializadas no controle da poluição industrial; da estratégia de crescimento associada à industrialização por substituição de importações, privilegiando setores intensivos em emissão; e da tendência do setor exportador em atividades potencialmente poluentes.

Dessa forma, de acordo com os autores, a competitividade da indústria brasileira pode ficar comprometida, uma vez que os países desenvolvidos possuem legislação ambiental mais rígida (ou, pelo menos, existe uma maior cobrança), exigindo padrões ambientais que podem representar custos para a indústria brasileira. De acordo com o relatório “Pesquisa Gestão Ambiental na Indústria Brasileira”, (SEBRAE, 1998), os registros de informações sobre essas práticas ainda são incipientes na maioria das empresas, devido tanto à sua complexidade e variedade quanto à sua recente valorização nas atividades produtivas.

Constata-se que apenas 8,82% dos pesquisados possuem uma política ambiental definida. Entretanto, 57,58% dos pesquisados admitem que a empresa tem conhecimento dos seus impactos ambientais. A responsabilidade pela utilização de materiais que afetam o meio ambiente, na opinião de 78,13% dos respondentes é dos fabricantes dos materiais, construtora e projetistas. Apenas 12,5% atribuem essa responsabilidade exclusivamente ao fabricante. A adoção de ações que refletem preocupação ambiental, tais como mudança em projeto, preservação do ambiente natural dos terrenos, mudança em processos produtivos, menor consumo de recursos e outros, é prática entre 64,71% das empresas pesquisadas. Entretanto, 60,6% dos pesquisados desconhecem a legislação aplicável à sua atividade.

De forma semelhante, o conceito dos 3Rs (reduzir, reciclar e reutilizar) não é aplicado por 42,4% dos pesquisados. O destino dado ao entulho gerado em obra é o teleentulho (87,5%) ou locais predefinidos pela empresa (12,5%).

Dos pesquisados, apenas 17,65% afirmam que existe preocupação com a origem, produção, transporte, instalação, embalagem e destino pós-uso dos materiais utilizados. Apenas 14,71% dos respondentes afirmam que a empresa possui critérios que privilegiem ou exijam a aquisição de produtos adquiridos de fornecedores com alguma preocupação ambiental.

A preocupação com os aspectos ambientais deve estar presente na etapa de projeto. A padronização das dimensões e a modularidade podem conduzir à redução do consumo de recursos e diminuição de desperdícios. Entre os pesquisados, 88,24% demonstram preocupação para com esses aspectos na fase de projeto. Entretanto, 18,18% desconhecem os impactos causados pela obra no meio ambiente. Da mesma forma, apenas 34,38% dos entrevistados demonstram preocupação, na fase de projeto e planejamento, com o volume, tipo, localização e disposição do entulho que será gerado. Sessenta e dois por cento dos entrevistados utilizariam materiais reciclados e os restantes 38% utilizariam com restrições.

Pode-se concluir nesta etapa do projeto de pesquisa que, apesar do razoável patamar de desenvolvimento gerencial na amostra de empresas construtoras estudadas no Estado do Rio Grande do Sul (cidades de Porto Alegre, Santa Maria e Pelotas), com um elevado percentual de conhecimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade, é reconhecido que uma das principais dificuldades dessas empresas refere-se à qualidade dos materiais de construção.

Ainda, os critérios para seleção de fornecedores baseados em preço e condições de pagamento podem representar um entrave à melhoria contínua, exigida pelos modernos sistemas de gestão. Da mesma forma, os critérios baseados na qualidade do produto necessitam ser criteriosamente avaliados com base em indicadores.

Acredita-se que a seleção de fornecedores, baseada nos conceitos e métodos teóricos desenvolvidos para o gerenciamento das cadeias produtivas, pode conduzir à integração entre fornecedor e cliente, contribuindo para o desenvolvimento de materiais e componentes que melhor atendam às necessidades do mercado.

## Cadeia produtiva

Os conceitos de cadeia produtiva, cadeia de valor, cadeia de suprimentos, gerenciamento da cadeia de suprimentos, logística, rede de valor e gerenciamento sustentável das cadeias de suprimentos têm sido analisados sob diferentes abordagens pelos estudiosos do assunto ao longo dos últimos anos, embora, em alguns casos, persistam conceitos pouco elucidativos. Constata-se, ainda, que o tema é bastante estudado por áreas distintas como marketing, logística, engenharia civil, engenharia de produção, sistemas de gestão e gerenciamento da construção, entre outras. Inicialmente, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio define cadeia produtiva como “o conjunto de atividades econômicas que se articulam progressivamente, desde o início da elaboração de um produto (inclui as matérias primas, máquinas, equipamentos, produtos intermediários) até o produto final, a distribuição e comercialização” (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, 2001). De forma semelhante, Haguenaer et al. (2000) conceituam cadeia produtiva como o conjunto das atividades que participam das diversas etapas de processamento ou montagem que transformam matérias-primas básicas em produtos finais. Segundo os autores, os complexos industriais constituem conjuntos de cadeias produtivas que têm origem nas mesmas atividades ou convergem para as mesmas indústrias e mercados, tendo a extração de minerais não metálicos dado origem ao complexo da construção civil, juntamente com a atividade mobiliária, já que essa atividade aparece na matriz insumo/produto da madeira.

A cadeia de valor (*supply chain*), segundo Lopes (2000), é formada por todas as atividades ligadas à empresa iniciadas com as prioridades dos atributos de futuro, detectadas pelas necessidades dos clientes consumidores até o estabelecimento das competências essenciais (incluindo as etapas dos colaboradores do sistema de distribuição dos produtos, administração da empresa e fabricação de seus produtos e seus fornecedores de matéria-prima). Esse autor questiona a visão fragmentada da cadeia de valor e sugere uma visão ampla e integrada.

Nesse contexto, logística, de acordo com a definição promulgada pelo CLM (Council of Logistics Management), é o “processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes” (BALLOU, 2001). Conforme Ballou (2001), o gerenciamento da logística empresarial é também popularmente chamado de gerenciamento da cadeia de suprimentos. Da mesma forma, Martins e Alt (2001) afirmam que o gerenciamento da cadeia de suprimentos, ou *supply chain management*, nada mais é do que administrar o sistema de logística integrada da empresa, e os seus objetivos são satisfazer rapidamente o cliente, criando um diferencial com a concorrência, e minimizar os custos financeiros pelo uso do capital de giro, e os custos operacionais, diminuindo desperdícios e evitando ao máximo atividades que não agregam valor ao produto, tais como as esperas, armazenamentos, transportes e controles. Entretanto, segundo Lambert e Cooper (2000), recentemente vários autores apontam diferenças significativas entre gerenciamento das cadeias de suprimentos e gerenciamento da logística, sendo a logística apenas a parte do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla de forma eficaz o fluxo efetivo e o estoque de bens, serviços e informações, enquanto o gerenciamento da cadeia de suprimentos é a integração dos processos-chave do negócio, a partir do usuário final e através dos fornecedores de produtos, serviços e informações que agregam valor aos clientes e a todos os envolvidos direta e indiretamente.

Constata-se que alguns autores analisam as cadeias sob a perspectiva da logística ou sob o enfoque da interação de componentes interdependentes. Outras definições focalizam a distribuição física ao longo da cadeia ou, ainda, conceituam as cadeias em dois níveis distintos: estratégico e tático. Possivelmente, as divergências nos conceitos sejam resultado das diferentes abordagens, visto que esses conceitos emergiram do estudo da logística, mas a literatura de marketing discute amplamente o assunto.

Na visão de London e Kenley (2000), os clientes e as organizações necessitam “entender” as cadeias produtivas dos materiais e componentes, visto que, através desse entendimento, pode-se promover impactos positivos em cada etapa da cadeia, no projeto e, finalmente, no cliente. Segundo os autores, a natureza temporária e a incerteza nas abordagens teóricas sobre o assunto necessitam ser discutidas.

Para que se apliquem os conceitos de cadeias de suprimentos ao macrocomplexo da construção civil, freqüentemente caracterizado como atrasado por grande número de analistas das mais variadas áreas (pela sua fragmentação e baixa produtividade), é necessário analisar o gerenciamento da cadeia sob uma perspectiva estratégica, valor ao cliente e efetiva economia para a organização. Sob esse enfoque, os conceitos de gerenciamento da cadeia de suprimentos e de *lean production* são complementares, quando aplicados à indústria da construção. Segundo Banzato (2000), a produção enxuta (*lean production*) pode ser conceituada como um sistema altamente flexível que exige fluxos freqüentes e rápidos de informação e de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, o que é caro e complexo quando as atividades dessa cadeia estão geometricamente dispersas. Esse conceito, de acordo com o autor, abrange a cooperação com fornecedores nas questões de qualidade e projeto para manufatura, com o objetivo de assegurar a facilidade de manufatura e qualidade e confiabilidade de serviço.

De acordo com Rodrigues e Pires (1997), um dos objetivos básicos da gestão das cadeias de suprimentos é maximizar e tornar realidade as potenciais sinergias entre as partes da cadeia, de forma a atender um cliente mais eficientemente. O autor propõe a reestruturação e consolidação do número de fornecedores e clientes, construindo e aprofundando as relações de parceria com o conjunto de empresas com as quais se deseja estabelecer um relacionamento colaborativo e com resultado sinérgico. Ainda, segundo Pires (1998), a gestão da cadeia de suprimentos pressupõe que as empresas definam suas estratégias competitivas e funcionais mediante seus posicionamentos (tanto como fornecedores quanto como clientes) dentro das cadeias produtivas nas quais se inserem, e as práticas eficazes de gestão visam à simplificação e à obtenção de cadeias mais eficientes e com resultados positivos.

Finalmente, as redes de valor são definidas como modelo de negócios que utiliza os conceitos da cadeia de suprimentos digital para obter a maior satisfação do cliente e a lucratividade da empresa (BOVET; MARTHA, 2000). Os principais conceitos podem ser analisados no Quadro 1.

A estrutura da cadeia de suprimentos é representada por todas as empresas, desde a matéria-prima até o cliente final. O número de cadeias depende de vários fatores, incluindo a complexidade do produto, o número de fornecedores disponíveis e a disponibilidade de matérias-primas. A dimensão das cadeias inclui o seu tamanho e o número de fornecedores e clientes em cada nível.

É importante possuir um conhecimento e entendimento de como é configurada a estrutura da cadeia de suprimentos. A sugestão proposta por Lambert et al (2000) é que a estrutura tenha três aspectos primários: a) os membros da cadeia; b) a dimensão estrutural; e c) os diferentes tipos de processos interligados através da cadeia.

Os membros da cadeia incluem todas as empresas com as quais a empresa foco interage direta ou indiretamente através dos fornecedores ou clientes, desde o ponto de origem até o ponto de consumo.

São chamados membros primários da cadeia de suprimentos todas as empresas autônomas ou negócios estratégicos cujas atividades agregam valor (operacional e/ou gerencial) no processo de negócio que produz um bem específico para um cliente particular ou para o mercado. Os membros suportes são as empresas que fornecem recursos, conhecimento, serviços ou bens para os membros primários.

A definição dos membros primários e membros suportes possibilita definir o ponto de origem e o ponto de consumo da cadeia de suprimentos. Todos os fornecedores dos membros no ponto de origem são suportes. O ponto de consumo é onde o produto é consumido e não há mais adição de valor.

CADEIA PRODUTIVA	<p>É o conjunto de atividades econômicas que se articulam progressivamente, desde o início da elaboração de um produto até o produto final, a distribuição e a comercialização. (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO, 2001)</p>
	<p>É o conjunto das atividades que participam das diversas etapas de processamento ou montagem que transformam matérias-primas básicas em produtos finais. (HAGUENAUER, 2000)</p>
CADEIA DE SUPRIMENTOS	<p>É o conjunto de processos inter/intra-empresarial que produz e entrega bens e serviços aos clientes. Abrange atividades tais como obtenção da matéria-prima, programa de produção e o sistema de distribuição física, apoiados pelo fluxo de informações. (BOVET; MARTHA, 2000)</p>
	<p>São redes de empresas que se sucedem desde a extração dos recursos naturais, sua transformação em materiais primários, fabricação de componentes, subconjuntos, conjuntos, montagens finais, armazenagem e distribuição até a chegada do produto nas mãos do cliente final, que, após o seu ciclo de vida útil, se ocupam da sua reciclagem; responsáveis pelo fluxo inverso de materiais e informações e pela redução dos custos de transação a um mínimo indispensável. (MARTINS; ALT, 2001)</p>
	<p>É a rede de organizações que estão interligadas através de links nos diferentes processos e atividades que produzem valor na forma de produtos e serviços nas mãos do cliente final. (CHRISTOPHER, 1992)</p>
	<p>É o fluxo de materiais, informações e capital entre as diferentes partes ou funções organizacionais. (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1998)</p>
GESTÃO OU GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	<p>Visão expandida, atualizada e, sobretudo, holística da administração de materiais tradicional, abrangendo a gestão de toda a cadeia produtiva de uma forma estratégica e integrada. (PIRES, 1998)</p>
	<p>É a integração dos processos-chave do negócio, a partir do usuário final e através dos fornecedores de produtos, serviços e informações que agregam valor aos clientes e a todos os envolvidos direta e indiretamente. (LAMBERT; COOPER, 2000)</p>
	<p>É o conjunto de atividades funcionais que é repetido muitas vezes ao longo do canal de suprimentos, através do qual as matérias-primas são convertidas em produtos acabados e o valor é adicionado aos olhos dos clientes. (BALLOU, 2001)</p>
	<p>É a administração do sistema de logística integrada da empresa. Seu objetivo é satisfazer rapidamente o cliente, criando um diferencial com a concorrência, e minimizar os custos financeiros, pelo uso do capital de giro, e os custos operacionais, diminuindo desperdícios e evitando ao máximo atividades que não agregam valor ao produto, tais como as esperas, armazenamentos, transportes e controles. (MARTINS; ALT, 2001)</p>

CADEIA DE VALOR	Formada por todas as atividades ligadas à empresa, iniciadas com as prioridades dos atributos de futuro, detectadas pelas necessidades dos clientes consumidores até o estabelecimento das competências essenciais. (LOPES, 2000)
	São todas as atividades estrategicamente relevantes que uma organização desempenha para adicionar valor aos seus produtos ou serviços, visando seus clientes. (PORTER, 1989)
REDES DE VALOR	É o modelo de negócios que utiliza os conceitos da cadeia de suprimentos digital para obter a maior satisfação do cliente e a lucratividade da empresa. (BOVET; MARTHA, 2000)
LOGÍSTICA	É o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes. (COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT, 1998)
	É apenas a parte do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla de forma eficaz o fluxo efetivo e o estoque de bens, serviços e informações. (LAMBERT; COOPER, 2000)
	É o conjunto de atividades responsável pelo planejamento, operação e controle de todo o fluxo de mercadorias e informação, desde a fonte fornecedora até o cliente. (MARTINS; ALT, 2001)
GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS	Para algumas organizações, o gerenciamento sustentável das cadeias de suprimentos representa a integração e o gerenciamento dos aspectos sociais, éticos, ambientais e econômicos através das cadeias de suprimentos. (CHARTER et al., 2001)
CADEIA DE DEMANDA	É um caminho onde se visualiza a melhoria de produtos e serviços a partir do ponto de vista dos clientes. (PORTER, 1989)

Quadro I – Principais conceitos

## Cadeia produtiva da construção civil

De acordo com a versão final do documento Fórum Construção do Ministério da Ciência e Tecnologia (2000), “a cadeia produtiva da construção civil no Brasil é composta por um grande número de indústrias e setores prestadores de serviços, cada qual com sua estrutura setorial própria e de naturezas bastante distintas entre elas, do ponto de vista econômico e industrial”. Na estrutura básica de

composição da cadeia sugerida no referido documento, o foco da cadeia é o produtor de bens finais (edifícios, sistemas de infra-estrutura e estruturas de processos industriais), enquanto os produtores de matérias-primas básicas e os produtores de materiais e componentes e sistemas construtivos são fornecedores dos primeiros.

Já especificamente no complexo de materiais de construção, Souza et al. (1993) selecionam as seguintes cadeias produtivas: 1. extração e beneficiamento de minerais não-metálicos (areia, pedra britada, amianto, calcário, argila, gesso, pedras para revestimento); 2. insumos metálicos (extração e beneficiamento de ferro, alumínio e cobre, aço estrutural, esquadrias de ferro fundido e alumínio, tubos de aço e cobre, fios e cabos elétricos de alumínio e cobre, pregos, parafusos e ferragens para esquadrias); 3. madeira (extração vegetal, beneficiamento, chapas, componentes); 4. cerâmica e cal (cerâmica vermelha, cerâmica para revestimentos, louças sanitárias, cal, vidro); 5. cimento (cimento amianto, concreto pré-misturado, argamassas industrializadas, elementos e componentes pré-fabricados, artefatos de cimento); e 6. insumos químicos (materiais plásticos, tintas e vernizes, aditivos e adesivos, materiais betuminosos, materiais isolantes).

Dessa forma, pode-se agrupar os materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H de acordo com as cadeias propostas por Souza et al. (1993), conforme o Quadro 2. Constatase certo grau de dificuldade no estudo em função das diferenças de complexidade dos materiais e componentes numa única cadeia. É o caso, por exemplo, da cadeia da cerâmica e cal, que envolve desde a cal hidratada, blocos e telhas cerâmicas, até as louças sanitárias e os vidros planos. De acordo com Rosso (1980), os materiais e componentes se apresentam no mercado na forma de diversos produtos, tais como: materiais naturais (obtidos por extração – areia, brita, madeira não beneficiada), materiais industrializados (obtidos por processos de transformação, sem forma definida – cimento, tintas, argamassa industrializada), componentes semiterminados (apresentam duas dimensões fixas, sendo em geral submetidos a operações de corte, na obra, antes da utilização – perfis metálicos, barras de aço, tubos), componentes terminados simples (apresentam formas simples, sendo

obtidos em processos de conformação – tijolos, blocos, telhas), componentes terminados compostos (obtidos pela associação de peças ou componentes simples – bombas, fechaduras, torneiras) e componentes terminados complexos (podem atender simultaneamente a diversas exigências funcionais – janela, painel portante).

Dessa forma, pode-se também analisar os materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H de acordo com a forma que se apresentam no mercado, conforme a classificação de Rosso (1980). O Quadro 3 apresenta os materiais e componentes agrupados de acordo com essa classificação.

Para fins deste estudo, considerando-se a disparidade tecnológica entre os setores produtivos, o autor propõe uma reorganização das cadeias, sendo essa proposta adotada neste trabalho. No Quadro 4 apresenta-se a proposta de reorganização das cadeias.

CADEIA PRODUTIVA	MATERIAL/COMPONENTE
CIMENTO	·Concreto dosado em central, cimento portland, bloco de concreto ·Argamassa industrializada, laje pré-moldada
CERÂMICA E CAL	·Bloco cerâmico, telha cerâmica ·Cerâmica para revestimento de piso ·Cerâmica para revestimento de parede ·Cal hidratada, louças sanitárias, vidros planos
MADEIRA	·Chapas de compensado para fôrmas ·Portas de madeira, janelas de madeira
INSUMOS METÁLICOS	·Janelas de alumínio, portas de alumínio ·Aço para armaduras de concreto ·Metais sanitários ·Janelas de aço, portas de aço ·Fios e cabos elétricos
EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS	·Areia ·Brita para concreto
INSUMOS QUÍMICOS	·Tubos e conexões de PVC ·Tintas PVA, tintas acrílicas ·Interruptores, disjuntores ·Janelas de PVC ·Tomadas

Quadro 2 – Cadeias produtivas da construção (SOUZA, 1993)

CLASSIFICAÇÃO	MATERIAL/COMPONENTE
MATERIAIS NATURAIS	·Areia ·Brita para concreto
MATERIAIS INDUSTRIALIZADOS	·Concreto usinado, cimento Portland ·Cal hidratada, argamassa industrializada ·Tintas PVA, Tintas acrílicas
COMPONENTES SEMITERMINADOS	·Chapas de compensado para fôrmas ·Tubos e conexões de PVC ·Aço para armaduras de concreto ·Fios e cabos elétricos ·Vidros planos
COMPONENTES TERMINADOS SIMPLES	·Blocos cerâmicos, telhas cerâmicas ·Blocos de concreto ·Cerâmica para revestimento de piso ·Cerâmica para revestimento de parede ·Laje pré-moldada
COMPONENTES TERMINADOS COMPOSTOS	·Louças sanitárias, metais sanitários ·Interruptores, disjuntores, tomadas
COMPONENTES TERMINADOS COMPLEXOS	·Portas de madeira, janelas de madeira ·Portas de alumínio, janelas de alumínio ·Janelas de PVC ·Portas de aço, janelas de aço

Quadro 3 – Classificação dos materiais e componentes segundo Rosso (1980)

## Cesta básica do PBQP-H

Os materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H, dentro do conceito de cadeia de suprimentos, têm sido analisados sob diferentes abordagens pelos estudiosos do assunto ao longo dos últimos anos, embora, em alguns casos, persistam conceitos pouco elucidativos.

Os materiais e componentes são analisados, neste trabalho, de acordo com a sugestão de reorganização das cadeias, baseada na similaridade dos fabricantes. As cadeias analisadas, a partir da cesta básica do PBQP-H, são: a) cerâmica vermelha; b) materiais naturais; c) materiais básicos industrializados; d) cerâmicas esmaltadas; e)

madeira beneficiada; f) esquadrias de madeira; g) esquadrias metálicas e de PVC; h) pré-moldados em concreto; i) materiais para estruturas; j) materiais para instalações elétricas; k) materiais para instalações hidrossanitárias; l) tintas; e m) vidros.

Cada material e componente, dentro da sua respectiva cadeia, possui características particulares. Neste trabalho não são apresentados os fluxos dos materiais e componentes, mas eles se encontram no Manual de Seleção e Avaliação de Fornecedores de Materiais e Componentes da Indústria da Construção Civil (FINEP).

SUGESTÃO DE REORGANIZAÇÃO DAS CADEIAS	MATERIAIS E COMPONENTES
CERÂMICA VERMELHA	·Blocos cerâmicos, telhas cerâmicas
MATERIAIS NATURAIS	·Areia, brita para concreto
MATERIAIS BÁSICOS INDUSTRIALIZADOS	·Cimento Portland, cal hidratada ·Argamassa industrializada
CERÂMICAS ESMALTADAS	·Cerâmicas esmaltadas para revestimento de piso ·Cerâmicas esmaltadas para revestimento de parede
MADEIRA BENEFICIADA	·Chapas de compensado para fôrmas
ESQUADRIAS DE MADEIRA	·Portas de madeira, janelas de madeira
ESQUADRIAS METÁLICAS E DE PVC	·Portas de alumínio, janelas de alumínio ·Portas de aço, janelas de aço ·Janelas de PVC
PRÉ-MOLDADOS EM CONCRETO	·Blocos de concreto ·Lajes pré-moldadas
MATERIAIS PARA ESTRUTURAS	·Concreto usinado ·Aço para armaduras de concreto
MATERIAIS PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	·Fios e cabos elétricos ·Interruptores, disjuntores, tomadas
MATERIAIS PARA INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS	·Tubos e conexões de PVC ·Louças sanitárias, metais sanitários
TINTAS	·Tintas PVA, tintas acrílicas
VIDROS	·Vidros planos

Quadro 4 – Proposta do autor para reorganização das cadeias de materiais e componentes da construção para fins de análise

## Sistema de avaliação de materiais e componentes na indústria da construção civil

Verificando-se os conceitos atuais de cadeias de suprimentos, constata-se que os autores referem-se, invariavelmente, a uma rede de organizações interligadas, que visam agregar valor ao cliente final. De acordo com Vrijhoef e Koskela (1999), no gerenciamento das cadeias de suprimentos, mais importante do que ver cada organização e seus níveis é conseguir visualizar a cadeia como um todo, conforme a Figura 2.

Conforme Lambert e Cooper (2000), o gerenciamento de todos os fornecedores a partir do ponto de origem e de todos os produtos/serviços a partir do ponto de consumo envolve certo grau de complexidade. Ainda, segundo os autores, nos últimos 30 anos, muitas pesquisas em marketing ignoraram dois pontos críticos: primeiro, não houve contribuição pela inclusão de fornecedores da manufatura e, portanto, foi negligenciada a importância da perspectiva de cadeia total de suprimentos; segundo, focou-se nas atividades de marketing sem a percepção da necessidade de integrar e gerenciar os múltiplos processos-chave entre e através das empresas.

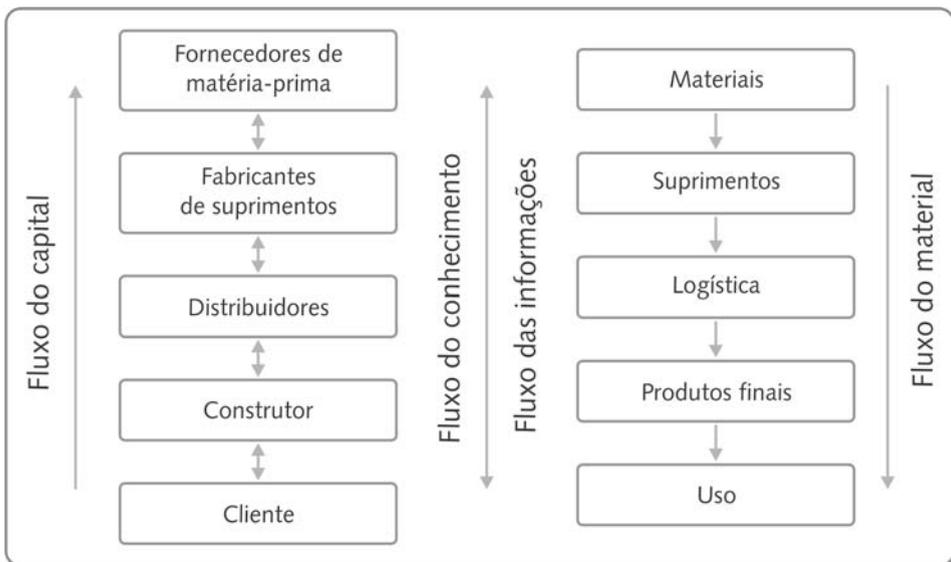


Figura 2 – Configuração genérica da cadeia de suprimentos (adaptada de Vrijhoef e Koskela, 1999)

O estudo das cadeias envolve a identificação dos fornecedores e clientes nos diferentes níveis, funções e processos, considerando um foco. Neste trabalho, o foco é a empresa construtora, e os níveis de fornecedores e clientes são analisados a partir dela, conforme a Figura 3.

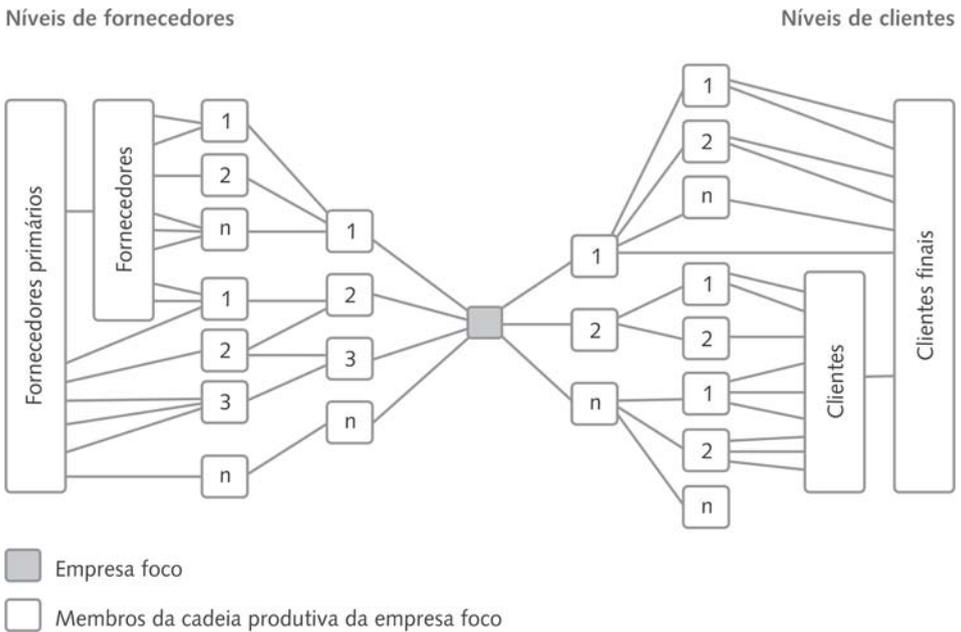


Figura 3 – Estrutura de rede da cadeia produtiva (LAMBERT; COOPER, 2000)

A Figura 4 ilustra a cadeia produtiva de um dos materiais da cesta básica do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), onde se percebe a importância de focalizar uma empresa para a correta compreensão da rede de fornecedores e clientes.

Os membros primários da cadeia de suprimentos são todas as empresas autônomas ou negócios estratégicos cujas atividades agregam valor (operacional e/ou gerencial) no processo de negócio que produz um bem específico para um cliente particular ou para o mercado, e os membros suportes são as empresas que fornecem recursos, conhecimento, serviços ou bens para os membros primários. A definição dos membros primários e membros suportes possibilita definir o ponto de

origem e o ponto de consumo da cadeia de suprimentos. Todos os fornecedores dos membros no ponto de origem são suportes. O ponto de consumo é onde o produto é consumido e não há mais adição de valor. Dessa forma, definindo-se a empresa construtora como sendo a empresa focada para a análise das cadeias de suprimentos, os membros da cadeia incluem todas as empresas com as quais a construtora interage direta ou indiretamente através dos fornecedores ou clientes de diferentes níveis, desde o ponto de origem até o ponto de utilização.

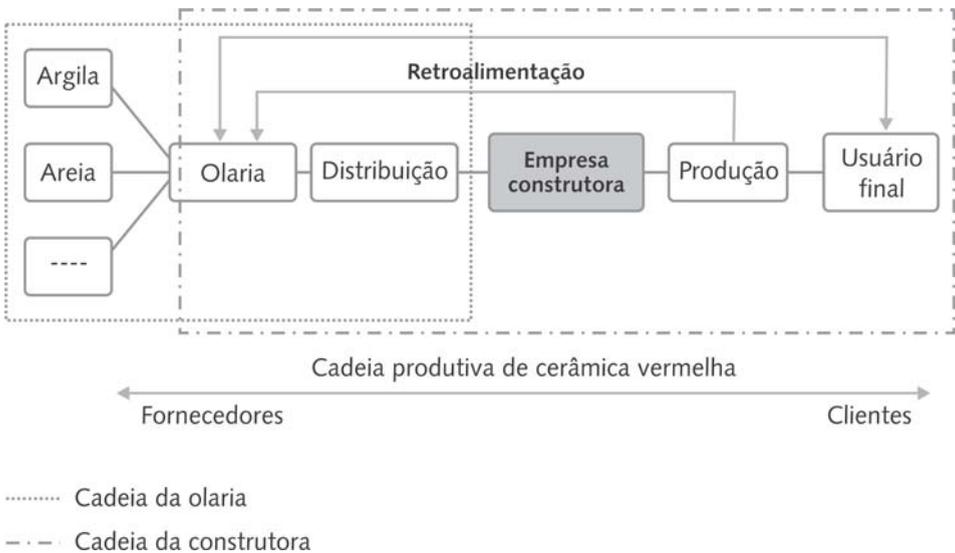


Figura 4 – Estrutura de rede da cadeia produtiva (exemplo da cadeia da cerâmica vermelha)

A estrutura conceptual de gerenciamento da cadeia de suprimentos enfatiza a natureza inter-relacionada da cadeia e a necessidade de analisar, através de rigorosos passos, o desenho dela. Entretanto, vários são os aspectos que devem ser abordados ao longo de todas as etapas da cadeia, a partir da descrição e análise dos fluxos, com fins de visibilidade.

O modelo de análise proposto, representado na Figura 5, considera os principais aspectos de ordem técnica, ambiental, de mercado, social e legal.

Os conceitos de gerenciamento da cadeia de suprimentos enfatizam a natureza inter-relacionada da cadeia e a necessidade de analisar, através de rigorosos pas-

tos, o seu fluxo. Para tanto, deve-se considerar que as cadeias são constituídas de todas as empresas e clientes que dela participam, desde a matéria-prima até o cliente final, em diferentes níveis. Se trabalharmos a cadeia como uma árvore, a questão é saber quantos galhos necessitam ser gerenciados. A forma como o relacionamento ocorre nos diferentes pontos da cadeia será diferente e nem todas as conexões poderão ser coordenadas e integradas.

Entretanto, é importante possuir um conhecimento e entendimento de como é configurada a estrutura da cadeia e a sugestão é que a estrutura se constitua de três aspectos primários: os membros da cadeia, a dimensão estrutural e os diferentes tipos de processos que podem ser conectados através da cadeia.

O sucesso do gerenciamento da cadeia de suprimentos requer a mudança do gerenciamento de funções individuais, para a integração das atividades nos processos chave das cadeias de suprimentos e o entendimento de que os clientes são o foco principal do processo. Além disto, a importância da cultura da corporação e sua compatibilidade ao longo das cadeias de suprimentos não podem ser subestimadas.

Controlar a incerteza da demanda, o processo de manufatura e o desempenho dos fornecedores são itens críticos para o efetivo gerenciamento da cadeia de suprimentos, mas o aspecto-chave é conhecer os dados sobre as necessidades dos clientes. O primeiro passo para a integração no gerenciamento da cadeia de suprimentos é identificar os clientes-chave ou grupos de clientes-alvo que a organização considera críticos para o negócio. Produtos e serviços agregam valor específico nos níveis de desempenho estabelecidos pelos clientes.

Por sua vez, o processo de gerenciamento da demanda deve balançar os requisitos dos clientes com as potencialidades das empresas fornecedoras. Constatase, assim, a necessidade de integração entre a empresa construtora e as empresas fornecedoras de materiais e componentes, distribuição e transporte. Essa integração, entretanto, exige o conhecimento dos fluxos, desde a fabricação até o uso do material ou componente. Isso exige que o fluxo de informações seja dinâmico e constante entre cliente e fornecedor e fornecedor e cliente.

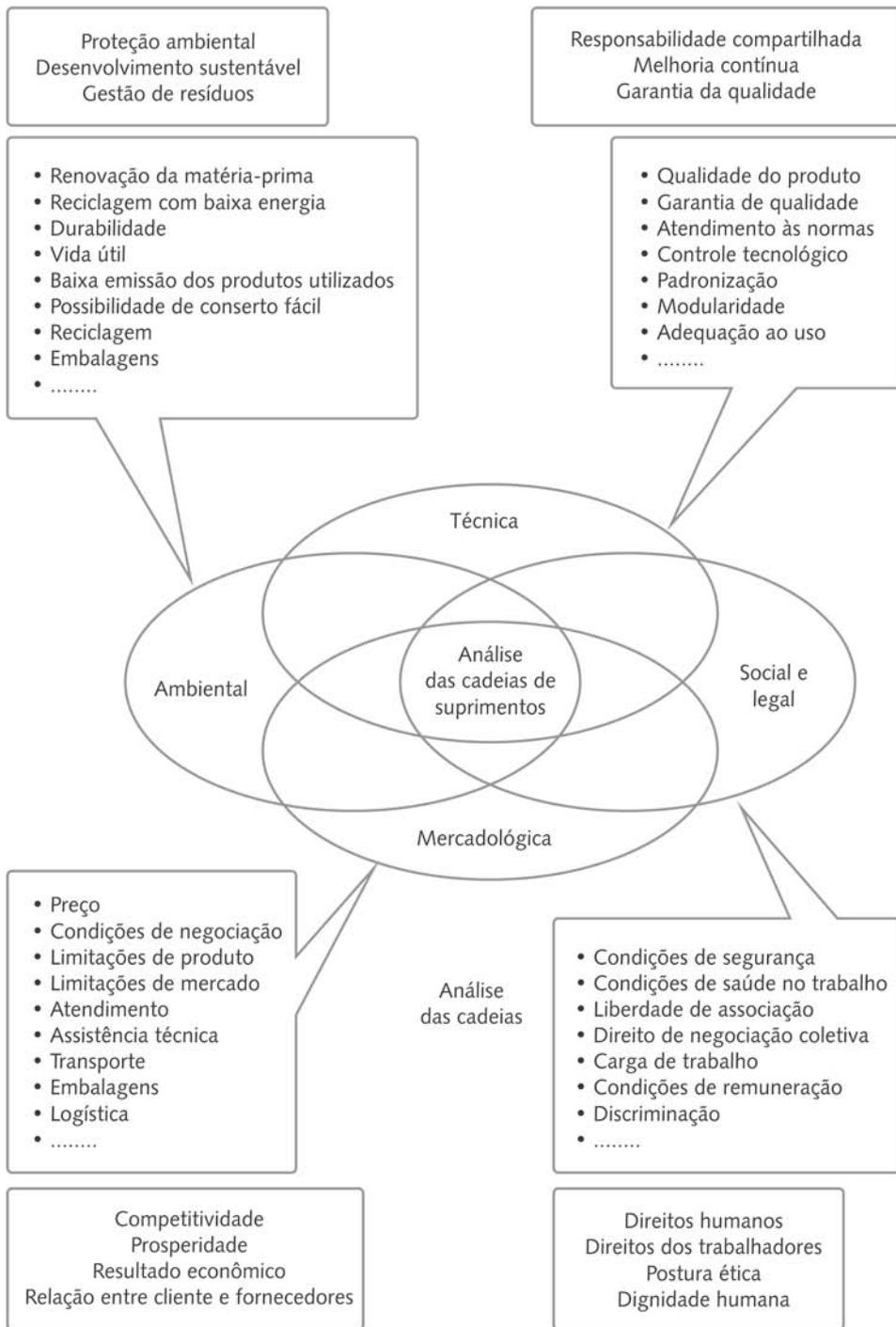


Figura 5 – Aspectos considerados no modelo proposto para análise das cadeias

A análise dos fluxos, por sua vez, requer o conhecimento dos principais processos das empresas fornecedoras de insumos, das características do sistema de distribuição, imprevistos processos de construção e do uso dos materiais e componentes. Identificam-se alguns dos aspectos relevantes na abordagem do modelo, que considera os aspectos técnicos, ambientais, sociais, legais e econômicos, de mercado ou comerciais.

## Aspectos técnicos

Os critérios de seleção de fornecedores de materiais e componentes baseados na análise técnica referem-se, em especial, à qualidade do produto. A exigência da garantia da qualidade e atendimento às normas assim como o controle tecnológico, a padronização, a modularidade e a adequação ao uso são itens que interferem na qualidade do produto final. A certificação de produto e de sistema da qualidade das empresas fornecedoras pode minimizar as exigências, mas não exclui os critérios para a seleção, que devem orientar para a melhoria contínua.

## Aspectos ambientais

De acordo com o Relatório CIB, publicação 237 (2000), a indústria da construção é grande consumidora de produtos cuja fabricação utiliza intensamente a energia, e os aspectos ambientais diretamente relacionados à produção desses materiais deve ser preocupação dos que os produzem. Os assuntos mais importantes no que diz respeito à fabricação dos produtos referem-se à redução da quantidade de material e energia contidos nos produtos (renovação da matéria-prima, reciclagem com baixa energia, aumento da durabilidade e da expectativa de vida útil), baixa emissão dos produtos utilizados (revestimentos amigáveis ao ambiente, pré-tratamento) e possibilidade de conserto fácil (projeto visando ao desmonte e ao conserto na fábrica) e de reciclagem (produtos feitos para serem devolvidos ao fabricante,

após uso, provisionamento do produto). Analisam-se, ainda, as questões ambientais relacionadas às embalagens. Conforme o relatório, para alcançar os objetivos diretamente relacionados a assuntos ambientais, projetistas e fabricantes de materiais e componentes da construção precisam atuar em estreita cooperação no desenvolvimento de novos conceitos de construção. Deve-se introduzir, ainda, uma classificação de ambiente com o propósito de identificar fatores como expectativa de vida útil, energia intrínseca, composição e reciclabilidade. É previsto o aumento da responsabilidade por parte dos fabricantes, que acompanharão de perto seus produtos, da matéria-prima até a entrega, aumentando a pressão para que os fabricantes desenvolvam novos materiais (reciclados ou feitos de recursos renováveis), sistemas fáceis de serem desmontados e reutilizados, normalização e modularidade dos componentes, instrumentos mais otimizados para um melhor prognóstico da vida útil dos sistemas e componentes, uma nova logística objetivando um menor ciclo de reciclagem e sistemas de informação sobre os produtos via internet (*on-line*).

## Aspectos sociais e legais

A responsabilidade social e o respeito aos valores éticos, às pessoas e à comunidade tornaram-se fundamentais para a estratégia das empresas que objetivam o sucesso em escala global. A norma SA 8000, baseada na ISO 9001 e na ISO 14001, é uma norma social que tem por objetivo melhorar as condições de trabalho em escala mundial. Essa norma auditável está focada nas questões relacionadas ao trabalho infantil e escravo, ao trabalho forçado, às condições de segurança e saúde no trabalho, à liberdade de associação e direito de negociação coletiva, à carga de trabalho e condições de remuneração e à discriminação em geral. As empresas necessitam destacar-se por demonstrar a preocupação com o trabalhador, o estabelecimento de sinergia com a comunidade e com o meio ambiente, a consolidação e a manutenção da imagem e reputação da empresa como cidadã e responsável.

## Aspectos econômicos, de mercado ou comerciais

Os critérios para a seleção de fornecedores com base no mercado incluem o preço e as condições de negociação, as limitações de produto e de mercado, o atendimento e os serviços de assistência técnica, aspectos relacionados ao transporte e às embalagens, e logística (JOBIM et al., 2001).

Conclui-se que a integração das cadeias de suprimentos exige, inicialmente, a reestruturação e consolidação das relações entre fornecedores e clientes, propiciando o fluxo dinâmico das informações e a integração entre clientes e fornecedores. Isso pode caracterizar o primeiro componente na integração das partes ou de toda a cadeia.

Constata-se, ainda, que o gerenciamento das cadeias de suprimentos envolve a estrutura de rede da cadeia, o processo de negócio e o gerenciamento dos seus componentes, que são inter-relacionados.

A estrutura das atividades/processos entre e através das empresas é vital para a criação de competitividade e eficiência superiores e requer a integração dos processos de negócios entre os membros-chave da cadeia de suprimentos.

É imprescindível para o gerenciamento da cadeia a coordenação das atividades através da empresa foco, integrando as demais empresas da cadeia.

Finalmente, o objetivo do gerenciamento da cadeia de suprimentos deve ser visto como uma forma de criar valor para a empresa, não apenas para a empresa, mas ao longo de toda a rede da cadeia de suprimentos, incluindo o cliente final.

Os quadros a seguir apresentam um exemplo de proposta de itens e a respectiva pontuação na avaliação e seleção de fornecedores de cerâmica esmaltada para revestimento de piso e parede, proposta esta discutida em conjunto com todos os intervenientes da cadeia desses materiais, durante um workshop.

<b>1. Avaliação técnica (25% do total de pontos)</b>	
<b>1.1 Estágio atual de implantação do Sistema da Qualidade - ISO 9001:2000</b>	<b>Pontuação</b>
· Empresa fornecedora em processo de certificação segundo os requisitos da norma NBR ISO 9001	5,0
· Empresa fornecedora certificada segundo os requisitos da norma NBR ISO 9001	10,0
<b>1.2 Estágio atual de implantação do processo de certificação de produto</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora encaminhou solicitação de certificação ao INMETRO/CCB	2,5
· O organismo certificador analisou o processo	5,0
· Produto certificado pelo INMETRO/CCB	10,0
<b>1.3 Estágio atual de implantação de Programa Setorial da Qualidade - PBQP-H</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora está em período de credenciamento no âmbito do PSQ	2,5
· A empresa fornecedora está credenciada no âmbito do PSQ	5,0
· A empresa fornecedora participa do PSQ e apresenta produtos não-conformes às normas técnicas	7,5
· A empresa fornecedora participa do PSQ e apresenta produtos conformes às normas técnicas	10,0
<b>1.4 Estágio atual de controle tecnológico</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora oferece controle tecnológico associado ao produto, em laboratório não credenciado pelo INMETRO	5,0
· A empresa fornecedora oferece controle tecnológico em laboratório credenciado pelo INMETRO	10,0
<b>1.5 Estágio atual de parceria tecnológica</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora já desenvolveu parceria tecnológica com universidades e centros de pesquisas	5,0
· A empresa fornecedora possui atualmente uma parceria ativa com universidades ou centros de pesquisas	10,0
<b>1.6 Centro de pesquisa e desenvolvimento</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui departamento específico para projeto e desenvolvimento de produtos com profissionais (nível: 3º grau) trabalhando no setor	5,0
· A empresa fornecedora possui laboratório interno para validação de produtos e/ou processos	10,0
<b>1.7 Marcas e patentes</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora comprova o registro de patentes de produtos e processos, ou comprova o pagamento de direitos autorais de patentes registradas no Brasil	10,0

1.8 Modularidade	Pontuação
· A empresa fornecedora adota um módulo padrão próprio no projeto e fabricação dos produtos	5,0
· A empresa fornecedora adota um módulo padrão nacional no projeto e fabricação dos produtos	10,0
1.9 Estágio atual de atendimento às normas técnicas	Pontuação
· A empresa fornecedora atende a 100% das normas listadas a seguir	10,0
Relação das Normas Vigentes	

Quadro 5 – Avaliação técnica e respectiva pontuação

<b>2. Avaliação ambiental (25% do total de pontos)</b>	
<b>2.1 Estágio atual de implantação do Sistema de Gestão Ambiental - NBR ISO 14001</b>	<b>Pontuação</b>
· Empresa fornecedora em processo de certificação segundo os requisitos da NBR ISO 14001	5,0
· Empresa fornecedora certificada segundo os requisitos da NBR ISO 14001	10,0
<b>2.2 Estágio atual do programa de diminuição da quantidade de matérias-primas renováveis</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para diminuição de matérias-primas renováveis	2,00
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para diminuição de matérias-primas renováveis	5,0
· A empresa fornecedora possui indicadores da diminuição de matérias-primas renováveis	10,0
<b>2.3 Estágio atual do programa de diminuição da quantidade de matérias-primas não renováveis</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para diminuição de matérias-primas não-renováveis	2,00
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para diminuição de matérias-primas não-renováveis	5,0
· A empresa fornecedora possui indicadores da diminuição de matérias-primas não-renováveis	10,0
<b>2.4 Estágio atual do programa de controle da emissão de substâncias tóxicas para a população, flora e fauna</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para diminuição de emissão de substâncias tóxicas para a população, flora e fauna	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para diminuição de emissão de substâncias tóxicas para a população, flora e fauna	5,0
· A empresa fornecedora possui indicadores da diminuição de emissão de substâncias tóxicas para a população, flora e fauna	10,0
<b>2.5 Estágio atual do programa de tratamento de resíduos de matérias-primas</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para tratamento dos resíduos de matérias-primas	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para tratamento dos resíduos de matérias-primas	5,0
<b>2.6 Estágio atual do programa de tratamento de resíduos finais</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para tratamento dos resíduos finais	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para tratamento dos resíduos finais	5,0
<b>2.7 Estágio atual do programa de tratamento de resíduos químicos</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para tratamento dos resíduos químicos	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para tratamento dos resíduos químicos	5,0

<b>2.8 Estágio atual do programa de diminuição de consumo de energia não renovável</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado para diminuição de consumo de energia	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado para diminuição de consumo de energia	5,0
· A empresa fornecedora possui indicadores de diminuição de consumo de energia não renovável	10,0
<b>2.9 Estágio atual do programa de controle da qualidade ambiental - ruído</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado de controle do ruído no ambiente	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado de controle do ruído no ambiente	5,0
<b>2.10 Estágio atual do programa de controle da qualidade ambiental - dano ao ecossistema/paisagem</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui programa não formalizado de avaliação do dano ao ecossistema/paisagem	2,5
· A empresa fornecedora possui programa formalizado de avaliação do dano ao ecossistema/paisagem	5,0
<b>2.11 Estágio atual do programa de controle da qualidade ambiental - vida útil</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui controle não formalizado da vida útil do produto	2,5
· A empresa fornecedora possui controle formalizado da vida útil do produto	5,0
<b>2.12 Estágio atual do programa de controle da qualidade ambiental - embalagens</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora acompanha o destino das embalagens do produto pós-uso	2,5
· A empresa fornecedora exige predeterminação do destino das embalagens pós-uso	5,0
· A empresa fornecedora utiliza embalagem retornável sem a geração de resíduos	7,5
· A empresa fornecedora utiliza embalagem retornável, sem a geração de resíduos e certificada pelo cliente para ser utilizada para armazenagem no processo produtivo	10,0

Quadro 6 – Avaliação ambiental e respectiva pontuação

<b>3. Avaliação mercadológica (25% do total de pontos)</b>	
<b>3.1 Competitividade</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui sistemática, com indicadores, para identificar o seu posicionamento e da concorrência no mercado	10,0
<b>3.2 Relações com o mercado</b>	<b>Pontuação</b>
· O fornecedor realiza com frequência no mínimo anual pesquisa de satisfação junto aos clientes, com indicadores	5,0
· A empresa fornecedora possui sistemática para levantamento e solução de reclamações, com indicadores	10,0
<b>3.3 Eficiência de entrega - pontualidade</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui indicador de eficiência de entrega dos pedidos - pontualidade de entrega na obra	3,0
· O indicador de pontualidade na entrega tem um valor acumulado entre 50% e 90% nos últimos 12 meses	5,0
· O indicador de pontualidade na entrega tem um valor acumulado superior a 90% nos últimos 12 meses	10,0
<b>3.4 Controle de quantidade e características do produto entregue</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui indicador de controle de quantidade e características de pedidos	2,5
· A empresa fornecedora tem no mínimo 90% dos pedidos dentro do intervalo de tempo acordado entre as partes em 12 meses	5,0
· A empresa fornecedora tem 100% dos pedidos dentro do intervalo de tempo acordado entre as partes em 12 meses	7,5
· A empresa fornecedora possui controle, com indicadores, dos produtos avariados na entrega	10,0
<b>3.5 Assistência técnica/atendimento ao cliente</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui um departamento específico para atendimento ao cliente	5,0
· A empresa fornecedora possui indicadores de eficiência no atendimento ao cliente	5,0
· A empresa fornecedora possui departamento específico para atendimento ao cliente e indicadores de eficiência no atendimento	10,0
<b>3.6 Identificação do produto e do fabricante</b>	<b>Pontuação</b>
· Há identificação do fabricante gravada no produto	2,5
· Há identificação das características e uso do produto na embalagem	5,0
· A empresa fornecedora fornece manual de procedimentos para uso do produto	7,5
<b>3.7 Pesquisa de mercado</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa realiza pesquisa de mercado antes do lançamento de um novo produto	5,0

<b>3.8 Sistemas - complementos de acabamento</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora produz até 5 tipos de complementos de acabamento, sob encomenda, para compor o sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	2,5
· A empresa fornecedora possui no seu catálogo de produtos até 5 tipos de complementos de acabamento para compor o sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	5,0
· A empresa fornecedora produz mais de 5 tipos de complementos de acabamento, sob encomenda, para compor o sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	7,5
· A empresa fornecedora possui no seu catálogo de produtos mais de 5 tipos de complementos de acabamento para compor o sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	10,0
<b>3.9 Sistemas - fornecedores</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora especifica materiais componentes do sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	5,0
· A empresa fornecedora fornece materiais componentes do sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	10,0
· A empresa fornecedora especifica equipamentos utilizados na execução do sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	5,0
· A empresa fornecedora fornece equipamentos utilizados na execução do sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	10,0
· A empresa fornecedora indica mão-de-obra treinada para a execução do sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	5,0
· A empresa fornecedora oferece treinamento para equipes na obra	7,5
· A empresa fornecedora fornece mão-de-obra treinada para a execução do sistema de revestimento de piso e parede com placas cerâmicas	10,0
<b>3.10 Projeto</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora indica profissional para elaborar projeto de revestimento cerâmico	5,0
· A empresa fornecedora fornece projeto de revestimento cerâmico	10,0

Quadro 7 – Avaliação mercadológica e respectiva pontuação

<b>4. Avaliação social e legal (25% do total de pontos)</b>	
<b>4.1 Estágio atual de implantação do Sistema de Gestão da Responsabilidade Social - SA 8000/1997</b>	<b>Pontuação</b>
· Empresa fornecedora em processo de certificação segundo os requisitos da SA 8000	5,0
· Empresa fornecedora certificada segundo os requisitos da SA 8000	10,0
<b>4.2 Treinamento</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui indicador de horas de treinamento por funcionário por ano	8,0
· A empresa fornecedora tem indicadores de treinamento com tendências positivas em um período de 24 meses	10,0
<b>4.3 Qualificação de pessoal</b>	<b>Pontuação</b>
· A empresa fornecedora possui indicador estratificado da escolaridade de seus colaboradores (1º, 2º e 3º grau)	3,0
· O indicador existente mostra claramente o status atual e se a evolução é positiva	5,0
· A empresa fornecedora possui programa estruturado de incentivo à educação	10,0
<b>4.4 Reconhecimento/premiação</b>	<b>Pontuação</b>
· O fornecedor recebeu prêmio estadual reconhecido oficialmente	6,0
· O fornecedor recebeu prêmio nacional reconhecido oficialmente	10,0

Quadro 8 – Avaliação social e legal e respectiva pontuação

O trabalho realizado apresentou uma proposta de critérios para seleção e avaliação de fornecedores de materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H. A proposta foi desenvolvida através de discussões realizadas com membros das cadeias de suprimentos, tendo referencial teórico embasado nos resultados de pesquisa realizada junto a construtoras incorporadoras, assim como análises de critérios adotados por outros setores industriais. Conclui-se que a integração das cadeias de suprimentos exige, inicialmente, a reestruturação e consolidação das relações entre fornecedores e clientes, propiciando o fluxo dinâmico das informações e a integração entre clientes e fornecedores. Isso pode caracterizar o primeiro componente na integração das partes ou de toda a cadeia. Constata-se, ainda, que o gerenciamento das cadeias de suprimentos envolve a estrutura de rede da cadeia, o processo de negócio e o gerenciamento dos seus componentes, que são inter-relacionados.

Por fim, existe continuidade para a proposta aqui exposta, através do projeto GESTHAB, desenvolvido em rede com sete instituições de ensino do país. No presente momento, várias regiões já possuem indicadores para distintos fornecedores, além de um cadastro atualizado de fornecedores. Pretende-se, até o final do projeto, divulgar os indicadores dos fornecedores de materiais e componentes da cesta básica do PBQP-H.

## Referências bibliográficas

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BANZATO, J. M. A produção enxuta e a logística. **Revista Qualidade**, Banas, São Paulo, p. 58-60, jul. 2000.

BOVET, D.; MARTHA, J. **Redes de valor**. São Paulo: Negócio, 2001.

CHARTER, M.; KIELKIEWICZ, A.; YOUNG, A.; HUGHES, A. **Supply chain strategy and evaluation**. Austrália: The Sigma Project, 2001. Paper.

CHRISTOPHER, M. **Logistics and supply chain management: strategies for reducing cost and improving service**. London: Financial Times Professional Limited, 1992.

CIB – **Agenda 21 para a construção sustentável**. Relatório. Publicação 237. São Paulo, 2000.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. Disponível em: <<http://www.clm1.org>>. Acesso em: 10 jul. 2002.

HAGUENAUER, L.; BAHIA, L. D.; FURTADO, P. A evolução das cadeias produtivas brasileiras na década de 90. **Boletim de Política Industrial**, n. 11, ago. 2000.

IGEA – Instituto Gaúcho de Estudos Automotivos. **Perfil do fornecedor da indústria automotiva**. Relatório. Porto Alegre: FIERGS, 2000.

JOBIM, M. S. S.; JOBIM, H. **Principais problemas enfrentados pelas empresas de construção com relação à qualidade dos materiais e componentes**. Relatório. Centro de Tecnologia, UFSM/FIERGS, 2001.

JOBIM, M. S. S.; JOBIM, H. Proposta de integração das cadeias de suprimentos da indústria da construção civil. In: SIBRAGEQ, 2. **Anais...** Fortaleza, CE, 2001.

LAMBERT, M.; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, New York, n. 29, p. 65-83, 2000.

LONDON, K.; KENLEY, R. **Clients role in construction supply chains: a theoretical discussion.** Austrália, 2000. Paper.

LONDON, K.; KENLEY, R.; AGAPIOU, A. **Theoretical supply chain network modeling in the building industry.** Supply Chain Network Modelling, Austrália, 2000. Paper.

LOPES, L. S. F. **Como tornar sua empresa competitiva e globalizada.** São Paulo: Makron Books, 2000.

MARTINS, P. G.; ALT, P. R. C. **Administração de materiais e recursos patrimoniais.** São Paulo: Saraiva, 2001.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Disponível em: <<http://mdic.org.gov>>. Acesso em: 2 mar. 2002.

PIRES, S. R. I. Gestão da cadeia de suprimentos e o modelo de consórcio modular. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 5-15, jul./set. 1998.

PORTER, M. **Vantagem competitiva.** Rio de Janeiro: Campus, 1989.

RODRIGUES, S. A.; PIRES, S. R. I. Gestão da cadeia de suprimentos como um novo modelo competitivo: um estudo empírico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., ENEGEP. **Anais...** Gramado, RS, 1997.

ROSSO, T. **Racionalização da construção.** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, 1980.

SOUZA, R. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras.** São Paulo: PINI, 1996.

SOUZA, R.; SILVA, M. A. C. **Estudo da competitividade da indústria brasileira**: competitividade do complexo de materiais de construção. Nota técnica. IE/ UNICAMP - IEI/UFRJ - FDC - FUNCEX. Campinas, 1993.

VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. The four roles of supply chain management in construction. **European Journal of Purchasing e Supply Management**, 1999.

YOUNG, C. E. F.; LUSTOSA, M. C. Poluição do ar, emprego e produção: a indústria de transformação brasileira. In: CONGRESSO DE ECONOMISTAS DA AMÉRICA E CARIBE, 7., CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMISTAS, 12. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999.



# COLETÂNEA HABITARE

278

# 9.

## Projetos HABITARE/FINEP, equipes e currículos dos participantes

### 9.1 Editores

**F**ernando Oscar Ruttkay Pereira é Engenheiro Civil (1979) e Mestre em Engenharia (1984) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Menção Honrosa no Prêmio Jovem Cientista - 1982, CNPq - “Conservação de Energia”. Obteve seu doutorado em 1992 na School of Architectural Studies, University of Sheffield, Inglaterra. É Professor Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É pesquisador do CNPq e consultor *ad-hoc* do CNPq, CAPES e FAPEAL. Atualmente é Diretor do PLEA - Passive and Low Energy Architecture Association (2002-2008), Membro da IESNA - Illuminating Engineering Society of North America e Supervisor do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon/ARQ). Atua nas áreas de Insolação e Iluminação no Ambiente Urbano, Sistemas Inovativos de Iluminação Natural, Eficiência Energética do Ambiente Construído e Ensino de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Escolas de Arquitetura.

E-mail: feco@arq.ufsc.br

**M**iguel Aloysio Sattler é Engenheiro Civil (1974) e Agrônomo (1978) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Doutor pela School of Architectural Studies, University of Sheffield, Inglaterra.

ra (1987) com Pós-Doutorado na University of Liverpool, Inglaterra (1994). Foi Técnico, Coordenador de Departamento e de Programas de Pesquisa e Superintendente de Fomento Tecnológico da Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, no período de 1980 a 1996. Foi Presidente da ANTAC entre 1991 e 1993 e entre 1998 e 2000, e atualmente coordena o GT em Desenvolvimento Sustentável. É Pesquisador do CNPq e atua como Consultor *ad-hoc* do CNPq, CAPES e FAPESP; Diretor do PLEA - Passive and Low Energy Architecture Association e membro do Expert Team on Urban Climatology da WMO. Desde 1988 atua no NORIE/UFRGS, sendo Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Civil desde 1995. Atua nas áreas de Construções Sustentáveis, Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, Gestão Ambiental Urbana e Climatologia.

E-mail: [sattler@ufrgs.br](mailto:sattler@ufrgs.br)

---

## 9.2 Estruturação de rede nacional de estações de envelhecimento natural para estudos da durabilidade de materiais e componentes de construção civil – EENATURAL

(artigo: Durabilidade de componentes da construção)

### Instituição Executora

Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Construção Civil (PCC)

Av. Professor Almeida Prado, Travessa 2, nº 83

05508-900 - São Paulo – SP

Tel: (11) 3818-5550 / 3091 -5248 / 3812- 2650

Fax: (11) 38185714

E-mail: [vmjohn@pcc.usp.br](mailto:vmjohn@pcc.usp.br)

### Coordenador

**Vanderley Moacyr John**

## Equipe técnica

Eng. Antonio Roldofo Jr., M.Eng. - Braskem  
Prof. Dr. Alcebiádes Negrão Macedo - UFPA  
Prof. Dr. André Tavares da Cunha Guimarães - FURG  
Prof. Dr. Vanderley M. John – Poli USP  
Prof. Dr. Holmer Savastano Jr – FZEA USP  
Profa. Dra. Neide Matiko Nakata Sato – Uninove  
Eng. Flávio Leal Maranhão, M.Eng. - Poli USP  
Profa. Dra. Kai Loh Uemoto – Poli USP

## Parceiros Institucionais

BRASKEM  
Universidade Federal do Pará  
Fundação Universidade de Rio Grande  
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Eng. de Alimentos

## Currículos

**Vanderley M. John** é engenheiro civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (1982). Mestre em Engenharia Civil (1987) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. É doutor em Engenharia (1995) e livre-docente (2000) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Fez pós-doutorado no Royal Institute of Technology na Suécia (2000-2001). É professor associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Diretor do CB 02 da ABNT desde 1995, representa esta organização no conselho técnico do PBQP-H. Participou diversas vezes da diretoria executiva da ANTAC, tendo sido seu presidente entre 1993 e 1995. Foi pesquisador do IPT no período de 1988 a 1995 e professor da UNISINOS (1986-1988). Atua nas áreas de Ciência de Materiais para Construção e Infra-estrutura, com ênfase em Reciclagem de Resíduos e Aspectos Ambientais.

E-mail: john@poli.usp.br

**André Tavares da Cunha Guimarães** é engenheiro civil (1980) e mestre em Engenharia Oceânica (1997) pela Fundação Universidade Federal do rio Grande (FURG). Obteve título de doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) em 2000. Professor adjunto do Departamento de Materiais e construção da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Atualmente é responsável pelo Laboratório de Construção Civil e pelo Laboratório de Química dos Materiais. Atua na área de durabilidade dos materiais com ênfase em durabilidade do concreto armado em ambiente marítimo e em patologia de estruturas de concreto.

---

### **9.3 Impacto ambiental das tintas imobiliárias - AMP (artigo: Impacto ambiental das tintas imobiliárias)**

#### **Instituições executoras**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP  
Departamento de Engenharia de Construção Civil  
Caixa Postal 61548  
05424-970 - São Paulo-SP

#### **Coordenador geral**

**Vahan Agopyan**

#### **Coordenação técnica**

Kai Loh Uemoto

#### **Instituição executora**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Construção Civil  
Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, nº 380  
05508-900 - São Paulo - SP

## Instituição conveniada

Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas - ABRAFATI

Dilson Ferreira

## Equipe técnica

**Subprojeto 1:** Diagnóstico dos teores de VOCs e de pigmentos anticorrosivos de sistemas de pintura do mercado

Diagnóstico dos teores de VOC de tintas do mercado

Pigmentos anticorrosivos de sistemas de pintura do mercado

Kai Loh Uemoto

Paula Ikematsu

**Subprojeto 2:** Lixiviação de biocida em tinta de base aquosa e sua relação com o crescimento de microrganismos

Márcia Shirakawa

Vanderley Moacyr John

Christine C. Gaylarde

Walderez Gambale

## Apoio administrativo

Engracia Maria Bartuciotti - EPUSP

Daniela Nunes Frontelli - FUSP

Pedro Ono - FUSP

## Currículos da equipe

**Vahan Agopyan** é engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1974); Mestre em Engenharia Urbana e de Construções Cíveis pela EPUSP em 1979; PhD (Civil Engineering) pelo King's College da Universidade de Londres em 1982; Professor Titular de Materiais de Construção Civil da EPUSP, onde foi Diretor de 2002-2006; Presidente do Conselho Superior do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Foi Presidente do Instituto de Eletrotécnica

e Energia da USP (IEE/USP) no período de 2002-2006. Membro dos conselhos superiores da CAPES/MEC, da FAPESP e do IMT. Foi membro do Conselho Superior e Vice-Presidente do CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Atualmente é Diretor-Presidente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Atua em desenvolvimento e aprimoramento de materiais e componentes de construção bem como na aplicação do conceito de sustentabilidade da construção civil.

E-mail: vahan.agopyan@poli.usp.br

**Kai Loh Uemoto** é bacharel em química pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (1972); Mestre e Doutora em Engenharia de Construção Civil, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), respectivamente 1992 e 1998; Professora convidada do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) desde 2000; Química Pesquisadora do Agrupamento de Materiais de Construção Civil da Divisão de Engenharia Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT) entre julho de 1973 e maio de 1995; Coordenadora da Comissão de Estudo de Tintas para a Construção Civil de 1990 até hoje. Atua na área de desempenho e durabilidade de materiais de construção, com ênfase em tintas. É autora de dois livros e artigos em congressos nacionais e internacionais na área de sustentabilidade.

E-mail: kai.uemoto@poli.usp.br

**Dílson Ferreira** é administrador de empresas e advogado, ocupa a Presidência Executiva da ABRAFATI - Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas - desde 1999. Antes de assumir o posto, Ferreira acumulou 33 anos de experiência no setor químico e de tintas e vernizes. No comando da ABRAFATI, teve várias iniciativas importantes tais como: Campanha contra Sonegação Fiscal e Falsificação de Tintas; código de ética nas relações comerciais e institucionais; crescimento significativo no Congresso Internacional de Tintas; Prêmio ABRAFATI - PETROBRAS de Ciências em Tintas. Instituiu o Programa Setorial de Melhoria da Qualidade das

Tintas Imobiliárias e tornou a ABRAFATI referência do setor de tintas junto a importantes órgãos governamentais. Responsável pela implementação do programa Coatings Care na indústria de tintas e representante do Brasil no IPPIC - International Paint and Printing Ink Council.

E-mail: [abrafati@abrafati.com.br](mailto:abrafati@abrafati.com.br)

**Paula Ikematsu** é tecnóloga em Construção Civil pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC (2004). Atualmente é mestranda na Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil. Iniciação científica no projeto “Impacto ambiental das tintas imobiliárias”. Atua na área de Materiais de Construção, com ênfase em tintas.

E-mail: [paula.ikematsu@poli.usp.br](mailto:paula.ikematsu@poli.usp.br)

**Márcia Aiko Shirakawa** é farmacêutica pela FCF da Universidade de São Paulo (1985), Mestre pelo IPEN da Universidade de São Paulo, em 1994, Doutora pelo ICB - Universidade de São Paulo (1999). Fez Pós-Doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) em 2002. Foi Professora da Universidade Federal do Pará de 2003 a 2005. Foi membro do Comitê Técnico Microbial Impact on Building Materials da RILEM. Atua na área de biodeterioração de materiais de construção, publicou diversos artigos em periódicos internacionais e apresentou diversos trabalhos em congressos nacionais e internacionais na área de Biodeterioração.

E-mail: [shirakaw@usp.br](mailto:shirakaw@usp.br)

**Vanderley M. John** é engenheiro civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (1982). Mestre em Engenharia Civil (1987) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. É doutor em Engenharia (1995) e livre-docente (2000) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Fez pós-doutorado no Royal Institute of Technology na Suécia (2000-2001). É professor associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Diretor do CB 02 da ABNT desde 1995, representa esta organiza-

ção no conselho técnico do PBQP-H. Participou diversas vezes da diretoria executiva da ANTAC, tendo sido seu presidente entre 1993 e 1995. Foi pesquisador do IPT no período de 1988 a 1995 e professor da UNISINOS (1986-1988). Atua nas áreas de Ciência de Materiais para Construção e Infra-estrutura, com ênfase em Reciclagem de Resíduos e Aspectos Ambientais.

E-mail: john@poli.usp.br

**Christine C. Gaylarde** é bacteriologista pela University of Liverpool (1965) doutora em Ciências Biológicas pela UFRGS em 1997. Lecionou na City of London Polytechnic, UK de 1970 a 1990 e na UFRGS de 1990 a 2003. Foi membro e secretária do Comitê Técnico Microbial Impacts on Building Material da RILEM de 2000 a 2004 e coordenadora da seção de Biodegradação e Biodeterioração na Sociedade Brasileira de Microbiologia de 1994 a 2005. Representou o Brasil na Preservar e Biocorr do CYTED de 1996 a 2004. A pesquisadora possui 60 artigos em congressos internacionais e 91 artigos publicados em periódicos indexados pela ISI, os quais foram citados em quase 300 artigos indexados. É co-autora do livro *Introduction to Biodeterioration* publicado pela Cambridge University Press em 2004. Suas pesquisas atuais incluem biofilmes, biodeterioração de edifícios modernos e históricos, e desenvolvimento de métodos moleculares para a detecção de microrganismos em biofilmes.

E-mail: cgaylarde@yahoo.com

**Walderez Gambale** é graduado em Ciências Biológicas, modalidade médica, pela UNESP, Botucatu, 1971; Mestre em Microbiologia e Imunologia, ICBUSP, 1976; Doutor em Microbiologia e Imunologia, ICBUSP, 1980; Professor do Dep. de Microbiologia ICBUSP - 1974-2004; Professor Visitante do Dep. de Microbiologia ICBUSP de 2004 até presente data; Professor do Dep. de Morfologia e Patologia Básica da Faculdade de Medicina de Jundiaí de 2004 até presente data; Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Microbiologia - Dep. de Microbiologia ICBUSP (1990 a 1992 e 1997 a 1999); Chefe do Dep. de Microbiologia ICBUSP - 1997 a 2001; Diretor Científico da Revista de Microbiologia de 1988 a 1990; Assessor ad

hoc FAPESP, CNPq, CAPES, FINEP e de revistas científicas nacionais e internacionais. É autor de capítulos de livros, publicações em periódicos indexados e congressos nacionais e internacionais.

E-mail: [vgambale@usp.br](mailto:vgambale@usp.br)

**Roberta Gonçalves Tavares** é química industrial pelas Faculdades Oswaldo Cruz, São Paulo, 2000; Colaboradora do grupo BASF desde 1996; Química do Laboratório de Microbiologia da BASF Tintas e Vernizes, de 2001 a 2005; Supervisora Laboratório de Microbiologia e Desenvolvimento Aplicado da BASF Divisão Tintas e Vernizes, desde 2005; Membro e secretária do grupo que elabora as normas para ABNT/CB02- Comitê Brasileiro de Construção Civil, no grupo de microbiologia.

E-mail: [roberta.tavares@basf-sa.com.br](mailto:roberta.tavares@basf-sa.com.br)

---

#### 9.4. Análise do ciclo de vida de produtos (revestimentos, blocos e telhas) do setor cerâmico da indústria da construção civil (artigo: A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil)

##### Instituição Executora

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

Tel.: (48) 3331-7567

E-mail: [soares@ens.ufsc.br](mailto:soares@ens.ufsc.br)

287

##### Coordenador geral

**Sebastião Roberto Soares**

##### Pesquisadoras

Danielle Maia de Souza – Doutoranda - UFSC

Sibeli Warmling Pereira – Mestre - UFSC

## Currículo

**Sebastião Roberto Soares** é engenheiro sanitarista e ambiental (1985) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e mestre (1991) e doutor (1994) pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA DE LYON), na França. Realizou pós-doutoramento (2004) na École Polytechnique de Montreal, EPM, no Canadá. É professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC desde 1998 e um dos membros fundadores da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), criada em 2002. Atua nas áreas de Resíduos Sólidos e Gestão Ambiental.

E-mail: soares@ens.ufsc.br

---

## 9.5. Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida

### Instituição Executora

Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo  
Departamento de Arquitetura e Construção  
Av. Albert Einstein – Cidade Universitária Zeferino Vaz  
13083-970 - Campinas - SP  
Tel: (19) 3788 2300 / 3239 4823 e Fax: (19) 3788 2411  
E-mail: doris@fec.unicamp.br

288

### Coordenadora geral

**Doris C. C. K. Kowaltowski**

### Equipe científica

Lucila C. Labaki

Silvia A. Mikami G. Pina  
Vanessa Gomes da Silva  
Daniel de Carvalho Moreira  
Regina C. Ruschel,  
Stelamaris Rolla Bertoli  
Edison Fávero  
Lauro L. Francisco Filho

## Currículo

**Doris C. C. K. Kowaltowski** é arquiteta, com honra, pela University of Melbourne, na Austrália (1969). Mestre em arquitetura (1970) e Ph.D. em arquitetura (1980), ambos pela University of California, Berkeley, nos Estados Unidos. É Livre-Docente pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (1997), onde leciona desde 1989 no Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

E.mail: [doris@fec.unicamp.br](mailto:doris@fec.unicamp.br)

---

## 9.6. Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização

### Instituição Executora

Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Construção Civil (PCC)  
Av. Professor Almeida Prado, Travessa 2, nº 83  
05508-900 - São Paulo – SP  
Tel: (11) 3818-5550 / 3091-5248 / 3812-2650  
Fax: (11) 3818-5714  
E-mail: [vmjohn@pcc.usp.br](mailto:vmjohn@pcc.usp.br)

## Coordenador geral

**Vanderley M. John**

## Equipe técnica

Prof. Dr. Antonio Domingues de Figueiredo – PCC/USP

Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves – PMI/USP

Carina Ulsen (bolsista de IC) – PMI/USP

Engracia Bartuciotti – PCC/USP

Prof. Dr. Henrique Kahn – PMI/USP

Hilton Mariano (estagiário) – PCC/USP

Ivie F. Pietra (M.Eng.) – PCC/USP

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Alba Cincotto – PCC/USP

Paula Ciminelli Ramalho (bolsista de IC) – PCC/USP

Priscila Meireles Carrijo (M. Eng.) – PCC/USP

Raquel Massami Silva (bolsista de IC) – PCC/USP

Sérgio C. Ângulo (Dr. Eng.) – PCC/USP

Prof. Dr. Vanderley M. John – PCC/USP

## Parceiros Institucionais

Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo -  
SINDUSCON-SP

Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento - CNPq

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP

## Currículo

**Vanderley M. John** é engenheiro civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS (1982). Mestre em Engenharia Civil (1987) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. É doutor em Engenharia (1995) e livre-docente (2000) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Fez pós-doutorado

no Royal Institute of Technology na Suécia (2000-2001). É professor associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. Diretor do CB 02 da ABNT desde 1995, representa esta organização no conselho técnico do PBQP-H. Participou diversas vezes da diretoria executiva da ANTAC, tendo sido seu presidente entre 1993 e 1995. Foi pesquisador do IPT no período de 1988 a 1995 e professor da UNISINOS (1986-1988). Atua nas áreas de Ciência de Materiais para Construção e Infra-estrutura, com ênfase em Reciclagem de Resíduos e Aspectos Ambientais.

E-mail: john@poli.usp.br

---

## **9.7. Gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social: modelo integrado de desenvolvimento de produto e gestão da produção para redução de perdas – GEHIS**

(artigo: Gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social: foco na gestão de requisitos do cliente e no projeto do sistema de produção)

### **Instituição Executora**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – NORIE

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Av. Osvaldo Aranha, n° 99 – 3° andar – Centro

90035-190 - Porto Alegre - RS

Tel: (51) 3316-3518 / 3316-3353

Fax: (51) 3316-4054

E-mail: formoso@vortex.ufrgs.br

### **Coordenador geral**

**Carlos Torres Formoso**

## Núcleos

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Universidade Federal do Ceará – UFC

Universidade Estadual de Londrina – UEL

Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE

## Coordenadores de núcleos

Prof. Carlos Torres Formoso – UFRGS

Prof. Tamara Villagra Avellan – UEFS

Prof. José de Paula Barros Neto – UFC

Prof. Ercília Hirota – UEL

Prof. Ricardo Rocha de Oliveira – UNIOESTE

## Equipe técnica

Eng. Alessandra Luize Fontes Sales

Eng. Andrea Parisi Kern

Eng. Cristóvão César Cordeiro Carneiro

Eng. Dayana Bastos Costa

Arq. Fábio Kellermann Schramm

Eng. Fábio Rodrigues Andrade

Arq. Fernanda Lustosa Leite

Eng. Henrique Otto Coelho

Eng. Iamara Bulhões

Eng. Abla Akkari

Arq. Luciana Inês Gomes Miron

Arq. Ricardo Codinhoto

Eng. Renato Martins das Neves

Eng. Tarcísio Abreu Saurin

Eng. Thais da Costa Lago Alves

## Currículo

**Carlos Torres Formoso** é engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (1980), doutor pela University of Salford, Inglaterra (1991), Pós-doutorado pela Universidade da Califórnia (2000), USA. Professor Adjunto da UFRGS desde 1989, atuando nas áreas de Gerenciamento da Construção Civil e Engenharia de Produção. Membro do IGLC – International Group for Lean Construction. Editor da Revista Ambiente Construído. Pesquisador-bolsista Nível 1B do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

E-mail: formoso@ufrgs.br

---

## 9.8. Sistema de avaliação de fornecedores de materiais e componentes na indústria da construção civil – integração das cadeias produtivas

### Instituição Executora

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - PPGEP

CT / PPGEP – SALA 305 – Cidade Universitária – Camobi

97105-900 Santa Maria, RS

Tel: (55) 3220-8619 / Fax: (55) 3220-8619

E-mail: ppgep@ct.ufsm.br

### Instituição co-executora

Universidade Federal de Pelotas - UFPEL

Rua Benjamin Constant,1359 - Centro

Pelotas - RS

## Instituição conveniada

Sindicato da Indústria da Construção Civil De Santa Maria - SINDUSCON-SM  
Rua Dr. Pantaleão, 233 - Centro  
Santa Maria - RS

## Coordenadores

**Alberto Souza Schmidt**

**Helvio Jobim Filho**

**Margaret Souza Schmidt Jobim**

**Sérgio Lund de Azevedo**

## Equipe técnica

Luiz Henrique Ceotto

Valdeci Maciel da Silva

## Currículos

**Alberto Souza Schmidt** é Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1981). É Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1987). É Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1997). Desde de 1991, é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria - RS. É Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSM, além de atuar como pesquisador nas seguintes áreas; Sistemas de Gestão da Qualidade em Serviço Público, Implantação de Sistemas de Gestão e a adoção dos Critérios de Excelência, Sistemas de Gestão em Serviços, Análise de Sistemas de Gestão da Qualidade em micro, pequenas e médias empresas da região central do estado do Rio Grande do Sul, Extensão Empresarial UFSM/SEDAI - RS.

E-mail: [alberto.schmidt@smail.ufsm.br](mailto:alberto.schmidt@smail.ufsm.br)

**Helvio Jobim Filho** é Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS (1971). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (2002). Professor adjunto do Departamento de Estruturas e Construção Civil do Centro de Tecnologia da UFSM desde 1972. Engenheiro especialista da Prefeitura da cidade universitária da UFSM (1971 - 2001). Presidente e fundador do Sindicato da indústria da construção civil de Santa Maria (1995 - 1999). Participou desde 1994 na formação do atual PBQP-H. Diretor do Sistema FIERGS - Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul desde 1999.

E-mail: [jobimh@terra.com.br](mailto:jobimh@terra.com.br)

**Margaret Souza Schmidt Jobim** é Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1976). cursou Especialização em Patologias das Construções (1988) pela UFSM. É Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1997). É Doutoranda em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Desde 1977, é Professora Adjunto do Departamento de Estruturas e Construção Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – RS, além de atuar como pesquisadora nas seguintes áreas: Processos Construtivos, Materiais e Componentes de Construção e Gerenciamento.

E-mail: [mssjobim@terra.com.br](mailto:mssjobim@terra.com.br)

**Sérgio Lund de Azevedo** é Engenheiro Civil pela Universidade Católica de Pelotas - UCPEL (1978). É Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1990). É Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1999). Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia da Construção da Faculdade de Arquitetura e Urba-

nismo da Fundação Universidade Federal de Pelotas desde 1987. É Pesquisador nas seguintes áreas; Geotecnia, Fundações, Construção Civil.

E-mail: [slunda@ufpel.tche.br](mailto:slunda@ufpel.tche.br)

**C**onsiderado o setor que mais consome recursos naturais, responsável também por um uso intensivo de energia elétrica, a construção civil gera sérios impactos ambientais. Este volume da Coletânea Habitare reúne resultados de projetos que buscam respostas a alguns dos problemas causados por essa atividade.

São estudos apoiados pelo Edital IV do Programa de Tecnologia de Habitação (Habitare), financiado pela Finep. Lançada em 2000, esta Chamada Pública contemplou as linhas de ação Inovação Tecnológica, Construção e Meio Ambiente e Procedimentos Inovadores em Gestão Habitacional para População de Baixa Renda.

Os projetos foram propostos com o objetivo de desenvolver métodos de avaliação do impacto ambiental dos materiais e das tecnologias destinados à construção civil; de indicar diretrizes de projeto e operação para o uso racional da energia na habitação. Contemplam também estudos direcionados a desenvolver tecnologias de baixo impacto ambiental e elaborar propostas de políticas públicas para incentivar a reciclagem de resíduos e a redução do impacto ambiental.

Os artigos publicados nesta obra mostram desafios e avanços de pesquisas que buscam a melhoria da qualidade do ambiente natural e construído.

ISBN 85-89478-14-9



9 798589 478143



**Fernando Oscar Ruttkay Pereira** é engenheiro civil (1979) e mestre em engenharia (1984) pela UFRG). Obteve seu doutorado em 1992 na School of Architectural Studies, University of Sheffield, Inglaterra. É professor titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e é consultor *ad-hoc* do CNPq, CAPES e FAPEAL. Atualmente é Diretor do PLEA- Passive and Low Energy Architecture Association, Supervisor do LabCon/ARQ da UFSC. E-mail: feco@arq.ufsc.br

**Miguel Aloysio Sattler** é engenheiro civil (1974) e agrônomo (1978) pela UFRGS. Doutor pela School of Architectural Studies, University of Sheffield, Inglaterra (1987) com pós-doutorado na University of Liverpool, Inglaterra (1994). Foi Técnico, Coordenador de Departamento e de Programas de Pesquisa e Superintendente de Fomento Tecnológico do CIENTEC. Foi presidente da ANTAC, e atualmente coordena o GT em Desenvolvimento Sustentável. É pesquisador do CNPq e atua como Consultor *ad-hoc* do CNPq, CAPES e FAPESP. Diretor do PLEA - Passive and Low Energy Architecture Association e membro do Expert Team on Urban Climatology da WMO. Desde 1988 atua no NORIE/UFRGS, sendo Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Civil desde 1995. E-mail sattler@ufrgs.br

# COLETA ANUA

Volumes anteriores

Volume 1: Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social

Volume 2: Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional

Volume 3: Normalização e Certificação na Construção Habitacional

Volume 4: Utilização de Resíduos na Construção Habitacional

Volume 5: Procedimentos de Gestão Habitacional para População de Baixa Renda

Volume 6: Inovação Tecnológica na Construção Habitacional