

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE MATERIAIS
COMPONENTES E EDIFICAÇÕES
- Emprego do Índice de Degradação -

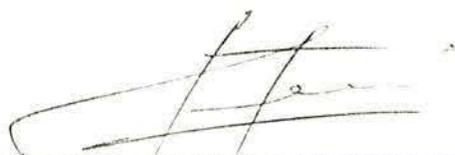
VANDERLEY MOACYR JOHN

Dissertação apresentada ao corpo docente do
curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil pa
ra obtenção do grau de Mestre em Engenharia

Porto Alegre

Junho, 1987

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA** e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo curso de Pós-Graduação.



Prof. José Miguel Aroztegui
Orientador



Prof. José Carlos Ferraz Hennemann
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

- José Miguel Aroztegui (Orientador)
Arquiteto pela Faculdade de Arquitetura de Montevideo
- Luis Fernando Nanni
M.Sc. pela Univ. Princeton
- Paulo Roberto do Lago Helene
M.Sc. pela USP

*À Suzana
e a todos os companheiros
destes tempos.*

Este trabalho contou com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na forma de bolsas de estudos para o autor no período de 83/85.

2. O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO AO ESTUDO DA DURABILIDADE	38
2.1 - <u>O conceito de desempenho</u>	38
2.2 - <u>Metodologia de aplicação do conceito de desempenho</u>	38
2.2.1 - Identificação das exigências do usuário	39
2.2.2 - Identificação dos agentes ambientais relevantes	42
2.2.3 - Definição dos requisitos dos usuários.....	43
2.2.4 - Definição das condições de exposição.....	44
2.2.5 - Determinação de requisitos de desempenho	44
2.2.6 - Determinação de critérios de desempenho...	44
2.3 - <u>Especificidades da aplicação do desempenho na avaliação da durabilidade</u>	46
2.3.1 - Seleção dos indicadores de degradação.....	48
3. METODOLOGIAS PARA A PREVISÃO DA VIDA ÚTIL	51
3.1 - <u>Formas de prever a vida útil</u>	51
3.1.1 - Ensaio de envelhecimento acelerado.....	51
3.1.2 - Ensaio por envelhecimento natural	55
3.1.3 - Levantamento de campo	57
3.2 - <u>Exemplos de metodologias</u>	60
3.2.1 - Metodologia proposta pelo CIB/RILEM 81 PSL	60
3.2.2 - Método desenvolvido pelo Ministério Construção do Japão	62
3.2.2.1 - Estimção da vida útil pelo método do limite do desempenho..	63
3.2.2.2 - Estimção da vida útil pelo método da distribuição acumulada.....	66
4. EMPREGO DO MÉTODO DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DESENVOLVIDO PELO MINISTÉRIO DA CONSTRUÇÃO DO JAPÃO	69
4.1 - <u>Preparo do levantamento</u>	69

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- 1.1 - Funções hipotéticas de desempenho versus tempo..... 10
- 1.2 - Determinação da vida útil através da função
desempenho versus tempo 11
- 1.3 - O conceito de durabilidade dividido em quatro
subsistemas 13
- 1.4 - Perfil de durabilidade 13
- 1.5 - Proporção da radiação ultravioleta na radiação
solar total 22
- 1.6 - Relação entre a intensidade da radiação ultra-
violeta e a radiação solar total 22
- 1.7 - Detalhes das dimensões e geometria de pingadeiras
em fachadas e sua influência no escoamento da água... 30
- 1.8 - Curvas hipotéticas sobre a influência da manutenção
na vida útil..... 32
- 1.9 - Distinção entre manutenção e restauração 33

CAPÍTULO 2

- 2.1 - Esquema de aplicação do conceito de desempenho..... 39
- 2.2 - Influência do desempenho mínimo o aceitável na
determinação da vida útil 46
- 2.3 - Estimação da vida útil pela repetição periódica
de ensaios de desempenho 47
- 2.4 - Seleção dos indicadores de degradação e determi-
nação de sua relação com o desempenho para uma
situação específica 48

CAPÍTULO 3

- 3.1 - Esquema de dispositivo para envelhecimento
acelerado pela exposição às intempéries 55
- 3.2 - Fluxograma da metodologia de desenvolvimento
de ensaios de envelhecimento acelerado propos-
ta pelo CIB/RILEM..... 61
- 3.3 - Linha de degradação típica 65

3.4 - Linhas de degradação de paredes externas com plaquetas	66
3.5 - Curva hipotética de distribuição acumulada.....	68
3.6 - Curvas de distribuição acumulada (a) de acabamentos exteriores em alumínio e (b) impermeabilizações asfálticas.....	68

CAPÍTULO 4

4.1 - Distribuição da área conforme tipo de edifício	72
4.2 - Distribuição de número de edifícios construídos conforme tipo de edifício	73
4.3 - Evolução da área por tipo de edifício construído	74
4.4 - Evolução do número de edifícios construídos conforme tipo, por período.....	74
4.5 - Distribuição dos edifícios amostrados no tempo	75
4.6 - Composição da amostra conforme número de edifícios de cada tipo	76
4.7 - Representação gráfica da determinação da vida útil de valores individuais e valores médios.....	83
4.8 - Janelas de madeira	86
4.9 - Janelas de ferro	87
4.10- Paredes de madeira	87
4.11- Paredes de alvenaria	88
4.12- Pisos assoalhos	88
4.13- Comparação entre duas regressões produzidas a partir de ID de pisos	90
4.14- Fluxograma do sistema de manutenção proposto pelo CPGEC- Construção à SDO	98

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

1.1 - Fatores de degradação	15
1.2 - Agentes que atuam sobre o edifício e suas partes.....	16
1.3 - Coeficientes de dilatação térmica de alguns materiais de construção civil.....	20

CAPÍTULO 2

2.1 - Exigências dos usuários	40
2.2 - Mudanças observáveis	49

CAPÍTULO 3

3.1 - Síntese da origem dos problemas enfrentados na aplicação de ensaios de desempenho	54
3.2 - Resumo das origens dos problemas enfrentados no emprego de ensaios de envelhecimento natural.....	57
3.3 - Escala de degradação	64
3.4 - Frequência acumulada de ID para cinco anos.....	67

CAPÍTULO 4

4.1 - Escolas públicas de Porto Alegre - número de blocos e área construída por período de tempo e tipo de edifício	72
4.2 - Resumo dos parâmetros da amostra	79
4.3 - Resumo das comparações entre médias	81
4.4 - Resumo dos principais resultados da análise estatística realizada com o Programa REGSIMPLES modificado	85

R E S U M O

O tema durabilidade, de estudo recente, é de extrema importância, especialmente no emprego de componentes materiais e edifícios com características novas.

Estimar por quanto tempo, em determinada situação, estes novos produtos atenderão às necessidades dos usuários é a questão fundamental para avaliação de sua competitividade. Os resultados destas análises são também base fundamental na defesa dos consumidores, freqüentemente os únicos prejudicados pela aplicação inescrupulosa destes novos produtos.

Neste trabalho a avaliação da durabilidade é tratada como parte dos processos de avaliação de desempenho. O trabalho contém um breve levantamento bibliográfico que sintetiza o tema (conceituação, fatores e mecanismos de degradação) com destaque para assuntos pouco conhecidos, em especial aos fatores de degradação compreendidos sob o termo "fatores de uso", como desgaste pelo uso, projeto e manutenção...

A quantificação da durabilidade pode ser realizada por três processos básicos: ensaios de envelhecimento acelerados, ensaios de envelhecimento natural e levantamentos de campo. Os levantamentos de campo avaliam a perda do desempenho nas condições reais de uso, considerando inclusive a variabilidade das condições de exposição.

O índice de degradação, obtido através de uma simples avaliação visual dos componentes em estudo, permite mesmo a partir de amostras, a estimação da vida útil de uma população de componentes. Ele pode ser útil na seleção, entre as várias alternativas, da mais econômica, podendo propiciar sensível redução de despesas para organizações que como o Ministério da Construção do Japão (que desenvolveu o método) são responsáveis por grande número de edifícios.

ABSTRACT

Durability as a subject is of recent study and of great importance, especially on the analysis of materials, components and buildings with new characteristics.

To estimate for how long, in specific situations, a new product will satisfy the user needs, is of fundamental importance to evaluate its economical competitiveness. The results of such analyses can also be used for the defense of consumer rights, who are normally the only ones to be hurt by the unscrupulous claims of the manufacturers.

The evaluation of durability is treated in this work as a part of the more general processes of performance evaluation. The work contains a brief bibliographic research that summarizes the subject (conceptualization, factors and mechanisms of degradation...) with emphasis on less known aspects, specially degradation factors identified under the term "use factors", such as wear and tear, project and maintenance...

The quantification of durability can be obtained using with three basic processes: accelerated aging tests, natural aging tests and fields inspections. Field inspections evaluate the loss of performance in real life use conditions, considering, among other things, the variability of conditions of exposition.

The Degradation Index, obtained through a simple visual analysis of components, allows, even using representative samples a estimative of the service life of a population of components. It can be useful in the selection of the most economical alternative, allowing for marked reduction costs as done by for organizations such as the Ministry of Construction of Japan (which developed the method), and who is responsible for a large number of buildings.

INTRODUÇÃO

Os estudos da durabilidade dos materiais e componentes de edificações são bastante recentes. Até o início da década de 70 os problemas de durabilidade estavam associados quase que exclusivamente a monumentos históricos. A ordem era destruir o antigo para dar lugar ao novo.

O início de pesquisas na área pode ser relacionado com o advento da crise econômica mundial, em meados da década de 70: a racionalização de custos, em todos os níveis, tornou-se um imperativo. Para se ter uma idéia da importância econômica do tema, segundo Seeley ³(1982), cerca de 40% da força de trabalho empregada na construção civil na Inglaterra é absorvida em reparos e manutenção - cuja extensão está diretamente ligada a durabilidade dos materiais. No Canadá, segundo Keyser ²(1980), o custo da deterioração de materiais de construção é avaliado em 5 milhões de dólares anuais.

Assim apenas em 1978 seria promovido por uma série de entidades da área, entre elas a ASTM (American Society for Testing and Materials) o primeiro simpósio internacional sobre o tema.

A avaliação da durabilidade tem importância fundamental na seleção de novos materiais. Nestes casos é necessário prever como este novo produto responderá ao uso prolongado, sob a ação de agentes agressivos que variam de local a local, e, inclusive determinar que reações podem decorrer do contato deste material com seus vizinhos na estrutura.

O desinteresse, inclusive com estes fatores, tem levado no Brasil (mas não só) à produção de grande número de edifícios - especialmente habitações de "interesse social" - que após pouco tempo de uso tornam-se quase inúteis. Outras vezes o produto "inovador" exige operações de reparos e manutenção mais frequentes, onerando o usuário.

É também já conhecida a influência que o projeto tem na durabilidade dos componentes e edifícios. Componentes mesmo se construídos de um mesmo material podem apresentar significativas diferenças de durabilidade em função de características de projetos. Alguns detalhes arquitetônicos de edifícios antigos, muitas vezes encarados somente do ponto de vista plástico, quando suprimidos ocasionaram a ocorrência de degradação prematura dos materiais tradicionais. A avaliação destes efeitos pode significar uma economia significativa, especialmente para organismos encarregados de manter, projetar e/ou construir grande número de prédios.

Para cálculos de viabilidade econômica e de seleção da alternativa de menor custo (entre as várias possíveis), os estudos de durabilidade também são importantes. Somente eles podem oferecer as estimativas de vida útil, cuja confiabilidade condiciona a qualidade dos resultados finais deste tipo de análise.

Muito embora já existam ensaios normalizados, devido à complexidade do tema e ao pouco tempo de investigação, enfrenta-se, ainda, muitos problemas. Existem controvérsias inclusive em torno a definição do objeto de pesquisa compreendido sob o tema durabilidade.

Além disso, existem lacunas no entendimento de grande número de processos de degradação, especialmente os relativos aos fatores de uso, e uma quase inexistência de modelos que permitam prever a vida útil de componentes, e até mesmo, comparar resultados de ensaios de durabilidade de um mesmo componente confeccionado com materiais diversos.

Estas dificuldades levaram o CIB (Conseil International du Bâtiment) e o RILEM (Reunion International de Laboratoires d'Essais et Recherches sur les Materiaux et les Constructions) a constituírem a Comissão de Trabalho conjunta CIB W 70/RILEM 71PSL⁹, que produziu em 1983 uma síntese do estado de conhecimento do tema, a nível internacional, e que serve em grande parte de base a este trabalho.

No Brasil os ensaios de durabilidade estiveram até pouco tempo vinculados à indústria de tintas. Porém já em 1979 (Uemoto^{4 5}1985) o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do

Estado de São Paulo S.A. - IPT começou a pesquisar na área. Em 1981 um trabalho contratado pelo extinto Banco Nacional de Habitação - BNH chamado "Avaliação do Desempenho de Habitações térreas Unifamiliares " dedicava um de seus oito volumes ao tema durabilidade.

Os trabalhos do IPT procuram, segundo Uemoto^{4 5}(1985), relacionar os resultados obtidos em ensaios de envelhecimento acelerado e de envelhecimento natural, visando normalização.

No Rio Grande do Sul, a Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC possui campo de exposição de amostra às intempéries, bem como equipamento para envelhecimento acelerado.

Alguns membros do corpo técnico da Secretaria de Desenvolvimento e Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul, em 1985 despertam para o problema de selecionar entre diversas alternativas de componentes e projetos, a mais durável e econômica.

A opção Construção do CPGEC surgiu a partir da experiência do NORIE - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, que na década de 70 desenvolveu para o governo estadual um projeto-tipo racionalizado de escola. Conhecedores desta experiência, os técnicos da SDO apresentaram para o curso este problema (juntamente com outros, como controle de qualidade, metodologia de projeto, planejamento de manutenção, etc.).

Após muitas discussões, ficou claro ser necessário realizar um levantamento geral do tema durabilidade e investigar a existência de técnica de avaliação da durabilidade confiável e compatível com a realidade: a impossibilidade de utilização, pela SDO, de equipamentos complexos e caros. Este trabalho atende a estes dois objetivos básicos.

O primeiro capítulo, procura apresentar o tema, mostrando a partir de uma revisão bibliográfica uma conceituação do tema, a discussão dos vários fatores intervenientes, mantendo basicamente a abordagem proposta pelo CIB/RILEM⁹ (1983). Também discute aspectos controversos na bibliografia. Sempre que a bibliografia permitiu, privilegiou-se os aspectos menos conhecidos da área.

O segundo capítulo trata genericamente da sistemática de avaliação do desempenho de componentes de edifícios, na

qual a avaliação da durabilidade é entendida como parte. A abordagem deste tema se faz necessária pelo seu relativo desconhecimento no Brasil, pela quase inexistência de abordagem metodológica do tema (importante pelo fato da avaliação da durabilidade conter especificidades) e, especialmente, porque muitos estudos de durabilidade não seguem esta abordagem. Tal fato fica evidente no primeiro capítulo.

O terceiro capítulo apresenta um resumo e uma sintética avaliação das formas de estudo de durabilidade hoje empregadas, expondo rapidamente a metodologia proposta pelo CIB/RILEM⁹ (1983), voltada a ensaios acelerados de laboratório -, e a metodologia desenvolvida pelo Ministério da Construção do Japão, (Ishizuka,²² 1983) baseada em levantamento de campo bastante simplificado.

O quarto capítulo descreve a experiência piloto, no Brasil, do emprego de uma das modalidades propostas pelo Ministério da Construção do Japão, ligeiramente adaptada. Para tanto foi realizado levantamento de campo em uma amostra das escolas públicas estaduais de Porto Alegre - cuja manutenção é responsabilidade da SDO. Contém um resumo da análise estatística realizada, uma breve avaliação da validade do método e procura explorar diversas possibilidades de emprego do resultados deste tipo de análise.

Embora tenha atingido aos objetivos de uma maneira geral, o trabalho apresenta limitações de duas ordens.

A primeira concernente a dificuldades na obtenção da bibliografia atualizada.

A segunda está relacionada com o tamanho da amostra estudada. Dificuldades no estabelecimento de um convênio formal de cooperação entre a UFRGS e a SDO limitaram drasticamente as verbas disponíveis para a pesquisa, fazendo com que a amostra tenha sido progressivamente reduzida, o que prejudicou os resultados da análise estatística, e inviabilizou o estudo de números mais significativos de componentes tipo, o que enriqueceria, em muito, o trabalho.

CAPÍTULO 1

DURABILIDADE DE MATERIAIS, COMPONENTES E EDIFICAÇÕES
- UMA VISÃO GERAL -

CAPÍTULO 1 - DURABILIDADE DE MATERIAIS COMPONENTES E EDIFICAÇÕES UMA VISÃO GERAL

Neste capítulo será apresentada uma síntese do estado de conhecimento sobre durabilidade dos materiais, componentes e edificações, os conceitos empregados, além de uma descrição dos principais agentes que a afetam.

Ao final, a título de exemplo, será feita uma breve descrição da ação de alguns agentes sobre madeiras e concretos, dois dos materiais com larga utilização na construção civil de hoje.

1.1 - Generalidades

Todo e qualquer material, ao interagir com o meio ambiente, sofre transformações, como parte do ecociclo. Com os materiais empregados na construção civil não é diferente. Sempre que estas transformações forem irreversíveis e implicarem na perda de qualidade ou valor, estamos diante de um processo de **degradação**. Portanto, nem todas as transformações são importantes do ponto de vista do nosso estudo.

Nenhum material é, por si mesmo, durável ou não durável. A conjugação das características físicas (inclusive forma específica que assume) e químicas do material com o ambiente onde ele será utilizado, os esforços que terá que suportar, é que irão determinar uma maior ou menor taxa de degradação, e a sua durabilidade. Um mesmo material, desempenhando função idêntica em duas situações distintas pode ter durabilidades bastante diferentes. Por exemplo, uma grade de ferro empregada numa casa na praia tem durabilidade bem menor do que se empregada a 150 km de distância do mar. Este fato demonstra a influência dos fatores ambientais, do clima, na durabilidade. Também um mesmo material desempenhando funções diferentes, num mesmo clima, não só pelo

tipo de esforço a que está submetido mas também pela inter-relação com os outros materiais da estrutura pode apresentar diferentes durabilidades. Resumindo, "durabilidade não é uma qualidade absoluta de um item, mas em termo que expressa a percepção humana de uma qualidade que muda no ambiente... (Frohnsdorff e Masters¹⁴, 1980)".

Neste contexto, a durabilidade significa a resistência de um material, incorporado numa estrutura, à degradação.

1.2 - Definições da durabilidade

Do conceito de durabilidade existem distintas definições entre diversos organismos de pesquisa. Genericamente podemos dizer que as definições se dividem em dois grandes grupos: (1) as que consideram o conceito durabilidade como aplicável ao edifício e suas partes, sendo que a vida útil e a função desempenho no tempo seriam formas de expressar a durabilidade; (2) as que consideram o conceito durabilidade aplicável somente aos materiais de construção, ou seja, a durabilidade é uma característica de cada material que define a capacidade deste em resistir à degradação, de maneira a ser apenas um dos fatores que influenciam a função "desempenho versus tempo". Neste caso, somente a função desempenho versus tempo teria condições de descrever a vida útil de componentes e edifícios, onde um dos fatores seria a característica do material, durabilidade.

No primeiro grupo destacamos as seguintes definições:

ASTM E632-78²: durabilidade é a capacidade de manutenção da "serviceability" de um produto, componente, montagem ou construção, sobre um período especificado de tempo.

"Serviceability" é a capacidade de um produto, componente, montagem ou construção desempenhar as funções para as quais foi projetado e construído.

IC-IB/CSTC/SECO⁴⁴ (Bélgica): durabilidade é o tempo de vida durante o qual o edifício e qualquer de suas partes mantém seus desempenhos. A manutenção prevista deve ser providenciada durante este período. A durabilidade pode ser expressa: (a) em tempo de vida (anos) ou (b) a resistência a agentes que normalmente afetam o desempenho durante a vida.

CIB W80/RILEM 71 PSL⁹ : durabilidade é a capacidade de manutenção da "serviciability" de um produto, componente, montagem ou construção. Durabilidade é um termo relativo.

No segundo grupo, as seguintes:

European Organization for Quality Control (citado por Sneck)³⁹: durabilidade é a medida da resistência ao desgaste e as mudanças físico-químicas que um material apresenta sob condições específicas de uso e/ou estocagem.

T. Sneck³⁹ (No artigo RILEM and Durability) durabilidade é a resistência de um material à deterioração causada pela exposição ao meio ambiente.

Neste trabalho definiremos o termo durabilidade como segue:

"durabilidade é a capacidade que um produto, componente, montagem ou construção, possui de manter o seu desempenho acima dos níveis mínimos especificados, de maneira a atender as exigências dos usuários, em cada situação específica."

Esta definição considera o termo durabilidade aplicável ao edifício e suas partes. É baseada nas definições adotadas por importantes órgãos de pesquisa como o CIB e o RILEM através da Comissão de Trabalho CIB W 80/RILEM 71 PSL⁹, e instituições normalizadoras como a ASTM e está fundamentada no conceito de desempenho.

Nireki³¹ (1980) afirma que a avaliação da durabilidade através do conceito de desempenho "não é um ensaio de uma propriedade ou qualidade que simplesmente identifica a degradação física ou química de um objeto, porém, envolve a identificação da variação do desempenho no tempo, a vários níveis, e a comparação dos resultados com os critérios de desempenho."

Os estudos de durabilidade baseados no conceito de desempenho (e portanto, aplicáveis ao edifício e suas partes) apresentam uma série de vantagens em relação aos estudos de durabilidade baseados somente na degradação dos materiais.

Inicialmente, somente os estudos baseados no conceito de desempenho permitem uma correlação entre os ensaios realizados e as necessidades dos usuários. Alguns processos de degradação, que para certos usos de um material ou componente, podem

não ter maior importância na capacidade de atendimento das necessidades do usuário, em outras situações podem ter importância fundamental. Por exemplo, para uma madeira empregada com finalidade eminentemente estética (um lambri,...) a degradação provocada por fungos manchadores será de extrema importância, prejudicando de sobremaneira o desempenho. Porém, o ataque destes fungos a uma peça da mesma madeira que desempenha funções estruturais, não terá maior importância.

Em segundo lugar, é muito difícil falar em "durabilidade intrínseca" de um material, tanto pelas razões já citadas como pelo fato que, em algumas situações, um mesmo material pode ter um processo de degradação extremamente lento e em outras extremamente rápido. Pihlajavaara³⁴ (1980) demonstra exaustivamente este aspecto para diversos materiais de emprego em engenharia civil e outros. Segundo esta mesma fonte, uma madeira que está sujeita a contínuas e bruscas variações de temperatura e umidade pode durar entre um e dez anos, ao passo que em condições ambientais secas, a baixas temperaturas e ao abrigo da luz solar, pode durar mais de 10.000 anos.

Em terceiro lugar, a avaliação da durabilidade em termos de desempenho possibilita a comparação de resultados de ensaios de materiais diferentes, destinados a um mesmo uso, enquanto que a avaliação da durabilidade baseada apenas na variação de propriedades específicas do material dificilmente possibilita esta comparação, importante na seleção de um entre diversos os materiais ou componentes que concorrem a um mesmo emprego.

Nireki³¹ (1980) situa a origem histórica da definição que limita o conceito de durabilidade ao campo dos materiais: "a maioria das primeiras pesquisas de durabilidade realizadas foram conduzidas para obter o efeito de ambientes específicos sobre as propriedades físicas e químicas dos materiais". Em outras palavras, a base inicial de conhecimento necessária para estudar a durabilidade é o conhecimento do processo de degradação que sofre o material. E os estudos de durabilidade necessariamente tiveram (e continuam necessitando) começar por este caminho, gerando-se neste processo uma definição de durabilidade que, como já foi demonstrado, apresenta problemas, es-

tando, certamente, superada.

1.3 - Quantificação da durabilidade

Em termos práticos, é importante quantificar a durabilidade dos componentes e edifícios por diversas razões:

a) para permitir a utilização destes dados em cálculos econômicos, principalmente em estudos de viabilidade econômica baseados na avaliação do custo global dos edifícios, uma vez que a durabilidade do edifício como um todo, e de seus componentes, vai ter influência direta sobre estes custos;

b) para permitir que sejam comparados entre si, em termos de durabilidade, componentes tipo e materiais diferentes, que disputem um mesmo uso, de maneira que seja selecionado o mais adequado para cada situação em estudo.

Um grande número dos testes de durabilidade hoje existentes não permitem a quantificação da durabilidade, sendo que inclusive a comparação entre dois materiais diferentes é bastante difícil e, algumas vezes, até impossível.

Segundo o CIB/RILEM⁹(1983) e o CSTC/IC-IB/SECO¹⁰ (1979) tanto a função desempenho versus tempo como a vida útil podem quantificar a durabilidade.

1.3.1 - Função desempenho versus tempo

O desempenho de um produto pode ser definido como sendo o comportamento deste produto durante o seu uso.

A função desempenho versus tempo (Figura 1.1) representa a variação do comportamento do produto no decorrer do tempo, sob a ação degradante do meio ambiente sobre o desempenho deste produto. Esta representação pode ser direta, através do acompanhamento da variação do desempenho mesmo, a vários níveis, ou indireta, através do acompanhamento da variação de uma característica ou propriedade do produto, que represente a variação do desempenho. Este assunto será discutido no capítulo dois.

Esta perda de desempenho é cumulativa, isto é, aumen-

ta com o tempo de exposição do material aos agentes agressivos. Porém, nem sempre aumenta à mesma velocidade do aumento da degradação.

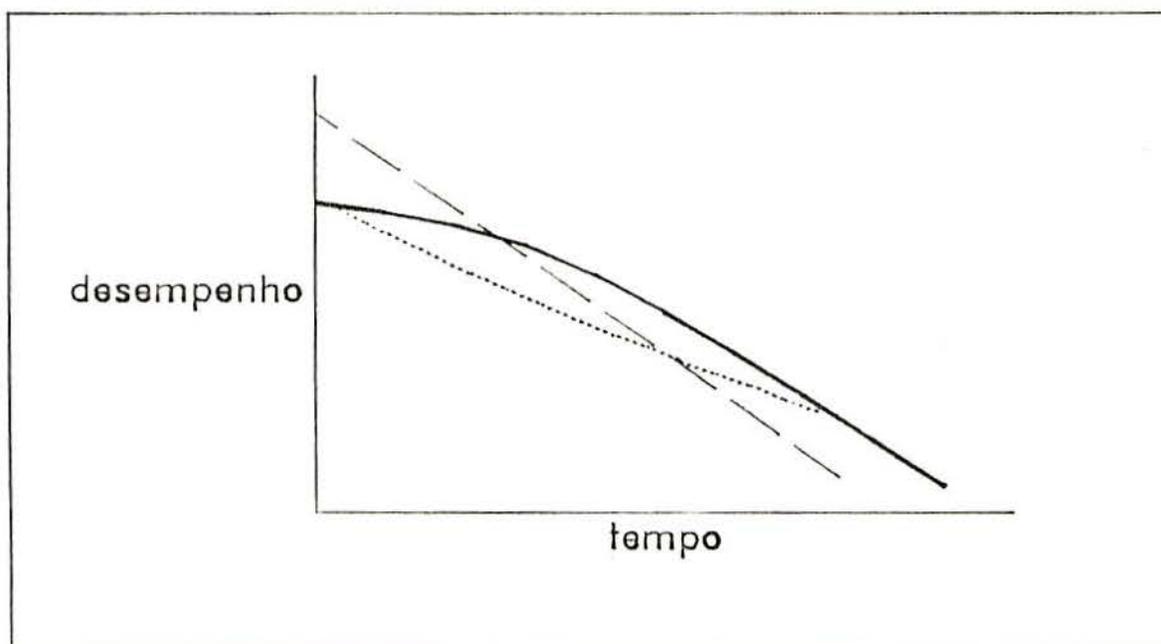


FIGURA 1.1 - Funções hipotéticas de desempenho versus tempo

É possível o traçado de curvas de desempenho versus tempo médias de uma população. Estas curvas são empregadas na avaliação da durabilidade da população como um todo.

1.3 2- Vida Útil

A vida útil é definida como o período de tempo após a instalação, durante o qual o desempenho de um material ou componente de edificação, excede os valores mínimos aceitáveis, quando sofrerem manutenção rotineira. ("CIB/RILEM",⁹ 1983).

A determinação da vida útil pode ser deduzida da função desempenho versus tempo. Graficamente, pode ser determinada pela projeção no eixo das abcissas do ponto de intersecção entre a função desempenho versus tempo com a reta de desempenho mínimo aceitável. (ponto "A", Figura 1.2).

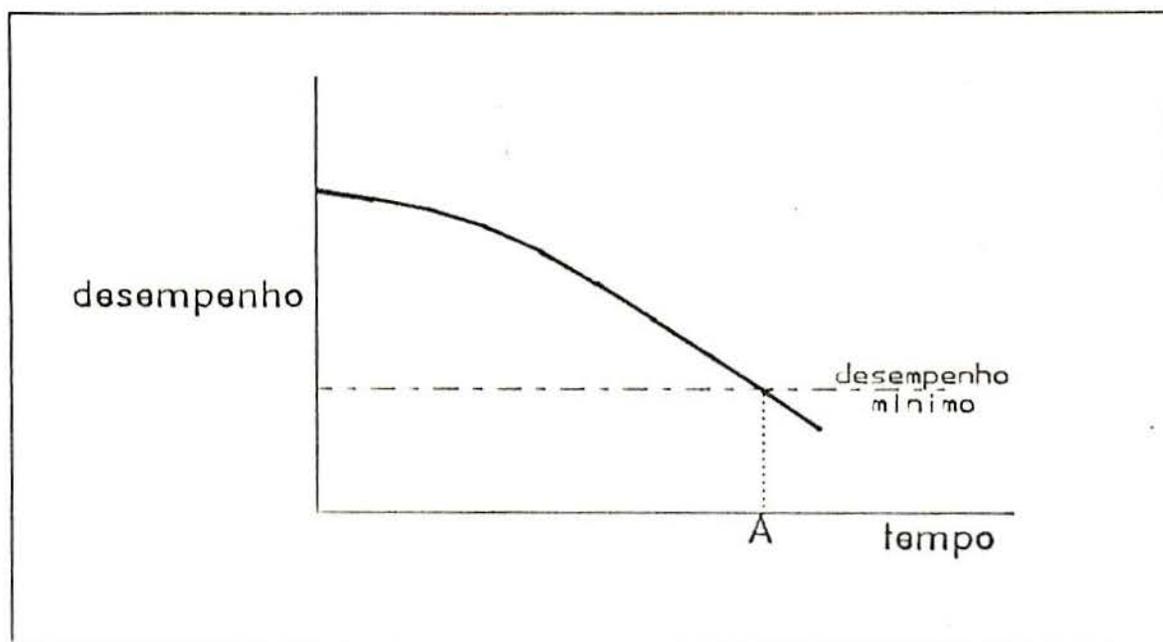


FIGURA 1.2 - Determinação da vida útil através da função desempenho versus tempo.

Switzer, citado por Seeley³⁸ (1982) diferencia a vida útil estrutural, tal como definida até aqui, da vida útil econômica. Acontece muitas vezes que a determinação da vida útil não está associada à deterioração dos materiais, mas a fenômenos econômicos. Por exemplo, no caso de edifícios industriais, o envelhecimento da tecnologia que o edifício abriga pode sucatear toda a sua estrutura, embora esta ainda não se encontre degradada. Este é o caso da Usina do Gasômetro em Porto Alegre. Outras vezes fenômenos de decomposição e/ou valorização de zonas urbanas são responsáveis pelo fim da vida útil de edifícios, ainda não degradados pelos fatores ambientais.

Devido a variabilidade das condições de exposição e uso e também das características dos materiais e componentes, a vida útil de uma população de componentes de um mesmo tipo não será a mesma para todos os componentes, mas, segundo D'Have, citado por Lichtenstein²⁷ (1982) apresentará uma variação conforme a curva de distribuição de Gauss (curva normal).

Nestes termos a vida útil média representará a vida útil do conjunto de uma população determinada. A amplitude da variação da vida útil dos produtos individuais, em torno da média do conjunto da população será função do controle de qualidade, tanto na produção como na instalação do produto, da variação nos esforços de uso a que cada componente estará submetido

durante a sua vida útil, da variação ambiental a que estará submetido cada componente (o que inclui as condições microclimáticas), e de diferenças nas taxas de manutenção.

O controle e conhecimento desta variabilidade é importante na determinação do tamanho de amostras e na avaliação do grau de confiabilidade de um estudo. Esta variabilidade pode ser controlada através da seleção das populações de estudo, tanto geograficamente (limitando as variações climáticas), como por tipo de uso.

1.4 - Fatores que influenciam a durabilidade

A durabilidade é um termo relativo, pelos múltiplos fatores, em parte já apresentados, que a determinam em cada situação específica. Por esta razão para facilitar a compreensão do processo como um todo é necessário que este grande número de fatores sejam organizados em grupos de fatores afins.

Farhi¹⁰ (1980) diferencia: a) durabilidade versus meio ambiente; e, b) durabilidade versus esforços de uso. Esta diferenciação aponta em linhas gerais os dois grandes grupos de fatores que agem sobre o edifício e suas partes.

Já o CIB W60, citado pelo CIB W80/RILEM 7PSL⁹ (1983), sugere que estas influências sejam estudadas através de quatro subsistemas avaliados independentemente, de modo a poder ser traçado um perfil de durabilidade. Os subsistemas sugeridos pela comissão são os seguintes:

a) materiais que são avaliados dos extremos perecíveis até imperecíveis, conforme a rapidez de degradação esperada no ambiente previsto para a utilização;

b) projeto avaliado de ruim até excelente, de acordo com o tipo de fatores a que submete o produto em questão;

c) condições de uso de severas a amenas;

d) manutenção entre os extremos nunca até freqüente, de acordo com a previsão de projeto.

O resultado é plotado num gráfico (Figuras 1.3 e 1.4)

onde se traça um perfil de durabilidade que auxilia na avaliação ou seleção de materiais ou componentes.

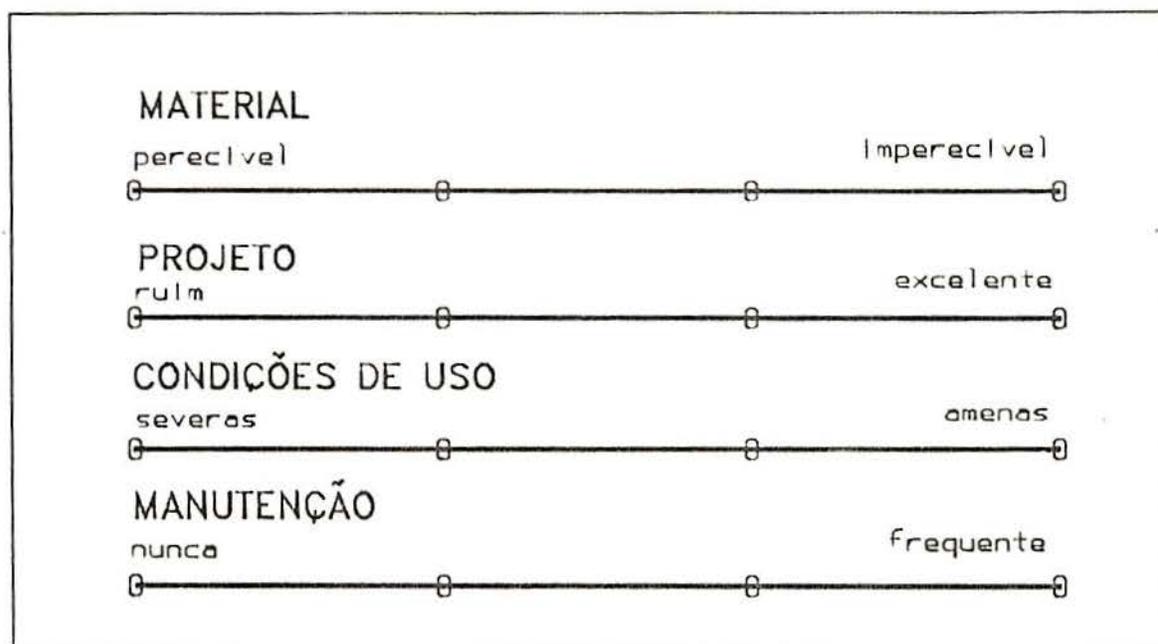


FIGURA 1.3 - O conceito de durabilidade dividido em quatro subsistemas (Fonte: CIB/RILEM⁹).

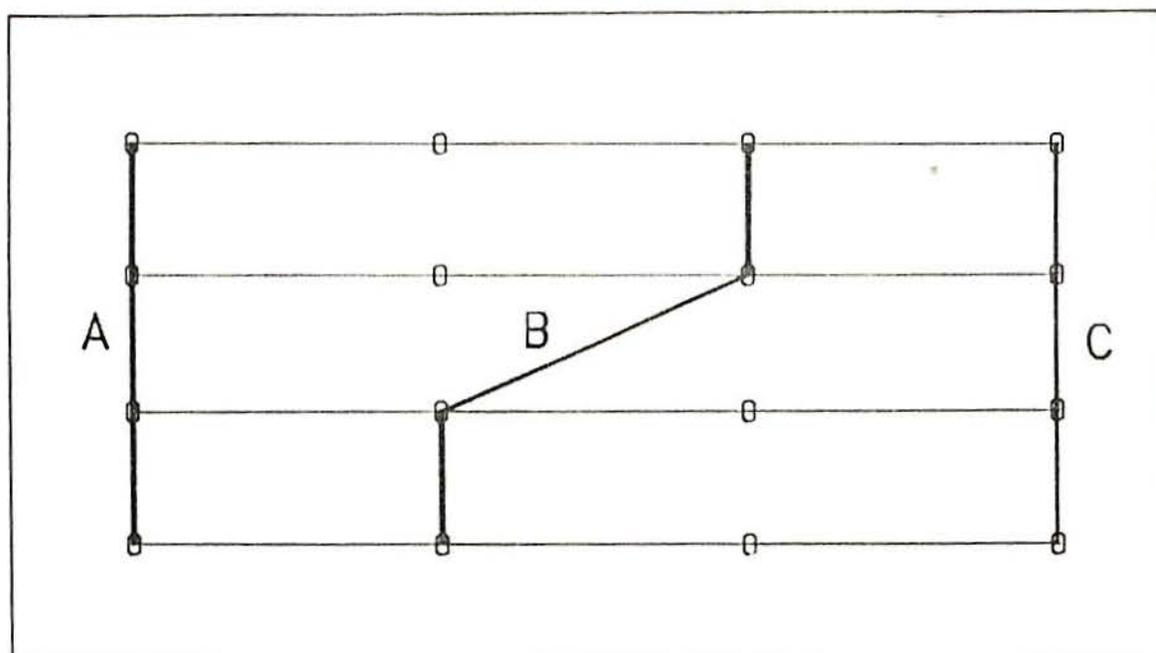


FIGURA 1.4 - Perfil de durabilidade

O perfil "A" representa uma solução com durabilidade mínima: material perecível rapidamente nas condições ambientais esperadas e pouca manutenção. A situação "B" um perfil de dura-

bilidade típico e a "C" uma solução com durabilidade máxima.

1.5 - Fatores de Degradação

O estudo da durabilidade passa necessariamente pelo conhecimento preciso dos fatores, que entrando em contato com o produto, causam o processo de degradação. Estes fatores são conhecidos como **fatores de degradação**.

A norma ASTM E632-78² define "Fator de degradação como qualquer fator externo que afete de maneira desfavorável o desempenho de um edifício ou de suas partes, incluindo aí as intempéries, agentes biológicos, esforços, incompatibilidade e fatores de uso."

Tanto a ISO DP 6241 "Guidance for the Preparation of Performance Standards" (citada pelo CIB⁹, 1983) como a ASTM² E 632 "Standart Practice for Developing of Serviço Life of Building Components and Materials" apresentam listas destes fatores, apresentadas nas tabelas 1.1 e 1.2.

Alguns aspectos são necessários a serem ressaltados. Inicialmente, os fatores de degradação que o edifício e suas partes estão sujeitos variam muito através do mundo e mesmo num país. Inclusive numa mesma cidade as condições de exposição podem variar consideravelmente para um mesmo componente, não só devido às condições microclimáticas, mas também aos fatores sócio-culturais e econômicos.

Ashton e Sereda³ (1980) discutindo a relação entre taxa de umidade em paredes e as direções de ventos dominantes dizem que "a alocação e orientação dos edifícios em relação aos edifícios contíguos deve ser considerada para estudos dos problemas de umidade...", somente para citar um exemplo.

Em segundo lugar, a importância dos fatores varia de acordo com o material em análise e a função que ele desempenha.

Em terceiro lugar, fatores que muitas vezes, se considerados isoladamente, não teriam efeito, ou teriam pouco efeito, quando atuando conjuntamente com outro(s) podem ganhar importância. Este **sinergismo** entre os diversos fatores não pode nunca ser desprezado ou desconsiderado. Uma camada de poeira pode ser considerada inofensiva, se desconsiderarmos os pre-

TABELA 1.1 - Fatores de degradação ASTM E632-78²

1. Fatores atmosféricos

- . Radiação
 - solar
 - nuclear
 - térmica
- . Temperatura
 - elevação
 - depressão
 - ciclos
- . Água
 - sólida (tal como neve, gelo)
 - líquido (tal como chuva, condensação, água estagnada)
 - vapor (tal como umidade relativa elevada)
- . Constituintes normais do ar
 - gases (tal como óxidos de nitrogênio e enxofre)
 - neblinas (tal como partículas finas em suspensão, sais, ácidos, álcalis dissolvidos na água)
 - partículas (tal como areia, poeira, impurezas)
- . Gelo - degelo
- . Vento

2. Fatores biológicos

- . Microorganismos
- . Fungos
- . Bactérias

3. Fatores de carga (stress)

- . Esforço de sustentação contínuo
- . Esforço periódico
- . Esforço randômico
- . Ação física da água como chuva, granizo e neve
- . Ação física do vento
- . Combinação da ação física do vento e da água
- . Movimento de outros agentes, como veículos

4. Fatores de incompatibilidade

- . Químicos
- . Físicos

5. Fatores de uso

- . Projeto do sistema
 - . Procedimentos de instalação e manutenção
 - . Desgaste por uso normal
 - . Abuso no uso
-

TABELA 1.2 - Agentes que atuam sobre o edifício e suas partes ISO DP6241 (Fonte: CIB⁹, 1983).

ORIGEM	E X T E R N A		I N T E R N A		
	NATUREZA	Atmosfera	Solo	Ocupação	Projeto
1) AGENTES MECÂNICOS					
1.1) Gravidade		cargas de neve, gelo, água da chuva	pressão do solo, pressão da H ₂ O	sobrecargas de utilização	cargas permanentes
1.2) Esforços e deformações impostas ou restringidas		pressão de congelamento de água, dilatação térmica e higroscópica	recalques, escorregamentos	esforços de manobra	retrações, fluência, forças e deformações impostas
1.3) Energia Cinética		vento, granizo, impactos externos	-	impactos internos, abrasão	golpe de ariete
1.4) Vibrações e Ruídos		ruídos externos, rajadas de vento, trovões, aeronaves, explosões	terremoto, tráfego, vibrações de máquinas externas	ruídos internos, vibrações de máquinas internas	ruídos dos edifícios, vibrações dos edifícios
2) AGENTES ELEIRO-MAGNÉTICOS					
2.1) Radiação		radiação solar, radiação	-	lâmpadas e equipamentos radiativos	painéis radiantes
2.2) Eletricidade		Iluminação	fuga de corrente	-	distribuição de corrente, eletricidade estática
2.3) Magnetismo		-	-	campos magnéticos	campos magnéticos
3) AGENTES TÉRMICOS					
		ar quente, congelamento choques térmicos	congelamento, calor do solo	calor emitido por cigarros e outros objetos combustíveis	calor, fogo por sobreaquecimento, instalações elétricas defeituosas.

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

TABELA 1.2 - Agentes que atuam sobre o edifício e suas partes
ISO DP 6241 (Fonte: CIB⁹, 1983).

ORIGEM	E X T E R N A		I N T E R N A	
	Atmosfera	Solo	Ocupação	Projeto
4) AGENTES QUÍMICOS				
4.1) Água e Solventes	ar úmido condensação chuvas	água superficial água subterrânea	respingos de água, condensação, detergentes, álcool	distribuição de água águas servidas infiltração
4.2) Oxidantes	oxigênio, ozônio óxidos de nitrogênio	-	água de lavanderia (Hipoclorito de sódio), água oxigenada	potenciais eletroquímicos positivos
4.3) Redutores	-	sulfetos	agentes combustíveis, amônia	agentes combustíveis, potenciais eletroquímicos negativos
4.4) Ácidos	ácido carbônico escremento de pássaros ácido sulfúrico	ácido úmico ácido carbônico	vinagre, ácido cítrico	ácido sulfúrico ácido carbônico
4.5) Bases	-	cales (carbonatos)	soda cáustica hidróxido de potássio e amônio	hidróxido de sódio, cimentos, cales..
4.6) Sais	névoa salina	nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos	cloreto de sódio (sal)	cloreto de cálcio, sulfatos, gesso
4.7) Neutros	poeira, fuligem	calcários/ sílica	gorduras, óleos, tintas, poeira	gorduras, óleos, poeira fuligem
5) AGENTES BIOLÓGICOS				
5.1) Microrganismos, vegetais	bactérias	bactérias, mofos, fungos, raízes	bactérias plantas domésticas	-
5.2) Animais	insetos, pássaros	roedores	animais domésticos, homem	

juízos estéticos, mas ao se combinar com a umidade pode iniciar uma reação química que ataca certos materiais ou simplesmente mantém a taxa de umidade elevada por um tempo bastante longo, ocasionando o apodrecimento de madeiras!

Finalmente, além do conhecimento do efeito de cada fator, a previsão de sua intensidade em serviço, é importante no desenvolvimento de testes de durabilidade.

Não está dentro dos limites deste trabalho um estudo criterioso de cada fator de degradação. Porém, dada a importância de sua compreensão enquanto conjunto, a seguir são apresentados em linhas gerais os fatores de degradação considerados mais importantes em condições normais, com ênfase nos fatores pouco conhecidos.

1.5.1 - Fatores Ambientais ou Climáticos

A ASTM e 632/78² define fatores ambientais como "todos os grupos de fatores associados com o ambiente natural, incluindo radiação, temperatura, chuva e outras formas de água, gelo e degelo, constituintes normais do ar e seus poluentes e vento."

Estes fatores variam grandemente através do mundo. Para possibilitar a tipificação dos estudos de durabilidade, o CIB/RILEM⁹ (1983) sugere que o clima pode ser caracterizado, ou mesmo classificado de alguma maneira. O mundo pode ser dividido em regiões macroclimáticas baseada em parâmetros meteorológicos quantitativos... Estes macroclimas podem ser subdivididos em mesoclimas, que reflitam as condições de áreas de interesse específico.

A ISO/TC 156 (citada pelo CIB/RILEM⁹, 1983) propõe um sistema para classificação da atmosfera, que embora seja desenvolvido para avaliar o potencial de corrosão do aço, pode auxiliar em outros estudos sobre durabilidade. O sistema, em linhas gerais, consiste no seguinte:

a) definição de um número restrito de áreas climáticas, por exemplo frio, seco, temperado, baseado em parâmetros meteorológicos quantitativos;

b) definição de **classes de poluição**, baseado em dados quantitativos de concentração e deposição de poluentes primários, como dióxido de enxofre, cloretos, etc.;

c) determinação da **agressividade atmosférica** para cada classe de poluição em determinada área climática.

A potencialidade da proposta repousa em dois fatores: o primeiro aponta para a necessidade de estudos que classifiquem a atmosfera, superando os problemas decorrentes da generalização quase sem critérios dos resultados, por um lado, e a quase impossibilidade de generalização (cada caso é um caso...), pelo outro; e, segundo, por propor uma relação direta com o provável ambiente de serviço, incluindo aí o sinergismo entre alguns fatores.

Evidentemente, o método proposto não dispensa o estudo acurado dos microclimas, que algumas vezes podem assumir papel determinante.

1.5.1.1 - Temperatura

A temperatura é um dos fatores de degradação que varia continuamente. Esta variação é condicionada em um ciclo diário e em um ciclo anual. É função das características como radiação solar, velocidade e direção dos ventos, e outras características climáticas, e também das características térmicas do componente (cor...) e das condições de troca de calor com o solo e o espaço que o cerca. Por estas razões é difícil determinar a temperatura de um produto a não ser por medição direta. De fato, "as variações de temperatura superficial dos materiais podem ser o dobro da ambiental..." (Ranson,³⁶ 1981), devido à absorção da radiação solar durante o dia e sua emissão pela noite. Tal fato é mais acentuado em corpos de cor negra, durante dias e noites claras.

A variação de temperatura pode agir de diversas formas sobre os materiais. A maioria dos materiais sofre mudanças físicas em conexão com a variação da temperatura. Quase todos sofrem variação dimensional: dilatação quando aquecidos e con-

tração quando resfriados. Para alguns materiais o coeficiente de dilatação é alto, como o alumínio e alguns plásticos (Tabela 1.3). Estas mudanças dimensionais causam tensões que se não acomodadas podem levar a deformações ou ruptura, particularmente de produtos compostos de materiais diferentes, como painéis sanduíche. É também em função destas variações que se calculam as juntas de controle em estruturas.

TABELA 1.3 - Coeficientes de dilatação térmica de alguns materiais de construção civil

MATERIAL	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR POR °C (x 10 ⁻⁶)
Tijolos de argila	5 - 10
Vidro	7 - 8
Concreto	9 - 13
Cobre	17
PVC rígido	50

FONTE: RANSON³⁶ (1981)

Normalmente em estudos de dilatação e contração térmica é importante calcular o movimento máximo previsível, que corresponderá à tensão e deformação máxima a ser observada nas peças. Esta variação máxima está associada a temperaturas máximas e mínimas que presumivelmente o produto sofrerá. Karpati e Gibbons, citados por Ashton e Sereda³ (1982) afirmam que embora a correlação das temperaturas obtidas em estações meteorológicas com os movimentos observados em ciclos curtos não seja satisfatória, a previsão do movimento máximo anual com estes dados meteorológicos resultam em dados com 95% de confiança.

O aumento de temperatura também ocasiona ou aumenta as taxas de algumas reações químicas. Ranson³⁶ (1981) afirma que um acréscimo de 10°C na temperatura pode dobrar a velocidades muitas reações químicas. Altas temperaturas significam um aumento na taxa de evaporação ou volatilização, o que em compostos betuminosos, plástico ou mastiques pode causar retrações ou torná-los quebradiços.

1.5.1.2 - Radiação Solar

Em termos de degradação dos materiais, as radiações de curto comprimento de onda - as radiações ultravioletas, particularmente, com comprimento de onda entre 300 e 400 μm - são as mais importantes. As radiações ultravioletas - UV provocam a foto oxidação que consiste na quebra de moléculas orgânicas longas de materiais como plásticos, algumas pinturas, materiais de base betuminosa e produtos de madeira.

Porém, geralmente, as medidas de radiação solar disponíveis são relativas a radiação total, isto é, incluem todas as bandas. Por esta razão a pesquisa hoje se concentra num esforço de correlacionar a radiação total com a radiação ultravioleta.

Lala²⁵ (1985) apresenta estudos que mostram claramente que a proporção de UV na radiação solar global aumenta com o decréscimo da radiação solar global (Figura 1.5). E o que é mais importante, a intensidade mensal de UV apresenta correlação linear com a radiação global mensal (Figura 1.6). Ele considera que embora correlação dependa do tempo e local de exposição, ela pode servir de método aproximado para a estimação dos diferentes componentes da radiação solar. Também descreve as possibilidades de medir a intensidade da radiação ultravioleta na faixa de 300 a 400 μm usando como instrumento de medida filmes de cloreto de polivinila (PVC) e de óxido de polifenileno (PPO), de custo mais baixo que os métodos tradicionais de medição tipo piranometro Eppley para radiações ultravioletas.

Além dos espectros ultravioletas, também os espectros infravermelho da luz solar apresentam interesse no estudo da degradação dos materiais. As radiações infravermelho são responsáveis pelo aumento da temperatura superficial dos materiais. Este aspecto já foi tratado no ponto anterior (temperatura).

meio para reações (como a corrosão), ou proporcionando condições de vida para os agentes biológicos.

Desta maneira, a água pode dissolver sais existentes no interior dos materiais transportando-os para a superfície - o que provoca uma má aparência característica. Além disto, ao absorverem a água, os materiais sofrem um processo de dilatação. No caso de produtos compostos de materiais com diferentes coeficientes de absorção, os ciclos de absorção e evaporação da água provocam dilatações e contrações diferenciais que podem levar a ruptura.

A água que entra em contato com os materiais provém da atmosfera, do solo e das atividades desenvolvidas pelos usuários.

Estas águas, muitas vezes apresentam contaminantes que podem atacar determinados materiais. Este é o caso principalmente de águas residuais de indústrias. Estes resíduos podem contaminar lençóis freáticos.

As águas do mar contêm normalmente altos teores de sais (20.000 ppm), e são muito agressivas ao concreto e ao aço.

Processos de corrosão podem ocorrer pela simples presença de um filme de água, consequência da condensação da umidade atmosférica. Neste caso a taxa de corrosão vai ser determinada pelo tempo que o filme permanecer sobre o metal. Este tempo de reação é chamado de "tempo de orvalho" (time-of-wetness). Este tempo é medido diretamente por um pequeno sensor capaz de detectar a umidade. Sereda³ (1980), citado por Ashton e Sereda³ (1982) "demonstrou que para espécimes de metal ou plástico expostos a um ângulo de 30° com o horizonte, em noites claras com temperatura ambiental entre 4 e -6°C, resultou condensação (gelo ou orvalho) para umidades relativas tão baixas como 80%".

A variação da umidade relativa do ar também influencia a taxa de adsorção de dióxido de enxofre no aço, aumentando-a entre duas e seis vezes quando a umidade relativa varia de 90 a 95% (Ashton e Sereda³, 1982), influenciando em muito a taxa de corrosão do aço.

A direção predominante dos ventos simultâneos a chuvas também é fator importante na determinação da provável umidade

em fachadas segundo sua orientação. Neste caso é também importante determinar as orientações que não recebem luz solar direta.

1.5.1.4 - Contaminantes do ar

Um estudo feito pela US National Academy of Sciences, em 1966, citado por Ashton e Sereda³ (1982), mostra que nos EUA os cinco mais comuns poluentes compreendem 98% de todas as emissões: monóxido de carbono (52%), óxidos de enxofre (18%), hidrocarbonetos (12%) e óxidos de nitrogênio (6%). Praticamente só os efeitos dos óxidos de enxofre, cloretos e de partículas como fuligem e sais marinhos têm sido estudados relativamente a durabilidade dos materiais.

Segundo o CIB/RILEM⁹ (1983) além dos óxidos de enxofre "o sulfeto de hidrogênio, o óxido nítrico, o cloro e o cloreto de hidrogênio também são emitidos por fábricas químicas" e, portanto, merecem especial atenção, principalmente, na proximidade destas unidades industriais.

Os poluentes a base de enxofre têm efeito corrosivo em metais e atacam inclusive pedras, são medidos de duas maneiras básicas: em forma de gás misturado ao ar em ppm (partes por milhão) ou microgramas por unidade de volume ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); ou, pela medição da deposição em lâminas de peróxido de chumbo, representados por miligramas de SO_3 por decímetro quadrado por dia ($\text{mg SO}_3/\text{dm}^2$, dia ou MDD). "Este último método é barato e simples e mede a deposição de dióxido de enxofre sobre um período qualquer, refletindo o efeito do fluxo de ventos e umidade relativa (Ashton e Sereda³, 1982)".

As partículas podem ser quimicamente ativas ou inertes, mas as partículas podem absorver a água e o dióxido de enxofre, tornando-se fortemente destrutivas. Além disto, a deposição destas partículas causa má aparência nos edifícios.

1.5.1.5 - Constituintes normais do ar

Além dos poluentes, os constituintes normais do ar atacam os materiais. O dióxido de carbono em combinação com a

água pode formar um ácido, atacando pedras calcáreas e sílico-calcáreas. O ozônio e o oxigênio afetam metais e materiais orgânicos, porém secundariamente.

1.5.1.6 - Vento e partículas

O vento pode causar mudanças bruscas na temperatura e na umidade, e sua ação pode transportar as partículas causando erosão em diferentes materiais.

O estudo de suas direções é importante para problemas de umidade (vento combinado com chuva leva a saturação mais freqüente das paredes externas com determinada orientação), e das direções de transporte dos poluentes, que pode atingir a grandes distâncias.

1.5.2 - Agentes Biológicos

1.5.2.1 - Fungos

Os mais importantes dos agentes biológicos normalmente são os fungos (CIB/RILEM⁹, 1983). Eles podem atacar além da madeira outros materiais, geralmente orgânicos. Os fungos são aeróbicos, ou seja, necessitam de oxigênio para se desenvolverem. Crescem normalmente em temperaturas entre 10 e 35°C (Alluci¹ et alii, 1984).

Os fungos responsáveis pelo ataque à madeira são de inúmeras variedades. Segundo Ranson³⁶ (1981) as mais comuns são as que necessitam de umidade mínima de 20% no substrato para poderem sobreviver. Este tipo de fungo é conhecido como "wet rot". Também existem os fungos chamados de "dry rot" que podem retirar a umidade de outras fontes que não o seu substrato (atmosfera por exemplo), mas são menos comuns.

Outras espécies de fungos são conhecidas como bolor, e causam má aparência. O ataque destes fungos à pintura, esteve presente em todos os casos estudados por Alluci¹ et alii (1984).

1.5.2.2 - Bactérias

As bactérias, que são facultativamente anaeróbicas, isto é, podem sobreviver com ou sem oxigênio, também são bastante agressivas. Alluci¹ et alii (1984) afirmam que nos trabalhos realizados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas - IPT de São Paulo "bactérias têm sido freqüentemente encontradas... Em pinturas externas em vários casos... os agentes encontrados eram algas." Apesar da aparência semelhante dos processos de degradação, estes organismos são bastante distintos dos fungos, o que leva à necessidade de tratamento diferenciado.

1.5.2.3 - Outros agentes biológicos

Além dos fungos e bactérias, os insetos atacam os materiais, normalmente os orgânicos, mas, também, secundariamente algumas variedades (existem aproximadamente 500.000) podem atacar materiais inorgânicos, como pedras e argamassas.

Os cupins e os carunchos são dois importantes insetos que atacam as madeiras.

Bauer⁴ (1982) fala da existência de moluscos e crustáceos que atacam principalmente a madeira, o concreto, materiais cerâmicos e pedras. Estes animais têm como habitat águas cálidas ou temperadas dos litorais marinhos, tendo sua existência constatada no litoral do Rio Grande do Sul.

Além disto, uma grande variedade de mamíferos podem atacar o edifício e suas partes. Os mais comuns são os roedores, como ratos e camundongos.

1.5.3 - Fatores de uso

Os fatores de uso envolvem uma gama de agentes determinados pela influência direta da ação dos usuários sobre os materiais e componentes de edificações - o desgaste físico provocado pelo uso e pelo abuso no uso, de maneira direta ou indireta -, os efeitos do processo de instalação, construção ou execução do projeto, e dos ritmos de manutenção efetivamente empregados.

A divisão entre fatores ambientais, e fatores de uso corresponde de certa maneira a separação entre os agentes ex-

ternos e agentes internos de edifícios, que é proposta pela lista de fatores de degradação da norma ISO DP6241 (ver Tabela 1.2) onde os fatores são classificados segundo a origem externa e interna ao edifício. Esta lista é particularmente útil quando é necessário relacionar subprodutos do uso de edifícios, especialmente, os habitacionais. Porém, não deve ser tomada como uma lista exaustiva.

Os fatores de uso são mais difíceis de quantificar do que os ambientais, uma vez que dependem de muitas avaliações subjetivas, como elementos da cultura.

A influência dos fatores de uso - projetos, procedimentos, instalação e manutenção, desgaste devido ao uso normal ou ao abuso, segundo o CIB/RILEM⁹ (1983) não são frequentemente incluídas nos ensaios de durabilidade, excessão talvez aos ensaios de verificação de resistência ao desgaste devido ao uso.

Estudos realizados em edifícios na Bélgica, Grã-Bretanha, República Federal da Alemanha, Dinamarca e Romênia, durante a década de 70, indicam que cerca de 75% dos problemas ocorridos em edifícios têm como origem projeto, execução e a utilização (Cnudde,⁶ 1984). Este dado indica claramente a importância dos fatores de uso na durabilidade de materiais e componentes de edificações, que obviamente não pode ser relegado a um segundo plano.

1.5.3.1 - Desgaste pelo uso

O desgaste pelo uso (e abuso no uso) tem importância diferenciada, conforme a função do componente. Assim, componentes do envelope externo dos edifícios estão menos sujeitos ao desgaste pelo uso que componentes empregados internamente, e, portanto, em contato mais direto com os usuários. Também assume importância a avaliação do desgaste devido ao uso para componentes com partes móveis, como janelas, portas e torneiras...

Além da importância da função, o desgaste pelo uso também varia com o meio ambiente e com hábitos culturais, que podem significar diferentes graus de exposição. Assim, um pi-

so utilizado num edifício com o seu entorno pavimentado, pode ter vida útil maior que se empregado numa zona sem pavimentação. Esta variação pode ser consequência do carreamento, pelos usuários, de partículas abrasivas, como areias, que entrarão em contato com o piso, desgastando-o, ou devido a necessidade de lavagem freqüente com água abundante, de maneira a retirar as partículas finas carreadas em grande quantidade pelos usuários, por exemplo.

Ensaio de durabilidade devido ao fator de desgaste por uso são relativamente comuns. Souza⁴¹ (1983) apresenta ensaios que verificam o comportamento de portas e janelas a ações repetidas de abertura e fechamento, ou seja, o desgaste devido as manobras de uso. No caso de porta, por exemplo, o IPT verifica as condições após a execução de 50.000 ciclos de abertura e fechamento, sem travamento, sendo observados no final danos que prejudiquem as manobras normais e a variação do esforço necessário para o fechamento da porta. Trata-se portanto de ensaio que compara o material em estudo a um material padrão que resiste a 50.000 ciclos de manobras. Este tipo de ensaio pode ser adaptado para previsão da vida útil, determinando-se o número médio de ciclos a que portas, em determinadas situações tipo de emprego, são submetidas por ano.

1.5.3.2 - Projeto

Detalhes de projeto podem ter influência decisiva na durabilidade de um componente. Garden¹⁵ (1980) desenvolve numerosos exemplos que demonstram que a posição relativa dos materiais de cada elemento determina as funções que cada material deve cumprir e as condições ambientais que cada material estará sujeito em serviço. "O projeto, como o processo que decide como e onde um material vai ser usado, determina a durabilidade" (Garden¹⁵, 1980).

Para cada mecanismo de deterioração existe um ou mais, e até mesmo, uma combinação de fatores de degradação agindo. Para eliminar a degradação basta controlar um destes fatores, uma destas forças da natureza. Os fungos somente podem sobreviver com oxigênio, temperatura e condições de umidade adequadas. Eliminada qualquer uma destas condições, os fungos desa-

parecem.

Muitas vezes durante o projeto é selecionado um determinado material por alguma de suas propriedades específicas, sem serem levadas em consideração outras características. O uso de verniz transparente protege a madeira da umidade ambiental, mas ao permitir a passagem de radiação solar permite que a superfície da madeira se oxide. A deterioração resultante da superfície da madeira pode determinar que embora o verniz ainda não tenha degradado, sofra um processo de descolamento (descasca). É necessário então, que todas as propriedades de um material sejam consideradas no projeto.

Muitas vezes, a localização diferenciada de um material, numa mesma montagem, pode modificar os fatores de degradação que agem sobre ele. Exemplificando, a localização do mastique no interior de uma junta entre painéis, além de garantir a impermeabilidade, evita que ele seja exposto à radiação solar direta, aumentando sua durabilidade. Da mesma maneira a posição do isolante térmico em relação a impermeabilização de uma laje de cobertura vai determinar uma maior ou menor movimentação térmica de camada de impermeabilização, ficando esta submetida a maiores ou menores esforços a uma maior ou menor taxa de evaporação de voláteis (no caso de impermeabilização asfáltica), determinando uma maior ou menor vida útil.

Seeley³⁶ (1985), cita estudos do DOE - Committee on Building Maintenance, do Reino Unido, que mostram que cerca de 1/3 dos trabalhos de manutenção nos edifícios estudados poderiam ter sido evitados caso houvesse suficiente cuidado no estágio de projeto ou construção.

Uma simples pingadeira mal projetada pode ocasionar um acentuado processo de deterioração em paredes ao permitir ou não que a água escoe sobre a sua superfície (Figura 1.7). Também são bem conhecidas as recomendações de projeto de janelas e sua ligação com a estrutura de maneira a evitar o apodrecimento precoce das peças ou a degradação dos revestimentos das paredes. Perez³³ (1985) apresenta uma interessante e sintética discussão sobre detalhes de projeto para controle da penetração de água em fachadas de edificações, o que seguramente influencia na vida útil destas.

Para se ter uma idéia mais precisa, estudos de patologias, que estão estreitamente vinculadas com as durabilidades dos materiais em condições de uso, efetuados em diversos países europeus, constataram que erros no projeto são os maiores responsáveis por defeitos nos prédios com uma incidência de 49% na Grã-Bretanha, 64% na Bélgica, 37% na Romênia e República Federal Alemã (Reygaerts et alii,³⁷ 1978).

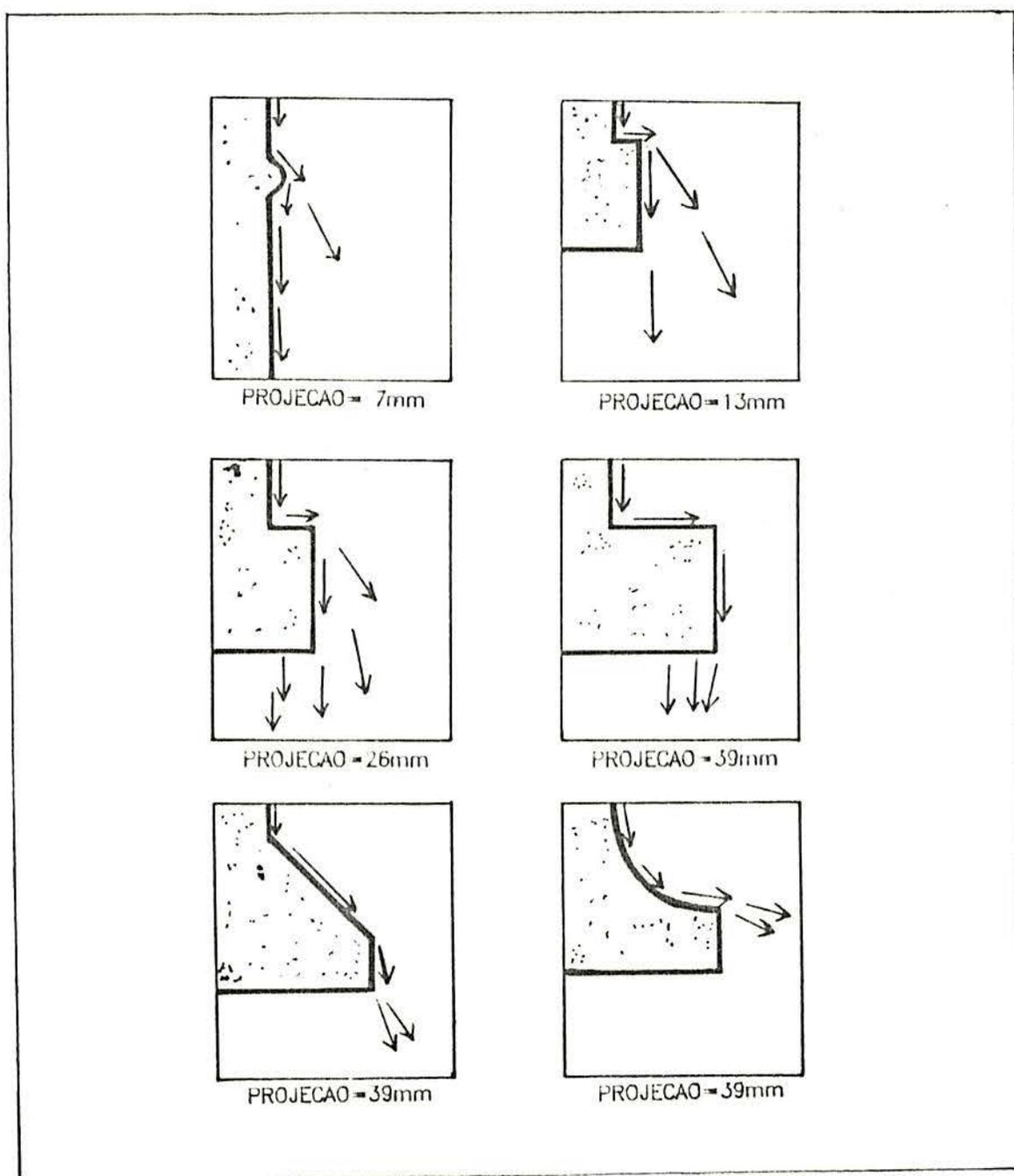


FIGURA 1.7 - Detalhes das dimensões e geometria de pingadeiras em fachadas e sua influência no escoamento da água (Fonte: Perez³³1985).

Latta²⁶ (1985) da DBR-NRCC (Division of Building Research - National Research Council of Canada), discute exaustivamente metodologias e detalhes de projeto de maneira a eliminar a principal fonte de deterioração dos edifícios no norte do Canadá: a condensação no interior das paredes.

O NHBC³⁰ (National House Building Council) da Inglaterra possui uma série de manuais destinado aos projetistas e construtores que explicam como evitar a ocorrência de uma série de problemas mais frequentemente encontrados em edifícios.

Na área de projeto de estruturas de concreto armado expostas a ambientes marinhos, ou a outros ambientes com cloretos, estão sendo realizados uma série de trabalhos de desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam a determinação de variáveis de projeto, de maneira a projetar a estrutura para a vida útil requerida em cada situação. Como o mecanismo de degradação predominante nestes casos é a corrosão da armadura pelos cloretos vindos do ambiente (Hognestad,¹⁹ 1986), a partir da estimativa da concentração de cloretos no ambiente procura-se combinar as variáveis de projeto - coeficiente de difusão do cloreto no concreto (ligado ao fator água-cimento) e cobrimento das armaduras - de maneira a garantir a vida útil da estrutura. Browne⁵ (1982) e Hognestad¹⁹ (1986) apresentam modelos matemáticos diferentes, de particular interesse no projeto de plataformas marítimas para extração de petróleo, onde os poços têm tempo de produção limitados e, evidentemente, resulta mais econômica uma solução onde a estrutura tenha uma vida útil igual ao tempo de produção estimado para os poços.

1.5.3.3 - Manutenção

A durabilidade dos materiais está vinculada com a maneira com que é feita a manutenção. Manutenção mais ou menos freqüente pode estender ou diminuir a durabilidade de um componente.

Esta influência pode ser facilmente visualizada na Figura 1.8 onde estão plotadas diversas curvas de desempenho versus tempo para um mesmo material, em idênticas condições de exposição, variando-se apenas as freqüências a que o material ou

componente sofre a manutenção (Figura 1.8). A Curva "D" representa uma situação onde não é efetuada nenhuma atividade de manutenção durante a vida útil $V(D)$ do componente. Já as situações M1 e M2 representam as curvas de degradação observadas com frequência de manutenção $f(M1)$ e $f(M2)$, respectivamente, onde $f(M1) > f(M2)$. A vida útil resultante será, em cada caso, $V(M1) > V(M2) > V(D)$.

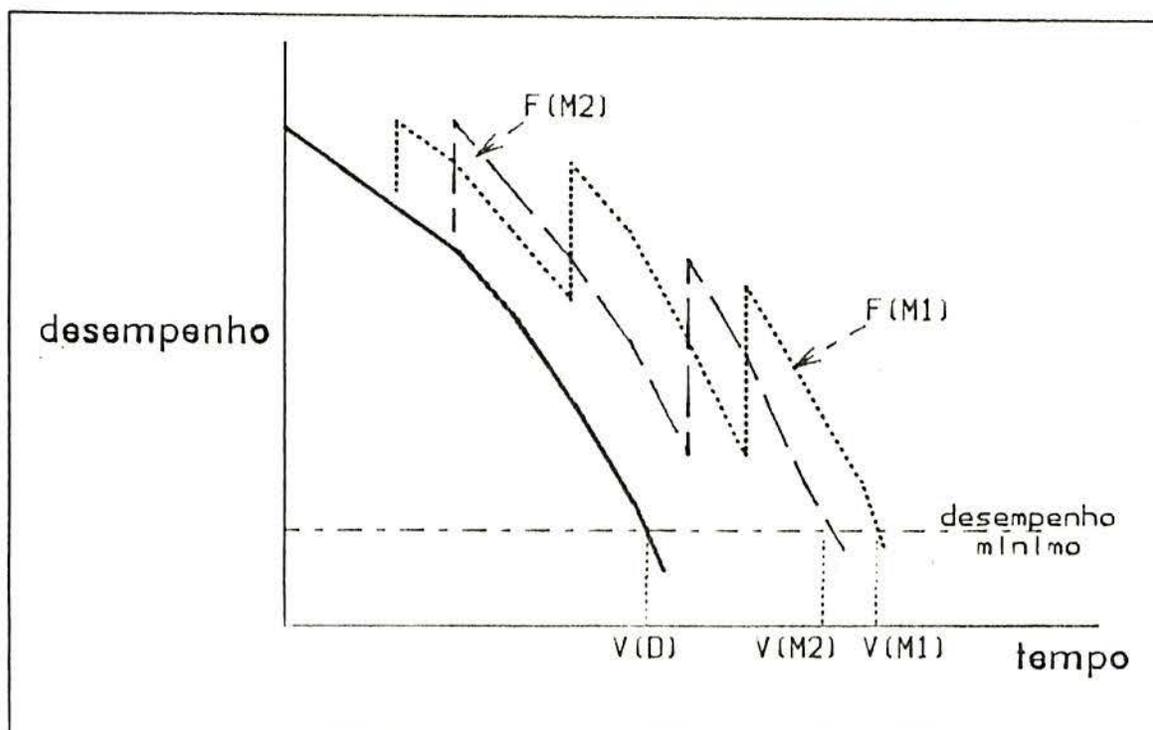


FIGURA 1.8 - Curvas hipotéticas sobre a influência da manutenção na vida útil.

O CIB W60⁸ (1982) faz uma distinção importante para estudos de durabilidade, entre os conceitos de manutenção e restauração. As atividades de manutenção são atividades que visam repor parcialmente o desempenho, de maneira a adiar o momento em que o limiar do desempenho mínimo é atingido (Figura 1.9). "Quando eventualmente o desempenho se torne inaceitavelmente baixo, um mais completo processo de restauração é necessário,

frequentemente incluindo substituição de certas partes (CIB,⁹ 1982)".

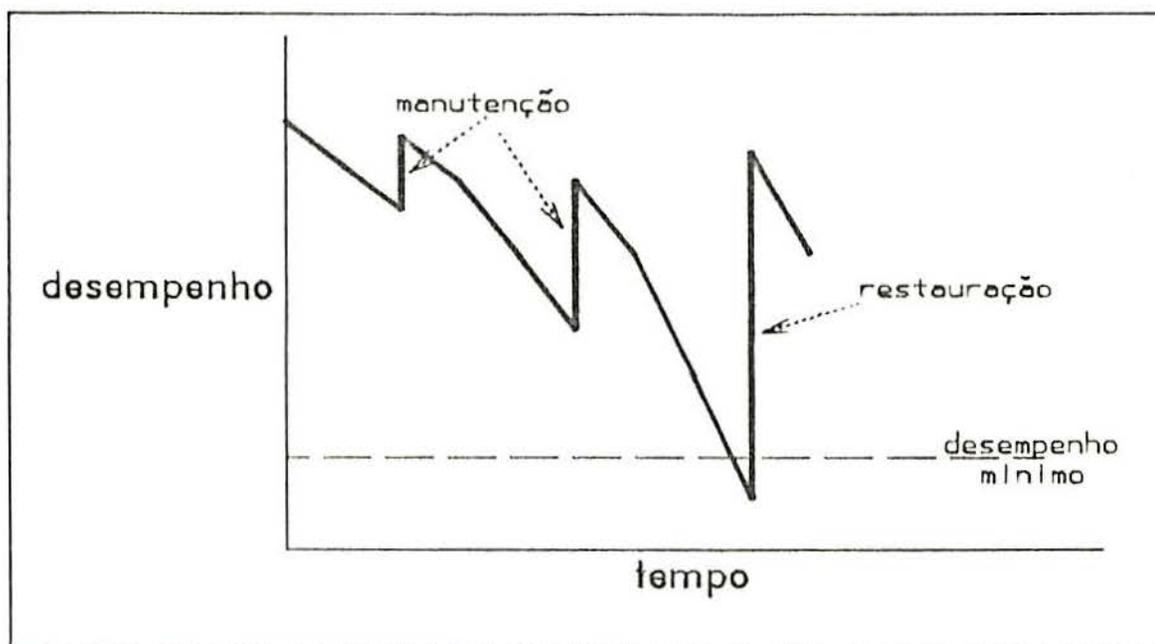


FIGURA 1.9 - Distinção entre manutenção e restauração.

O CIB/RILEM⁹ (1983) considera, simplesmente, que a instalação e a manutenção devem ser assumidas como sendo atendidas as recomendadas pelo fabricante. Esta consideração é bastante dificultada pela inexistência destas recomendações, e pela quantidade de fatores que condicionam um programa de manutenção.

Em todo caso, é necessário que seja assumido um certo ritmo de manutenção para prever a durabilidade.

1.6 - Mecanismos de degradação

"Mecanismos de degradação são uma seqüência de mudanças físicas e/ou químicas que levam a perdas em uma ou mais propriedades de um componente ou material de construção, quando exposto a um ou mais fatores de degradação. (ASTM² E632/78)". Os mecanismos de degradação são os meios através dos quais os fatores de degradação agem sobre os materiais, ou a manifestação da ação destes fatores.

Segundo os objetivos da análise e o conhecimento da química do(s) material(a)is) em questão, estes mecanismos podem ser identificados de duas maneiras básicas: a) como reações químicas específicas, caso o conhecimento da estrutura química do material torne isto possível; e, b) em termos mais gerais, que o CIB/RILEM⁹ (1983) chama de fenômenos, como dilatação/contração, perda de elasticidade, caso não se disponha de conhecimentos mais profundos, ou a natureza do estudo não exija detalhes maiores.

Em todos os casos é necessário que seja feito um estudo exaustivo dos mecanismos de degradação, mas particularmente em ensaios de envelhecimento acelerado. O não entendimento destes mecanismos podem levar a erros grosseiros, devido ao fato de que ao serem intensificados, visando acelerar o processo de degradação, os fatores de degradação podem agir de maneira diferenciada, isto é, através de outros mecanismos de degradação - dos que em condições de exposição normais.

Estudos de patologia realizados em prédios em uso são fonte inestimável na determinação dos mecanismos de degradação.

A seguir é apresentado, como exemplo, um resumo dos mecanismos de degradação que agem sobre dois dos materiais mais comumente utilizados na construção civil em nosso meio: madeiras e concreto armado.

1.6.1 - Madeira

Os principais fatores de degradação das madeiras são os biológicos.

Os fungos, o mais importante destes fatores, agem somente com condições de umidade acima de 20% e temperatura entre 15 e 35°C (CIB/RILEM⁹, 1983). Os fungos cromógenos (manchadores) atacam a seiva e a albumina das madeiras, não danificando o lenho, de maneira a causarem manchas superficiais prejudicando a madeira, apenas no aspecto estético.

Já os fungos xilófagos destroem as paredes celulares e a lignina. "As manchas, ardiduras, mofos, bolores e apodrecimento, correspondem a etapas progressivas de contaminação por fungos." (Bauer⁴, 1982). Todo este processo determina grada-

tivamente uma perda de resistência mecânica, que nos últimos estágios pode ser considerada quase nula.

Madeiras não expostas ao ar (enterradas ou permanentemente embaixo da água) estão imunes ao ataque de fungos.

Os insetos xilófagos, particularmente cupins e carunchos também atacam a madeira. Os cupins têm vida social organizada e invadem a madeira com duplo propósito de abrigo e subsistência. Se alimentam da celulose das paredes celulares, cavando galerias no interior das peças, ocasionando uma diminuição das seções.

Segundo Bauer⁴ (1982), as condições ótimas para o ataque dos insetos são madeira verde, seivada, contato com o solo e condições estáveis de temperatura.

As madeiras também estão sujeitas a ação da radiação solar, principalmente, os raios ultravioletas (UV), que causam oxidação da superficial, pela quebra das moléculas orgânicas. Este processo tem como resultado uma superfície acidentada.

Ciclos de absorção e perda d'água, combinada com a temperatura, dependendo da direção das fibras da madeira, pode ter efeitos de expansões e contrações muito importantes, que podem resultar em empenhamentos e fissuras.

1.6.2 - Concreto Armado

Os processos de degradação do concreto são talvez os mais estudados, estando disponível farta bibliografia na área.

A agressividade do ambiente ao concreto depende das características do ambiente e das qualidade do concreto. Quanto mais compacto for o concreto maior será sua resistência à agressão.

Helene¹⁸ (1985) apresenta uma forma de classificar e caracterizar os concretos que resulta em graus de qualidade que comparados com graus de agressividade da água e do ambiente, permitem uma pré-avaliação das características de durabilidade dos concretos.

Águas puras quando em movimento (águas renováveis) dissolvem e lixiviam alguns componentes hidratados das pastas de cimento. Águas de regiões pantanosas normalmente contêm teor

de ácidos húmicos agressivos ao concreto, da mesma maneira que as chuvas ácidas devido a dissolução do enxofre atmosférico. Helene¹⁶ (1985) também cita a ação do ácido sulfídrico formado nos coletores de esgoto.

A água do mar possui sais de magnésio, sódio e potássio, entre outros, em grandes concentrações, todos eles muito agressivos ao concreto.

Os sulfatos, provenientes do gesso, da água do mar ou dos solos reagem com o aluminato tricálcico do cimento provocando uma reação fortemente expansiva, que provoca tensões que levam a peça à ruptura.

A corrosão das armaduras do concreto armado se dá de maneira eletroquímica e conduz à formação de óxidos e hidróxidos de ferro que passam a ocupar volume maior que o volume original do aço, ocasionando pressões de expansão superiores a 150 kgf/cm² (Helene¹⁷, 1984). Estas tensões provocam inicialmente fissuras que são acompanhadas em geral por manchas marrom avermelhadas. Em estágio avançado pode haver o lascamento do concreto e a diminuição de maneira significativa da seção da armadura.

A cobertura de concreto que envolve a armadura das peças, tem uma função dupla: a) função de garantir proteção física contra os agentes externos agressivos à armadura; e, b) dar proteção química a armadura, através da sua passivação.

Por passivação da armadura entende-se o efeito causado pela alcalinidade normal do concreto, que forma em torno do aço uma película protetora de caráter passivo, evitando a corrosão.

Entre as causas de corrosão das armaduras do concreto, podemos citar, a carbonatação do concreto, que é a redução da alcalinidade inicial do concreto pela ação do dióxido de carbono presente na atmosfera, bem como de outros gases ácidos (sulfídrico e dióxido de enxofre). Além destes elementos, os cloretos são outro grupo agressivo. Ele está presente em atmosferas marinhas, em agregados oriundos de regiões próximas do mar, em águas contaminadas, no ácido muriático e na grande maioria de aceleradores de endurecimento, que são compostos de cloretos de cálcio. "Concentrações cloretos superiores a 700 mg/l despassivam o aço, mesmo que ele esteja imerso em água de cal

(pH=12) além de reduzirem a resistividade elétrica do concreto" (Helene ¹⁷, 1984), o que acelera a corrosão eletroquímica.

Browne⁵ (1982) e Hognestad¹⁹ (1986) apresentam modelos matemáticos distintos para determinação do cobrimento necessário a garantir uma vida útil predeterminada a estruturas de concreto armado expostas a cloretos.

Um modelo foi desenvolvido experimentalmente por Clear num campo de provas na Califórnia, apresentado por Hognestad (1986), pode ser resumido a seguinte fórmula matemática:

$$VU = \frac{41,4}{X} \frac{c^{1,22}}{CL^{0,42}} \quad (1.1)$$

onde:

VU = vida útil e dada em anos

"c" e o cobrimento da armadura em cm

"CL" o teor de íon cloreto em parte por milhão (ppm).

"X" fator água/cimento.

Esta equação é bastante elucidativa: a vida útil de concreto armado exposto a um ambiente com presença de cloretos é inversamente proporcional ao fator água-cimento e ao teor de cloretos deste ambiente e diretamente proporcional a espessura de cobrimento que protege à armadura.

CAPÍTULO 2

O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO AO ESTUDO DA
DURABILIDADE

CAPÍTULO 2 - O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO AO ESTUDO DA DURABILIDADE

Neste capítulo é apresentado, inicialmente, um método de aplicação do conceito de desempenho, usado para a quantificação da durabilidade de materiais e componentes de edifícios, através da determinação da vida útil.

2.1 - O conceito de desempenho

Nireki³¹ (1980) afirma que para que os estudos de durabilidade tenham uma linguagem comum com as necessidades dos usuários, é necessário que estes estudos tenham como base o conceito de **desempenho**.

O CIB⁹ (1982) define a aplicação do conceito de desempenho como a **prática de pensar e trabalhar em termos de objetivos que se pretende alcançar**, em lugar de pensar nos meios. Em outras palavras, pensar não somente em termos de uma solução determinada para certo componente, mas principalmente pensar em termos de que funções este componente deve cumprir.

A norma ISO/DP 6240-1980²⁴ define desempenho como "o comportamento de um produto em relação ao seu uso."

2.2 - Metodologia de aplicação do conceito desempenho

A metodologia básica para a aplicação do conceito de desempenho é resumida por Souza⁴¹ (1983) como a definição de condições quantitativas e qualitativas a serem atendidas pelo edifício e suas partes, a partir das exigências do usuário a serem satisfeitas nas condições de exposição a que será submetido o edifício. A Figura 2.1 apresenta esquematicamente a aplicação do conceito desempenho, baseada no CIB W60⁶ (1983).

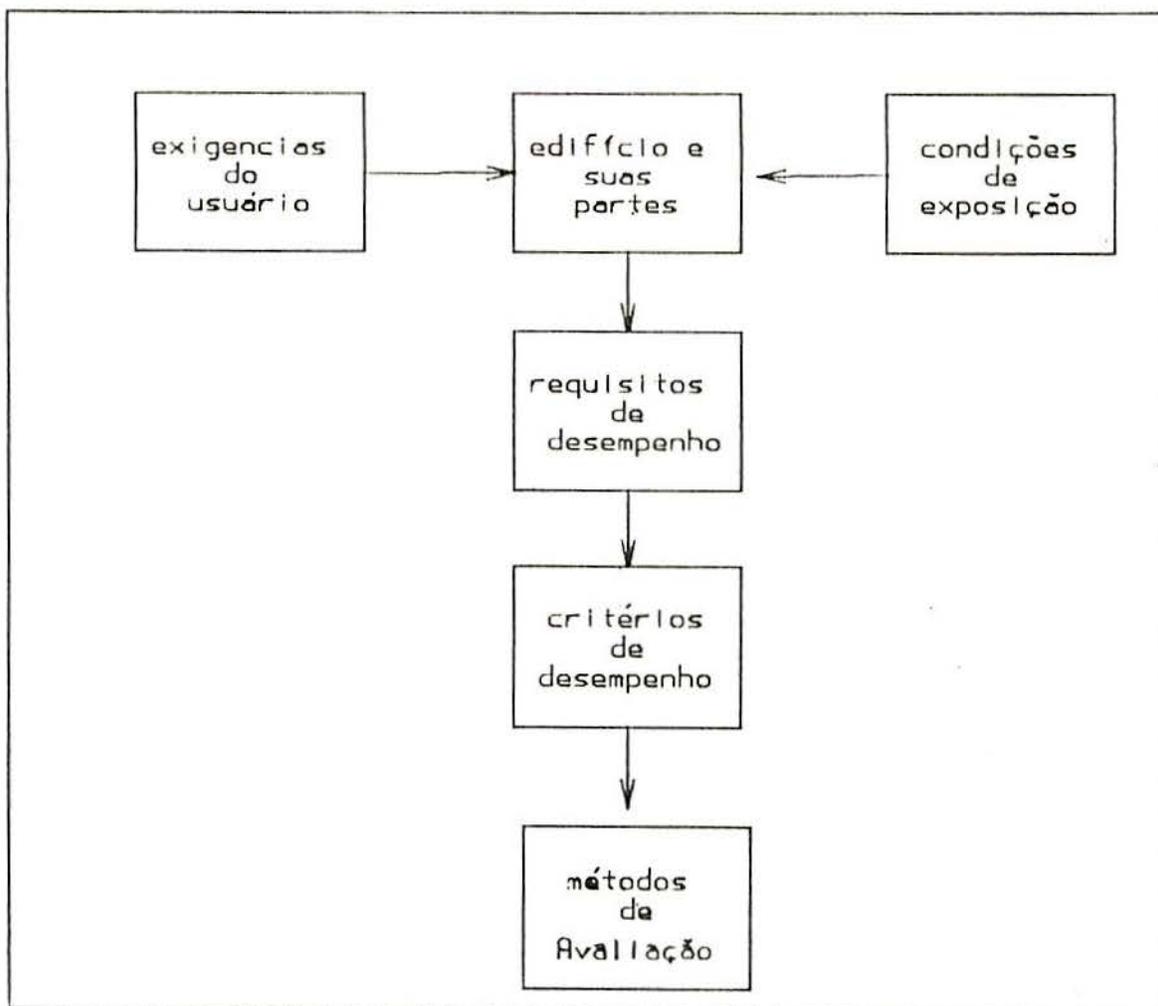


FIGURA 2.1 - Esquema de aplicação do conceito de desempenho

2.2.1 - Identificação das exigências do usuário

A avaliação do desempenho é feita com base nas exigências do usuário.

"As exigências dos usuários serão entendidas como o conjunto de necessidades a serem satisfeitas pelo edifício, a fim de que este cumpra sua função (Souza,¹ 1983)."

Estas exigências do usuário são, a partir de uma listagem, enunciadas em termos qualitativos para, posteriormente, serem formuladas em termos quantitativos, porém sem estarem referidas a um contexto ou localização particular.

A Tabela número 2.1 apresenta a lista de exigências básicas do usuário, proposta pela International Organization for Standardization ISO, na Draft Proposal ISO DP 6241, visando o estudo de desempenho de edifícios.

TABELA 2.1 - Exigências do usuário

-
1. **Segurança Estrutural**
Resistência mecânica a cargas estáticas e dinâmicas, individual ou combinadamente, impactos, acidentes, efeitos de fadiga, ...
 2. **Segurança ao fogo**
Riscos de erupção e difusão do fogo.
Efeitos fisiológicos como controle da fumaça e ventilação;
sistemas de alarmes (detectores, sirenes...);
tempo de evacuação (rotas de escape);
tempo de resistência ao fogo.
 3. **Segurança em uso**
Segurança a agentes agressivos como, por exemplo, proteção contra explosões, queimaduras, fontes cortantes, mecanismos móveis, riscos de choques elétricos, radioatividade, contato e inalação com substâncias agressivas (infecciosas);
segurança durante movimentação e circulação (irregularidades de pisos, desobstrução de passagens, guarda-corpos...);
segurança a intrusos (humanos ou animais).
 4. **Estanqueidade**
A água proveniente da chuva, solo, potável ou não, etc.;
a gases, inclusive ao ar;
a poeira.
 5. **Conforto Higrotérmico**
Controle da temperatura do ar, radiação térmica, velocidade e umidade relativa do ar (limitações na sua variação tanto no tempo como no espaço);
controle da condensação.
 6. **Pureza do ar**
Ventilação;
Controle de odores.
 7. **Conforto Acústico**
Controle do ruído, contínuo ou intermitente;
inteligibilidade do som;
tempo de reverberação.
 8. **Conforto Visual**
Controle e previsão da luz natural;
insolação;
nível de iluminação, controle do ofuscamento, contraste;
possibilidade de escurecimento;
aspectos do espaço e acabamento, como cor, textura, regularidade, verticalidade, horizontalidade,...;
contraste visual, interno e externo em relação à vizinhança (ligações e barreiras para privacidade, ausência de distorção ótica...).
 9. **Conforto Tátil**
Propriedades das superfícies como rugosidade, pegajosidade, temperatura de contato, flexibilidade;
inexistência de descargas de eletricidade estática.
-

CONTINUA

CONTINUAÇÃO TABELA 2.1

-
10. **Conforme Antropodinâmico**
 Limitação de acelerações e vibrações;
 conforto de pedestres em áreas ventosas;
 aspectos de projeto relacionados com a força e destreza humana, como inclinação de rampas, manobras de operação de portas, janelas, equipamentos, etc.
11. **Higiene**
 Instalações para cuidados corporais;
 suprimento de água, limpeza e evacuação de resíduos.
12. **Adaptação ao uso**
 Número, tamanho, geometria e interrelação;
 previsão de serviços e equipamentos;
 mobiliário, flexibilidade.
12. **Durabilidade**
 Conservação do desempenho por tempo adequado.
13. **Economia**
 Custo global (custo inicial + custos de manutenção + custos de operação) adequado .
-

(Baseada na CIB Master List,⁷ 1983)

Cada exigência do usuário tem importância variável, determinada genericamente por:

- 1) os tipos de uso a que se destina o edifício (quem é o usuário?);
- 2) as características climáticas e ambientais de uma região;
- 3) as características culturais de cada região e de cada grupo social;
- 4) o grau de desenvolvimento tecnológico da época;
- 5) a quantidade de recursos econômicos disponíveis;
- 6) aspectos inerentes ao modelo político-econômico do país em questão.

Porém, alguns destes requisitos têm caráter imperativo: em todas as situações devem ser atendidos. Por exemplo, a necessidade de segurança estrutural jamais pode ser dispensada.

É evidente que boa parte destes fatores são interrelacionados. Por exemplo, as características culturais estão profundamente vinculadas às tecnologias empregadas.

Este caráter histórico-geográfico das exigências do usuário dá excepcional vitalidade aos processos de avaliação do desempenho que deverão se adequar às características de cada região, a cada momento. Portanto, veda a pura importação de métodos de avaliação, sem as necessárias críticas. Em outras palavras a consciência deste caráter relativo é condição para a aplicação correta do conceito de desempenho.

Souza⁴¹ (1983) ressalta "que a correta identificação das exigências do usuário é uma das bases fundamentais para a aplicação do conceito de desempenho" e, portanto, para uma correta avaliação da durabilidade. E esta correta aplicação, prossegue, implica na observância das especificidades do caso em estudo, como por exemplo "as limitações e peculiaridades de cada região e os hábitos culturais da população a qual se destina ao edifício."

As generalizações de resultados de estudos de durabilidade e de certificação de conformidade devem ter suas limitações tanto geográficas como temporais, cuidadosamente estudadas, para evitar ocorrência de erros.

Flauzino¹² (1981) manifesta esta mesma preocupação ao salientar à necessidade de desenvolvimento de ensaios de durabilidade adequados às condições do Brasil e de suas regiões.

A avaliação de durabilidade, através da avaliação de desempenho, é uma maneira científica de relacionar as exigências do usuários com o efeito degradante que o ambiente tem sobre os materiais.

2.2.2 - Identificação dos agentes ambientais relevantes

Agentes ambientais são todos os fenômenos ou entidades de origem interna ou externa, que podem influir no desempenho do produto.

Quando se estuda durabilidade, estes agentes são chamados de agentes de degradação e, com o decorrer do tempo, podem baixar o desempenho do produto. Nem todos os agentes ambi-

entais necessariamente serão agentes de degradação. As Tabelas 1.1 e 1.2 apresentam listas destes agentes.

2.2.3 - Definição dos Requisitos dos usuários

Com base na correlação entre necessidades dos usuários e dos agentes ambientais mais importantes, são determinados os requisitos dos usuários.

Os requisitos dos usuários são níveis mínimos de desempenho que devem ser mantidos na edificação em estudo, para o atendimento das necessidades do usuário, independente da localização exata do edifício.

Inicialmente, os requisitos dos usuários são expressos qualitativamente, para a seguir, conforme o nível de conhecimento do assunto, serem traduzidos em termos quantitativos.

O CIB W60⁸ (1982) assinala que nesta fase não é possível satisfazer todos os usuários devido às variações de sensibilidade individuais aos fatores, como níveis de iluminação, temperatura, etc., sendo necessário procurar atender, estes casos, a maioria dos usuários. Estas variações também vão se fazer sentir na definição do desempenho mínimo aceitável nas análises de durabilidade.

Algumas vezes, os requisitos dos usuários não podem ser atendidos integralmente por fatores econômicos. Por exemplo, a exigência de nível de ruído muito próximo ao zero pode ser desejável, porém, via de regra, se torna muito onerosa de ser atendida. Nestas situações o CIB W60⁸ (1982) recomenda a "adaptação/redução", que no entanto deve ter como patamar mínimo os níveis de exigência socialmente aceitos não sendo justificadas tentativas de abandonar todo e qualquer critério sob a insígnia da economia ou de tornar o produto viável a maior parcela de pessoas, até porque, não será o mesmo produto. Em todos os casos, a fixação deste mínimo tem caráter mais político do que técnico, e depende da correlação de forças entre os interesses conflitantes envolvidos.

Finalmente, para os requisitos de caráter imperativo (aqueles relativos a segurança) não se permitem concessões.

2.2.4 - Definição das condições de exposição

As condições de exposição são sintetizadas a partir da quantificação dos agentes ambientais relevantes, para uma região e tipo de edifício determinado.

Na avaliação de durabilidade, as condições de exposição analisadas são aquelas que podem causar degradação de maneira direta, ou por combinação com outros fatores.

2.2.5 - Determinação de requisitos de desempenho

Uma vez caracterizado o edifício, identificadas as exigências do usuário e determinadas as condições de exposição a que, espera-se, o edifício será exposto, parte-se para a determinação dos requisitos de desempenho.

Os requisitos de desempenho definem, em termos **quantitativos**, as condições a serem atendidas por um edifício ou componente, para um **uso específico**, em **localização específica** e refletindo decisões de **projeto** já tomadas (CIB W60,⁸ 1982).

Então, os requisitos de desempenho são menos genéricos que as exigências dos usuários. Eles **necessariamente** são regionalizados segundo as especificidades do caso em estudo.

Por exemplo, um dos requisitos de desempenho para a exigência do usuário, conforto higrotérmico, poderia ser formulada da seguinte maneira: a temperatura mínima do ar interno de um edifício deve ser maior que 20°C quando a temperatura externa atingir 8°C (sendo que 8°C seria determinado em função da região, através das temperaturas médias mínimas, por exemplo).

2.2.6 - Determinação de critérios de desempenho

Uma vez enunciadas uma a uma as exigências do usuário e os respectivos requisitos de desempenho, para o caso em estudo, devem ser determinados os **critérios de desempenho**. (Com idêntico significado, o CIB W60⁸ (1982) adota o termo "selecting criteria", cuja tradução literal seria "critério de seleção". Porém, como no Brasil já se consagrou o termo "critério de desempenho", será adotado no presente trabalho).

Critério de desempenho é um padrão através do qual a adequação de uma solução pode ser julgada. Os critérios de desempenho devem representar, em cada situação, as características de desempenho mais importantes, determinantes da aceitação ou não de uma solução, ou no nosso caso, do limite máximo de degradação.

Segundo o CIB W60⁸(1982) a quantificação dos critérios de desempenho, de posse dos requisitos de desempenho pode ser feita por cinco maneiras diferentes:

- 1) seleção subjetiva, baseada nos conhecimentos de um especialista ou grupo de especialistas;
- 2) seleção baseada nos ensaios disponíveis;
- 3) seleção baseada na análise funcional do produto;
- 4) seleção baseada no estudo de produto em uso (através de estudos de patologias ou levantamentos de campo);
- 5) seleção através da pesquisa exaustiva das exigências do usuário.

É certo que estas formas básicas podem ser combinadas de diversas maneiras, de forma a atender às necessidades e aproveitar todas as potencialidades de cada situação.

O critério do desempenho, quando se analisa durabilidade, é chamado desempenho mínimo aceitável.

Deve-se observar que a determinação do desempenho mínimo aceitável é ponto crítico na determinação da vida útil. Uma pequena redução no desempenho mínimo aceitável pode, em algumas situações, ocasionar um aumento substancial na vida útil de um componente: Este efeito é tanto maior quanto menor for a taxa de degradação do componente (Figura 2.2).

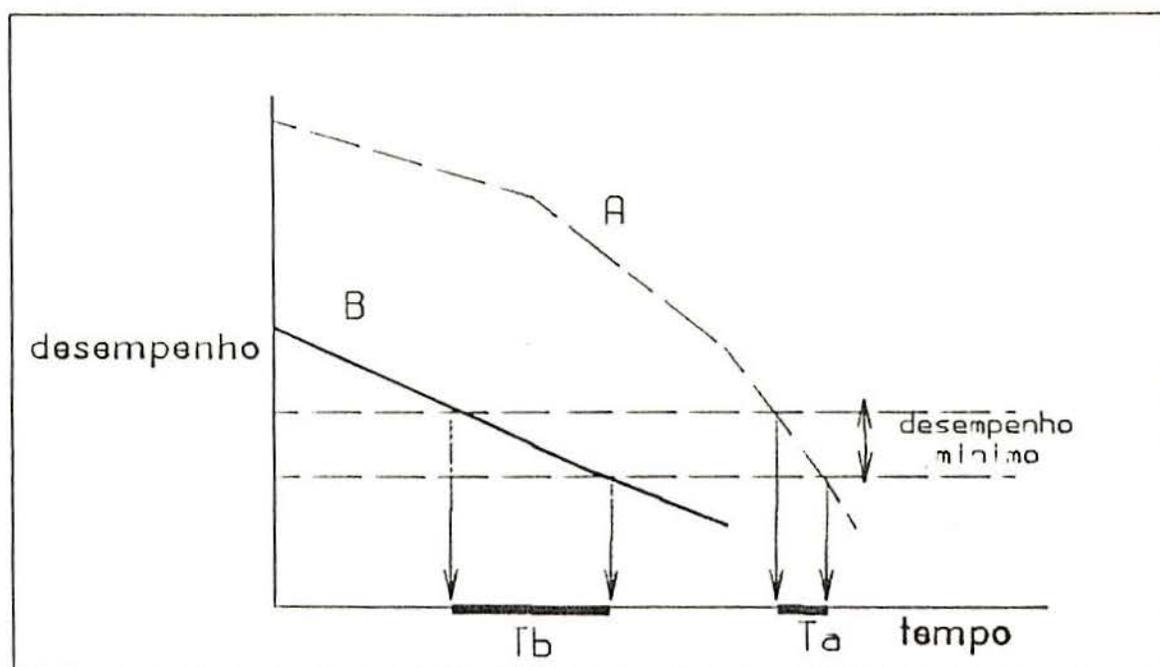


FIGURA 2.2 - Influência do desempenho mínimo aceitável na determinação da vida útil.

2.3 - Especificidades da aplicação do desempenho na avaliação da durabilidade

A durabilidade é uma das exigências do usuário. Porém, a avaliação desta exigência contém uma especificidade: a durabilidade é limitada pelo período durante o qual o produto atende as demais exigências do usuário.

Então a avaliação da durabilidade consiste na avaliação das demais exigências dos usuários, repetida periodicamente durante a exposição do produto aos fatores de degradação. A Figura 2.3 ilustra este processo.

Este procedimento pode ser oneroso tornando, então, necessária uma simplificação do processo. Esta simplificação é realizada pelo acompanhamento da perda de desempenho de forma indireta, através de características específicas do material, que sejam **indicadores da degradação**.

O CIB/RILEM⁹ (1983) define indicadores de degradação como propriedades específicas mensuráveis que expressam a extensão da degradação. (A ASTM² E632-78 chama estas propriedades de características críticas do desempenho).

Porém, os indicadores de degradação selecionados em

cada situação necessitam estar relacionados com a perda de desempenho, de maneira a representar esta perda de desempenho ao menos em seus aspectos mais relevantes.

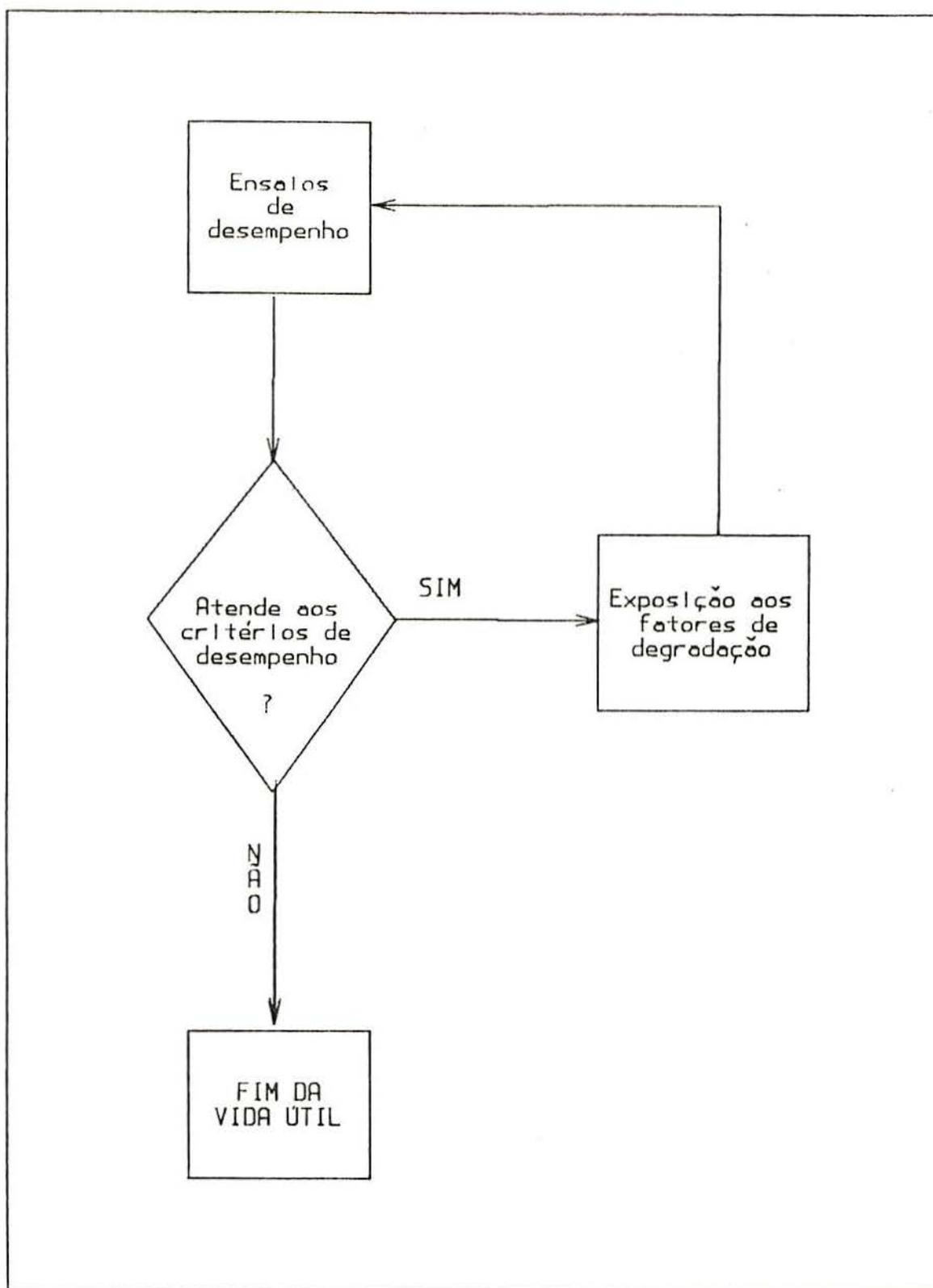


FIGURA 2.3 - Estimação da vida útil pela repetição periódica de ensaios de desempenho.

2.3.1 - Seleção dos indicadores de degradação

A seleção destes indicadores é condicionada a um prévio conhecimento dos efeitos do ambiente sobre o objeto em uso e da função que o objeto desempenha na construção (Figura 2.4).

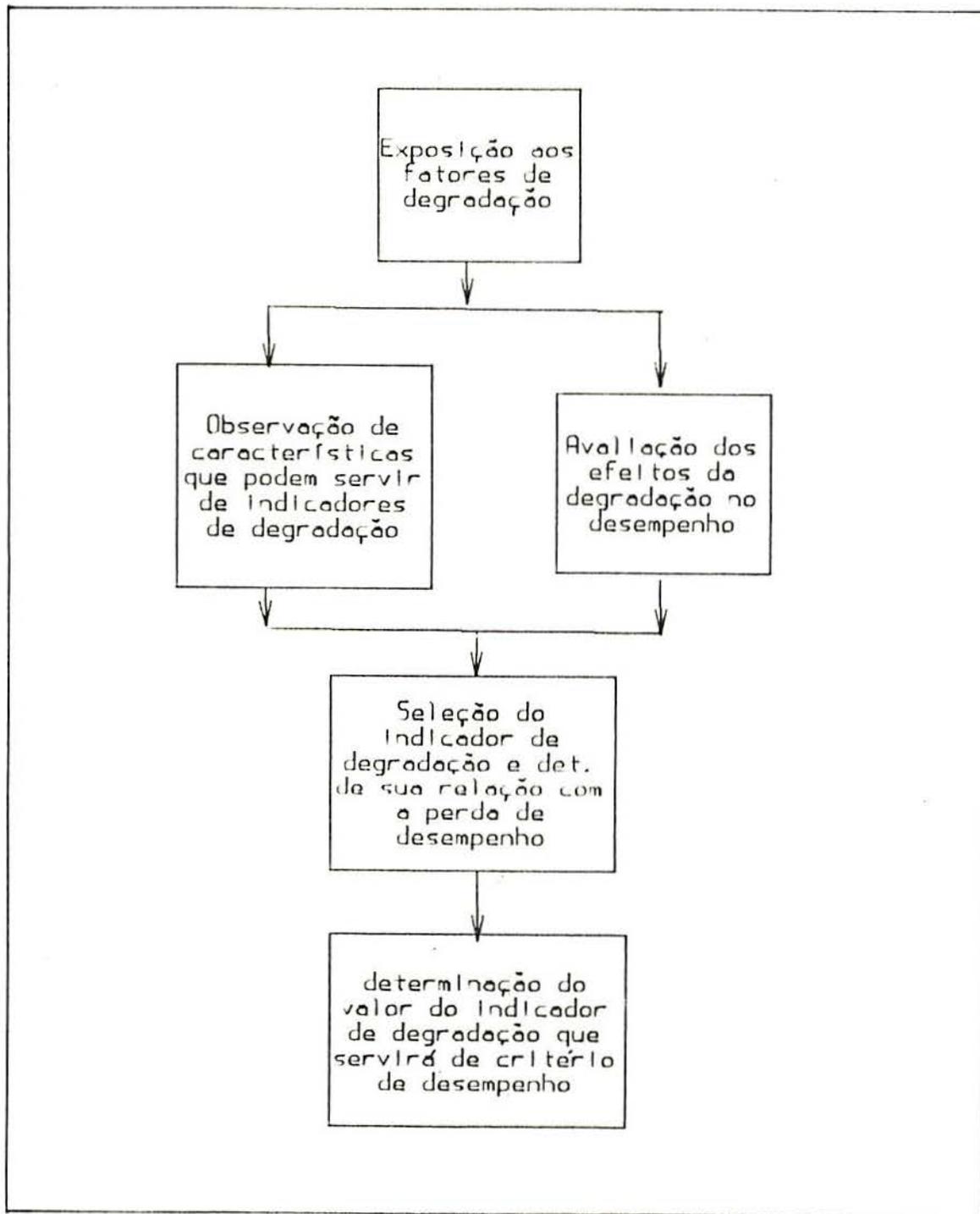


FIGURA 2.4 - Seleção dos indicadores de degradação e determinação de sua relação com o desempenho para uma situação específica.

Por exemplo, acompanhar a evolução do desempenho no tempo de uma determinada tinta pela variação de sua cor somente será admissível se as exigências de conforto visual forem determinantes, pois mesmo após ter perdido sua cor original a tinta poderá ter, ainda, capacidade de proteger o substrato da corrosão.

TABELA 2.4 - Mudanças observáveis

a) **Por inspeção visual**

- 1) crescimento de microorganismos
- 2) aparência geral
- 3) pulverulência
- 4) fissuras
- 5) separação de fibras
- 6) descolamento
- 7) escamamento
- 8) empolamento
- 9) eflorescência
- 10) rupturas

b) **Mudanças mensuráveis**

- 1) cor
 - 2) espessura
 - 3) reflectância
 - 4) névoa
 - 5) transparência
 - 6) textura
 - 7) resistência a abrasão
 - 8) dureza
 - 9) lavabilidade
 - 10) molhabilidade superficial
 - 11) absorção d'água
 - 12) permeabilidade ao vapor
 - 13) dimensões
 - 14) propriedades térmicas
 - 15) propriedades elétricas
 - 16) deformação na ruptura
 - 17) deformação permanente
 - 18) resistência ao descascamento
 - 19) resistência a flexão
 - 20) resistência ao rasgamento
 - 21) resistência a impactos
 - 22) resistência a fadiga
 - 23) resistência a tração
 - 24) resistência a compressão
 - 25) resistência ao corte
 - 26) módulo de tração
 - 27) módulo de compressão
 - 28) módulo de corte
 - 29) aderência
-

(Fonte: ASTM²E632-78).

Assim, um mesmo objeto poderá ter, em situações ambientais diferentes e/ou em funções predominantes diferentes, indicadores de degradação.

O indicador de degradação selecionado deve ter uma relação forte com o desempenho. A determinação dos parâmetros desta relação é fundamental para a determinação do valor mínimo aceitável, que servirá de critério de desempenho.

A ASTM²E 632/78 apresenta uma lista de indicadores de degradação para auxiliar na observação das mudanças observáveis em materiais e componentes de edificações (Tabela 2.2).

Evidentemente alguns destes indicadores de degradação aqui colocados como mensuráveis podem, com um grau de precisão menor, serem avaliadas por inspeção visual.

Esta lista não é uma lista exaustiva, sendo, portanto, necessário em cada situação, baseado nos conhecimentos patológicos do material em estudo, avaliar a possibilidade de inclusão de outras características, além das selecionadas da tabela 2.2. Como exemplo disto, o apodrecimento de madeiras pode ser avaliado pela perda de massa do material.

Porém, vale a pena repetir, estes indicadores de degradação não podem substituir a avaliação do desempenho, mas apenas constituem-se em ferramental que possibilite facilitar a aplicação do conceito de desempenho na avaliação de durabilidade.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIAS PARA PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIAS PARA PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

Neste capítulo são apresentadas, numa abordagem crítica, as formas de emprego de toda esta teoria para a quantificação da durabilidade esperada do produto, em estudo, quando em uso. Como será visto, a diversidade de condições e objetivos em que os estudos são realizados, determinam especificidades nos métodos utilizados.

3.1 - Formas de prever a vida útil

Existem, basicamente, duas fontes de dados para o estudo de previsão de vida útil do edifício e suas partes.

Quando se trata de estudar materiais e componentes "tradicionais" a longa experiência no uso destes produtos, apesar de mal documentada, constitui-se numa fonte preciosa para o estudo, sendo possível, a partir destes dados, estimar a sua vida útil.

Porém, quando se trata de estudar materiais e componentes com características novas, ou de materiais tradicionais em ambientes não tradicionais, é necessário recorrer a métodos de ensaios de envelhecimento, de maneira a **simular** a experiência do material em uso.

Pode-se agrupar os métodos de previsão de vida útil em torno de três grupos: ensaios de envelhecimento acelerado, ensaios de envelhecimento natural, ambos ligados a estudos de laboratório, e inspeções ou levantamentos de campo.

3.1.1 - Ensaio de envelhecimento acelerado

Como o envelhecimento em condições ambientais é sempre demorado, desenvolveu-se o que se chama de "ensaio de envelhecimento acelerado", onde geralmente através da simulação

dos fatores de degradação, em intensidades acima das esperadas em serviço, acelera-se o processo de degradação do componente.

Em outras palavras, "ensaio de envelhecimento acelerado é o ensaio de envelhecimento no qual a degradação do componente é intencionalmente acelerada a taxas acima das esperadas em serviço" (CIB/RILEM,⁹ 1983).

Nireki³¹ (1980) divide os testes de envelhecimento acelerado conforme seus objetivos:

1) avaliação da durabilidade relativa do material sob certas condições, sem considerar a relação entre as condições de envelhecimento e as condições de uso; e,

2) avaliação da durabilidade sob certas condições de aceleração da degradação considerando o fator de aceleração em relação às condições de uso.

Os primeiros formam a grande maioria dos ensaios de durabilidade até hoje desenvolvidos. Possibilitam simplesmente a comparação dos resultados obtidos com o produto ensaiado, com resultados da exposição de produto padrão, a idênticas condições. Estes ensaios são conhecidos como ensaios "comparativos". O trabalho realizado pelo IPT, a pedido do BNH apresenta uma série de ensaios, muitos baseados em normas da ABNT, ASTM e DIN, e que tem estas características.

Apenas os ensaios do segundo tipo possibilitam a previsão da vida útil, pois relacionam através do fator de aceleração, à degradação observada em laboratório (acelerada) com a esperada em campo.

O desenvolvimento de testes de envelhecimento acelerado para previsão da vida útil, com maior confiabilidade, tem sérios problemas:

1) os fatores de degradação que afetam a vida útil, são variáveis e de difícil simulação em laboratório;

2) os fatores de degradação são numerosos e não são conhecidos profundamente, particularmente no que diz respeito ao sinergismo entre os diversos fatores. Este sinergismo também é de difícil simulação;

3) os mecanismos de degradação são extremamente complexos e mal compreendidos;

4) é difícil testar em laboratório, componentes em configuração de uso, o que dificulta sensivelmente a correlação com as condições de serviço;

5) a determinação da relação entre a intensidade de alguns fatores ambientais e a intensidade mantida em ensaios de envelhecimento acelerados, dificilmente pode ser precisada do ponto de vista físico. Nireki³¹ (1980) compara a intensidade solar para diversos ângulos de exposição com a intensidade da radiação emitida por uma lâmpada de arco de carbono, utilizada para simular a radiação solar em ensaios acelerados. Dependendo do ângulo de exposição à relação entre a intensidade de laboratório e a observada em campo varia mais de 400%!

6) enfrenta-se dificuldades em estimar a confiabilidade dos resultados também diante do grau desconhecido de variabilidade das condições de exposição, de maneira a tornar possível a estimação da vida útil média esperada para uma população, presumivelmente representada pela amostra ensaiada.

O CSTC/IC-IB/SECO⁴⁴ (1979) apresenta um quadro que sintetiza a origem dos problemas de confiabilidade enfrentados em ensaios de desempenho, traduzidos na forma de discordâncias entre a situação real e a simulada de maneira simplificada (Tabela 3.1), e que é aplicável aos ensaios de envelhecimento acelerados.

Por outro lado, entre as vantagens apresentadas por este tipo de método, destaca-se o rígido controle do ambiente de exposição a que é submetido o componente. Também as medições da degradação podem ser feitas de maneira precisa e através do indicador mais adequado, uma vez que se conta com a possibilidade de utilização de sofisticados equipamentos. No entanto, este controle estrito sobre as condições de exposição e a possibilidade de aferição numericamente exata da degradação, frente aos problemas já descritos anteriormente, dão uma idéia de exatidão, que muitas vezes pode ser enganosa, frente a variabilidade das condições de exposição e características dos produtos.

TABELA 3.1 - Síntese da origem dos problemas enfrentados na aplicação de ensaios de desempenho.

(Fonte: CSTB/IC-IB/SECO, 1979).

REALIDADE	SIMULAÇÃO
Produtos	
Produto real	Amostra
Produto montado	Produto isolado
Mão-de-obra real	Mão-de-obra ideal
Agentes	
Combinação real	Agentes isolados
Intensidade real variável	Intensidade majorada fixa
Frequência real variável	Frequência acelerada fixa
Método de avaliação	
Fenômeno real	Fenômeno simplificado
Medida real	Medida a interpretar

Este tipo de método é insubstituível, já que seu uso é um imperativo para estudos de durabilidade de materiais novos.

Na Figura 3.1 é apresentado o esquema de dispositivo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas em Edificações da Noruega, para realização de ensaios de envelhecimento acelerado, com a simulação das intempéries.

A máquina consiste de uma câmara circular central (E) e três "boxes" fixos (A, B, C) onde são simulados os fatores ambientais. Dentro da câmara central estão os quatro suportes para os corpos de prova (1, 2, 3 e 4).

A câmara central move-se 90° em intervalos de tempo pré-fixados, normalmente a cada uma hora, expondo as diversas amostras, seqüencialmente, em ciclos normais de 4 horas, aos seguintes fatores ambientais simulados:

- a) radiação solar (pelo uso de lâmpadas);

b) umidade (pela vaporização de água);

c) resfriamento;

d) condições ambientais do interior do edifício, com possibilidade de inspeção e troca de amostras sem parar o equipamento.

O tempo de exposição total normalmente dura de 56 a 112 dias (Gjelsvik¹⁶ 1983) e pode-se obter uma aceleração de aproximadamente 13 vezes.

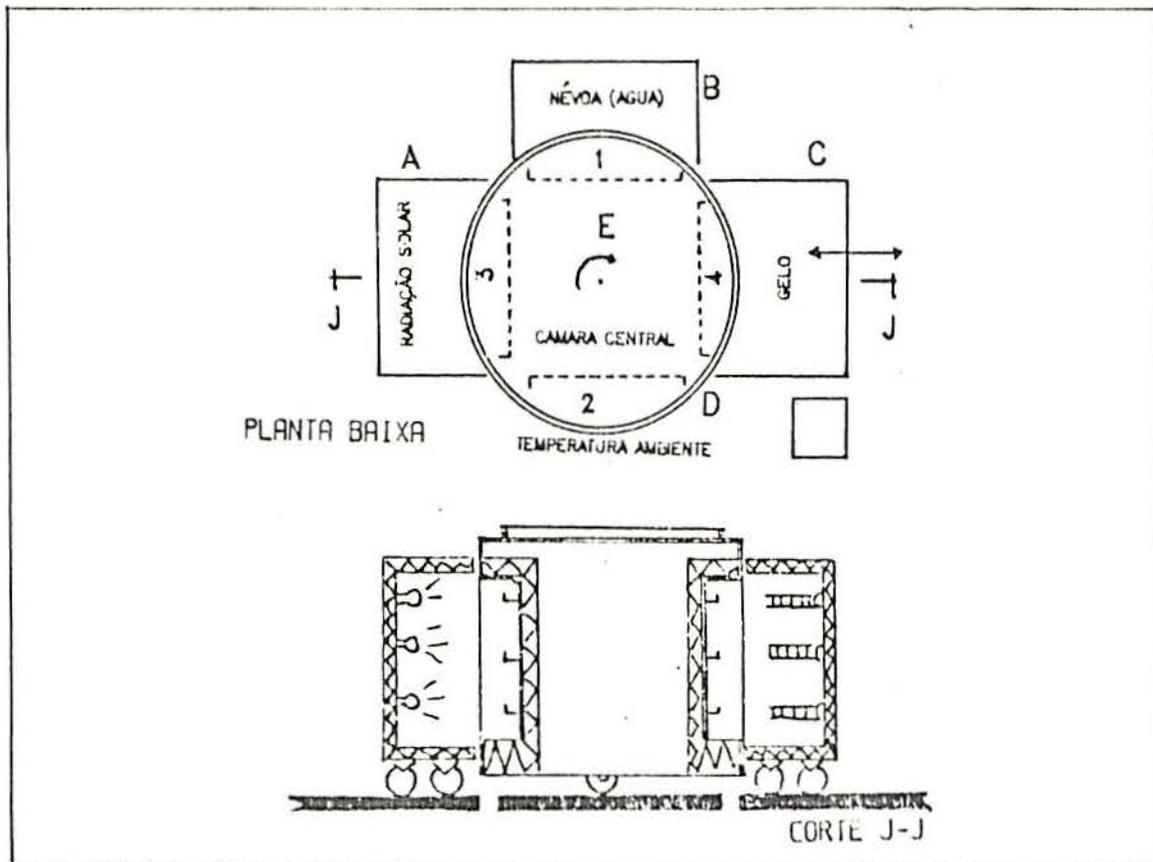


FIGURA 3.1 - Esquema de dispositivo para envelhecimento acelerado pela exposição às intempéries (Gjelsvik,¹⁶ 1983).

3.1.2 - Ensaio por envelhecimento natural

São testes onde as amostras do material são expostas ao meio ambiente natural. Para tal, conforme o uso a que se destina o produto, as amostras são expostas a ambientes internos de edifícios, ou a ambientes externos, às intempéries. Por exemplo, a NBR 6209/80 - Materiais Metálicos não revestidos -

Ensaio não acelerado de corrosão atmosférica -, regula a exposição dos corpos-de-prova formando um ângulo de 30° com a horizontal, na direção norte, ao ar livre. Normalmente, estes ensaios são mais demorados que os ensaios de envelhecimento acelerado, porém, mais baratos.

Estes tipo de ensaio oferece algumas vantagens em relação aos ensaios de envelhecimento acelerado, ao dispensar a simulação de fatores de degradação e sua sinergia, que como já foi dito, é sempre problemática.

O emprego destes ensaios também é recomendado pela ASTM² E632-78 e pelo CIB/RILEM⁹ (1983) no desenvolvimento de ensaios de envelhecimento acelerado, com o objetivo de checar se os processos de degradação introduzidos pelos ensaios acelerados coincidem com os observados no envelhecimento natural. Também são necessários para determinar o fator de aceleração introduzido pelo envelhecimento acelerado nos testes de previsão de vida útil. Como exemplo do emprego combinado de ensaios de envelhecimento acelerado e natural, pode-se citar o estudo realizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas- IPT por Flauzino e Uemoto¹² (1981) sobre a degradação de chapas onduladas de poliéster reforçado com fibra de vidro e também de pinturas externas.

Porém esta metodologia também apresenta problemas, alguns dos quais coincidentes com os dos ensaios de envelhecimento acelerado:

- 1) os componentes e/ou materiais não são testados na configuração de uso o que dificulta a correlação com as condições reais de serviço;

- 2) não levam em consideração os fatores de uso, e inclusive a sinergia entre estes e os fatores ambientais;

- 3) não são representativos da variação das condições de exposição, sendo difícil prever a vida útil de uma população.

A Tabela 3.2 resume as origens destes problemas.

Nireki³¹ (1980) demonstra a variabilidade dos resultados de ensaios de envelhecimento por exposição natural, em função da diferença de deterioração ocasionada pelas variações

nas orientações e ângulo de exposição, tamanho e forma da amostra ensaiada e também na localização de exposição.

TABELA 3.2 - Resumo das origens dos problemas enfrentados no emprego de ensaios de envelhecimento natural.

REALIDADE	SIMULAÇÃO
Produtos	
População de produtos	Amostra
Produtos montados	Produtos isolados
Mão-de-obra real	Mão-de-obra ideal
Agentes	
Intensidade variável	Intensidade fixa
Eventual incidência de fatores de uso	Fatores de uso desconsiderados
Método de Avaliação	
Fenômeno real	Fenômeno simplificado
Medida real	Medida a interpretar

Conforme o ângulo de exposição, segundo Nireki (1980), variam: a) a composição da radiação solar; b) o fluxo de água de chuva sobre a amostra; c) a sedimentação de poeira, o que causa grandes variações nos resultados. Também, segundo Nireki (1980), a forma da amostra pode introduzir erros: chapas de aço dobradas estão mais propensas a corrosão nas partes curvas, por exemplo.

O IPT/SP mantém vários "campos de apodrecimento" de madeiras, com finalidade de estudar a sua durabilidade, além de uma estação de envelhecimento para ensaios com outros materiais.

3.1.3 - Levantamentos de campo

Como já foi colocado, os levantamentos de campo (ou inspeção de campo) visam obter informações para a previsão da

vida útil, através do estudo de um universo de edificações em uso. Porém podem ser realizados com finalidades mais específicas, como determinação das patologias mais frequentes e inclusive, estimação dos custos de correção destas patologias, como no estudo realizado pelo National Swedish Institute for Building Research em toda a Suécia, entre 1981 e 1982 (CIB/RILEM⁹ 1983).

O Departamento de Edifícios Públicos do Ministério da Construção do Japão, emprega um método de levantamento de campo, apresentado por Ishizuka²² (1983), para acompanhar a necessidade de reconstrução, ampliação e modificações nos edifícios e avaliar a influência do clima e localização da edificação no processo de degradação dos materiais. O método permite, inclusive, a **previsão da vida útil dos componentes** correlacionando a degradação média observada com a idade dos prédios. Este trabalho, que será detalhado e testado, abre nova perspectiva para estudos de durabilidade, visando a seleção de materiais, componentes e projetos tipo mais duráveis em cada caso.

Os levantamentos de campo podem ser realizados, conforme os objetivos, através de amostragem, estatística ou não.

As amostragens estatísticas são adotadas sempre que se queira generalizar os resultados, para determinada população e não seja viável o levantamento de todo o universo. A população pode ser definida, por exemplo, pelo tipo de uso dos prédios, pelo seu projeto tipo, pela delimitação de área geográfica, ou ainda, pelo clima. Normalmente a amostragem é **estratificada** de acordo com as subpopulações que sejam importantes considerar. Um exemplo de levantamento com o uso de amostragem estatística estratificada, é o trabalho realizado pela National Swedish Institute for Building Research, já citado.

O processo de amostragem não estatística é usado quando não existe a necessidade de generalização. Via de regra, tais estudos têm o objetivo de comparar os dados de campo com dados já obtidos em laboratório. O CIB/RILEM⁹ (1983) cita um trabalho conjunto realizado por institutos de pesquisas de diversos países nórdicos sobre o desempenho de chapas metálicas para uso no envelope externo de edifícios, revestidas de diversos compostos. Para acompanhar o processo de degradação foram

selecionados edifícios, de várias idades, situados em quatro localidades diferentes com climas de diferentes características. Os resultados foram comparados com os obtidos em ensaios de envelhecimento acelerado dos mesmos materiais.

Os levantamentos de campos detêm algumas qualidades importantes:

1) possibilitam uma apropriação da importância acumulada no emprego de um grande número de materiais e componentes;

2) avaliam os produtos em condições reais de uso já montados, refletindo inclusive o efeito do desgaste devido ao uso e abuso, os procedimentos construtivos, programas de manutenção, e sinergia entre todos os fatores, etc.;

3) estudam os materiais efetivamente empregados, com toda a variabilidade de qualidade que é observada, principalmente em países onde o controle tecnológico de materiais de construção é precário, como é o nosso caso;

4) permite, através da seleção de amostras estatísticas, que a variabilidade das condições de exposição observada no universo em estudo, seja medida estatisticamente, de maneira a fornecer estimativas da vida útil da população, com confiabilidade conhecida.

O principal limite deste método é que sua aplicação é restrita unicamente a produtos com alguma experiência em uso, restando para novos produtos a realização de ensaios de laboratório, com o uso dos métodos anteriormente descritos.

Também os levantamentos de campo dificultam a realização de medições mais precisas, que implicariam algumas vezes na utilização de instrumentos delicados, ou de maiores dimensões, que são, por estas razões, difíceis de serem transportados a campo. Também alguns componentes estão localizados, quando em uso, em sítios inacessíveis, fato que pode inviabilizar qualquer avaliação direta de seu grau de degradação, e/ou desempenho.

Os produtos avaliados, além disso, não têm suas condições de exposição, principalmetne as pregressas, sob controle estrito. E, finalmente, sua pré-história também não é, na maioria das vezes, controlada, ou seja, as condições em que foram empregadas não é conhecida, dificultando a avaliação da degra-

dação como processo.

Estas limitações devem ser cuidadosamente consideradas no emprego deste tipo de método.

3.2 - Exemplos de metodologias

São apresentadas, a seguir, dois exemplos de metodologias. A primeira, relativa a ensaios de envelhecimento acelerado. A segunda, envolve levantamentos de campo.

3.2.1 - Metodologia proposta pelo CIB/RILEM⁹

A metodologia é aplicada no desenvolvimento de ensaios de envelhecimento acelerado. A essência da proposta consiste em estabelecer uma correlação cuidadosa entre os testes de envelhecimento acelerado, realizados em laboratório, e o envelhecimento natural, nas condições a que será exposto o elemento. Para isto a comissão de trabalho propõe um roteiro de análise, exposto na Figura 3.2, onde encontram-se sistematizados os passos de maneira a diminuir os erros de simulação e prever a vida útil nas condições esperadas com o máximo de confiabilidade. O método guarda grandes semelhanças com o proposto pela ASTM² E632 /78 .

A metodologia proposta é dividida em cinco grandes partes:

1) **Identificação do problema:** identificar o que deve ser parte integrante da análise, inclusive dados essenciais, como as necessidades do usuário, o contexto do edifício requisitos de desempenho, critérios de desempenho e caracterização dos componentes e materiais.

2) **Preparação:** trabalhando com as informações do item anterior, identificar os fatores de degradação, os possíveis mecanismos pelos quais agem estes fatores, bem como seus efeitos no desempenho e, finalmente, supor como a degradação pode ser acelerada para a realização de testes de envelhecimento acelerado.

3) **Pré-testes:** demonstrar quais mudanças rápidas nas

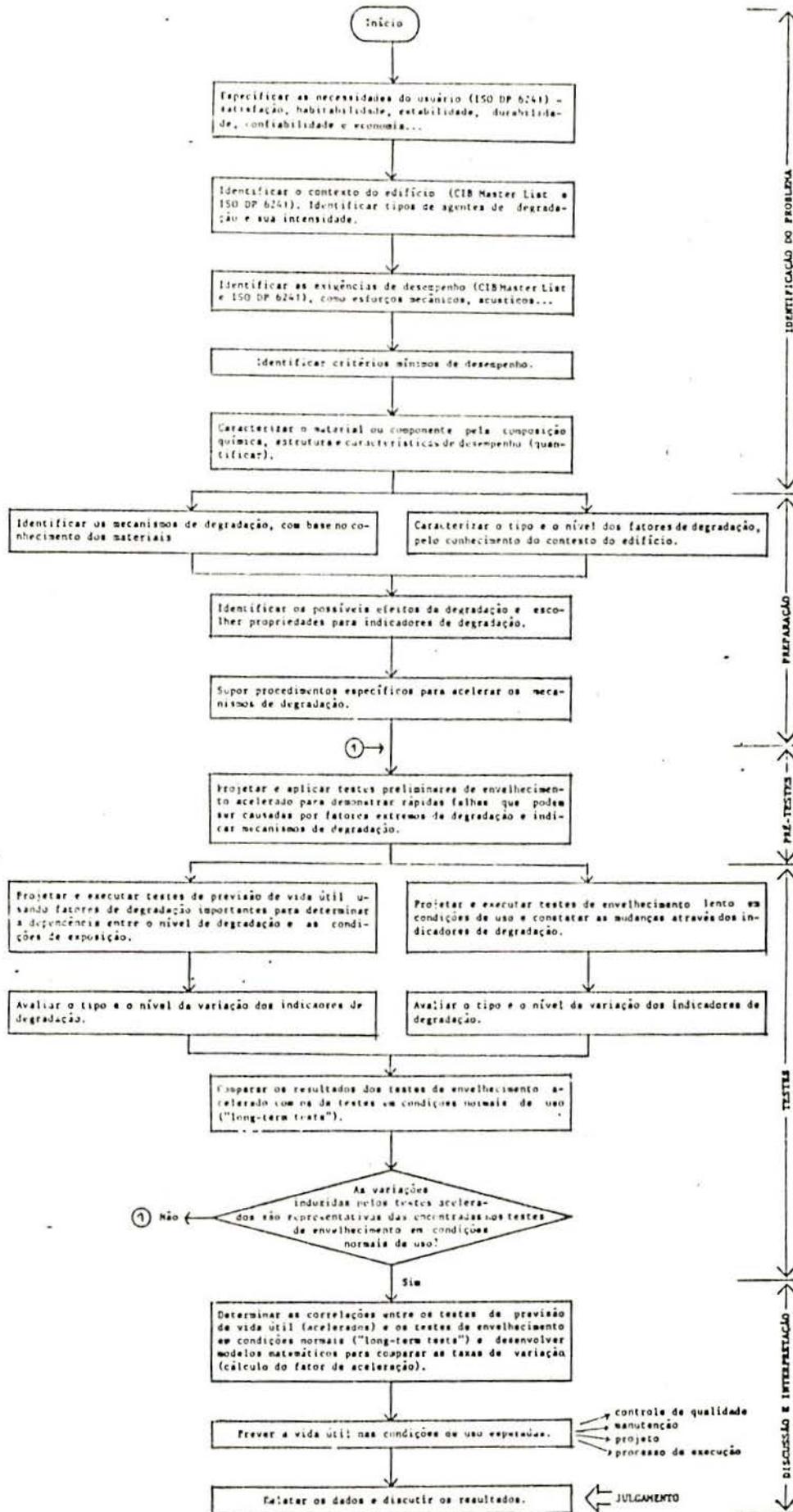


FIGURA 3.2 - Fluxograma da metodologia de desenvolvimento de ensaios de envelhecimento acelerado proposta pelo CIB/RILEM⁹ (1983).

propriedades do componente ou material podem ser induzidas por níveis extremos dos fatores de degradação. Estes resultados confirmam ou não os mecanismos de degradação antes identificados, e indicam o seu grau de importância. Avaliam também a intensidade dos fatores de degradação necessária a produzir rápidas deteriorações.

4) **Ensaio:** fornecem os dados necessários à previsão da vida útil, comparando as taxas de degradação com as condições de exposição. São necessários testes de envelhecimento natural para checar a degradação obtida em laboratório e medir as taxas de degradação em condições de exposição normal. Também deve ser considerada a possibilidade de sinergia entre os diversos fatores de degradação.

5) **Interpretação e discussão dos dados:** comparação das taxas de degradação em condições normais e em testes de envelhecimento acelerado, determinando o "fator de aceleração":

$$K = \frac{R_A}{R_N} \quad (3.1.)$$

onde:

R_A - taxa de degradação nos ensaios acelerados

R_N - taxa de degradação nos ensaios naturais

É necessário, porém, observar que freqüentemente o fator de aceleração não é dado por relação linear entre as duas taxas.

Os dados de controle de qualidade, de manutenção, projeto e processo de construção (fatores de uso) somente são considerados no final do processo, através do julgamento de especialistas. Porém, como a metodologia foi desenvolvida com o fim específico de prever a vida útil de elementos do envelope externo de edifícios, onde os fatores de uso são menos importantes, esta simplificação parece aceitável.

3.2.2 - Método desenvolvido pelo Min. Construção do Japão

O método consiste em processo de levantamento de campo.

Ele permite a previsão da vida útil através da avaliação de componentes com diversas idades de uso. Vem sendo empregado pelo Ministério da Construção do Japão - Departamento de Edifícios Governamentais - desde 1969 em edifícios de aço e concreto, destinadas a escritórios do governo japonês. Além disso, o método desenvolvido permite selecionar componentes mais duráveis nas condições reais de uso, considerando todos os fatores de degradação em suas intensidades (variáveis) efetivas, sua sinergia, etc.

A pesquisa é feita com periodicidade de cinco anos e consiste em uma inspeção de campo onde é avaliada visualmente, de maneira direta ou indireta, cada componente. Esta avaliação é expressa na forma de um índice de degradação, que é baseado na escala Tabela 3.3.

A rigor, o método consiste em uma avaliação direta, por parte do usuário ou do técnico, do desempenho em que é encontrado o componente. Baseada na tabela citada, o pesquisador expressa seu grau de satisfação frente a realidade que encontra.

Conforme Ishizuka²² (1983) os levantamentos mostraram que "para uma mesma idade os valores do índice de degradação apresentam extensa variação. Geralmente esta variação observa a distribuição normal."

A partir dos índices de degradação foram desenvolvidas as duas modalidades de previsão da vida útil de componentes, que exporemos a seguir.

3.2.2.1 - Estimação da vida útil pelo método do limite do desempenho

O método parte da premissa que a vida útil de uma população de componentes é determinada pela idade em que a degradação média da população atinge o desempenho mínimo aceitável.

Na escala de degradação antes apresentada, o índice de degradação cinco se situa no limite onde o desempenho começa a ser afetado. O campo "7-5" é o caracterizado pela existência

de "algumas partes degradadas e pela necessidade de reparos parciais". Já o campo "5-3" se caracteriza por "muitas partes degradadas e pela perda de desempenho significativa sendo necessários reparos generalizados para o prolongamento da vida útil".

TABELA 3.3 - Escala de degradação
(Fonte: Ishizuka, 1983)

ID	Descrição
10-9	Material ou componente sem degradação, ou degradação mínima.
9-7	Partes degradadas podem ser observadas, sem prejuízo no desempenho. Reparos maiores podem ser necessários.
7-5	Algumas partes estão degradadas, e reparos parciais são necessários.
5-3	Muitas partes estão degradadas e a perda de desempenho é significativa. A vida útil pode ser estendida se reparos generalizados forem executados.
3-1	O componente deve ser substituído

Além da coerência com a definição de vida útil adotada e que relacionada com a manutenção do desempenho acima dos níveis mínimos, demonstrada acima, é possível correlacionar a vida útil com a extensão das reparações necessárias para restauração do desempenho mínimo. Em condições normais, admite-se que durante a vida útil o produto sofra manutenção periódica de maneira a recompor, ao menos parcialmente, o desempenho já perdido até aquele momento (CIB/RILEM,⁹ 1983). Stone³(1980), formula mais claramente a questão, ao afirmar que "a substituição de partes menores de um componente é considerada manutenção."

Concluindo, a constatação da necessidade de reparos

generalizados para recuperação de desempenho pode ser aceita como indicação clara do fim da vida útil de um produto. Também por esta razão, é correta a afirmação de que a vida útil pode ser determinada pela idade em que, em média, os componentes apresentam um índice de degradação igual ou inferior a $ID=5$.

Para a determinação da vida útil, então, é plotada a curva índice médio de degradação (ID), versus idade. Esta curva é chamada linha de degradação (Figura 3.3).

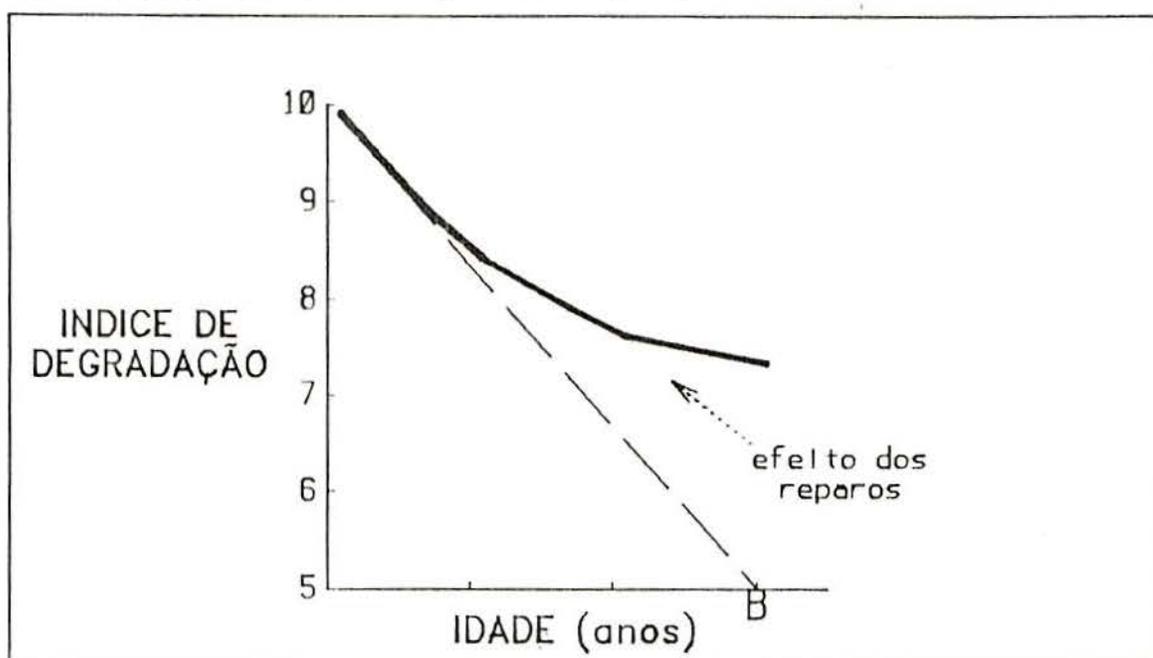


FIGURA 3.3 - Linha de degradação típica.

A estimação da vida útil é feita a partir do prolongamento da parte inicial da linha, onde a taxa de degradação se mantém constante. Desta maneira é desprezada a parte onde o efeito dos reparos torna-se significativo, diminuindo, aparentemente, a taxa de degradação.

A vida útil é dada desta maneira, pela intersecção entre o prolongamento da parte inicial da linha com a linha do $ID=5$, conforme anteriormente discutido (ponto B da Figura 3.3).

A Figura 3.4 apresenta resultados de estudos realizados pelo Ministério da Construção do Japão.

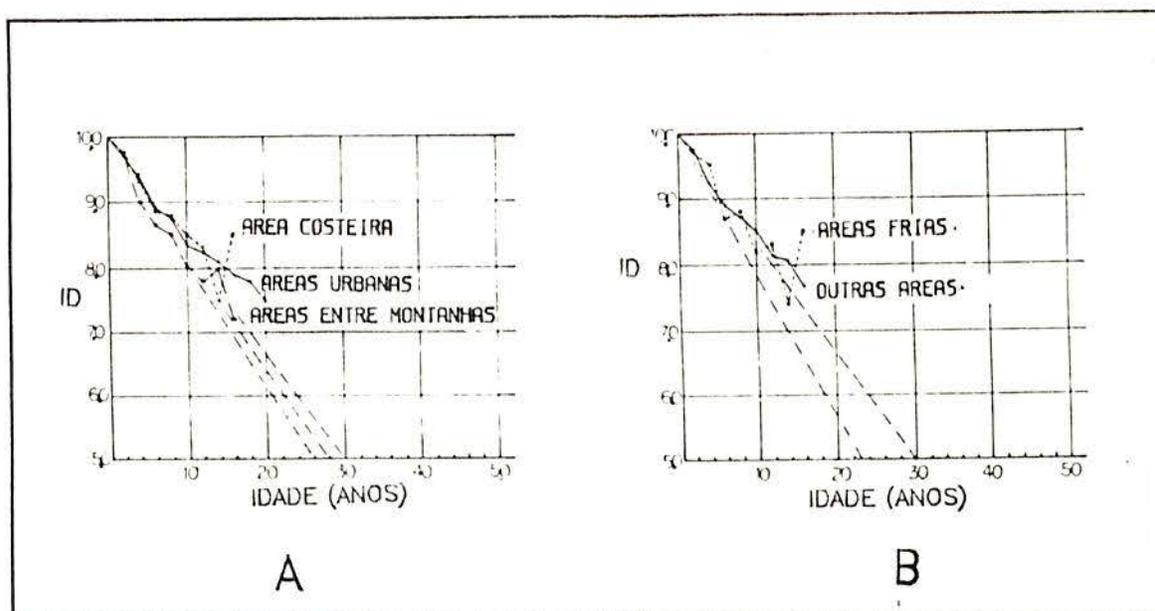


FIGURA 3.4 - Linhas de degradação de paredes externas com plaquetas (a) segundo localização e (b) segundo clima. (Fonte: Ishizuka,^{2,2} 1983).

3.2.2.2 - Estimação da vida útil pelo método da distribuição acumulada.

A segunda variante metodológica para previsão da vida útil a partir do levantamento dos índices de degradação é baseada nas "curvas de distribuição acumulada" das frequências de cada índice de degradação, em cada idade. Para facilitar a compreensão da metodologia, o processo será exposto através de um exemplo hipotético.

Exemplo: um levantamento de campo realizado em edifícios das mais diversas idades, onde se avaliava pisos em tacos de madeira, revelou os seguintes valores de ID nos edifícios com cinco anos de uso: 10; 9.7; 10; 10; 9.1; 10; 10; 10; 10; 10; 8.8; 9; 9.3; 10; 10; 10; 8.7; 10; 8.1; 9.2; 8.4; 10; 7.9; 8.0; 7; 7; 9.5; 8.9; 7.5; 7.9.

A Tabela 3.4 resume a distribuição de frequências.

As frequências acumuladas para outras idades são calculadas pelo mesmo método. Os dados assim obtidos possibilitam o traçado das curvas (Figura 3.5).

A linha que separa ID=8 de ID=7 é a linha que dá o limite de degradação a partir do qual o material deve sofrer reparos. Os pesquisadores japoneses estipularam que a inter-

seção da linha mencionada com a linha de frequência acumulada zero determina a vida útil do componente.

TABELA 3.4 - Frequência acumulada de ID, para 5 anos

Intervalo	Freq.Simples	Freq.Acumulada	Freq. Acum. (%)
(10 - 9)	18	18	60
(9 - 8)	6	24	80
(8 - 7)	4	28	95
(7 - 6)	2	30	100

Porém, as linhas possuem inflexões que expressam variações de velocidades de degradação. Na parte inicial da linha, o processo de degradação é mais lento, pois o material "encontra-se com uma sobre resistência inicial" (Ishizuka,^{2,2} 1983); na segunda parte, o processo de degradação atinge sua velocidade normal frente as perdas impostas pelos fatores de degradação durante o uso; na terceira parte, o efeito da degradação começa a ser reparado, de maneira significativa, o que reduz, aparentemente, a velocidade de degradação. Por esta razão, os pesquisadores propõem a determinação da vida útil não exatamente pela interseção da linha que separa ID = 8 de ID = 7 com a linha de frequência zero, mas pela interseção da reta tangente à segunda parte desta linha com a linha de frequência acumulada zero (na Figura 3.5 identificada pelo ponto "A").

O critério de determinação da vida útil, nesta modalidade, não é tão claro como na apresentada anteriormente. A interseção da linha que separa ID = 8 de ID = 7 com a reta de frequência acumulada igual a zero, representa a idade a partir da qual não existe **nenhum** componente que não tenha necessidade de reparos, mesmo os de pequena extensão. Deve-se aqui, anotar que tal critério adotado não concorda com os expostos na bibliografia disponível, já citada no item anterior.

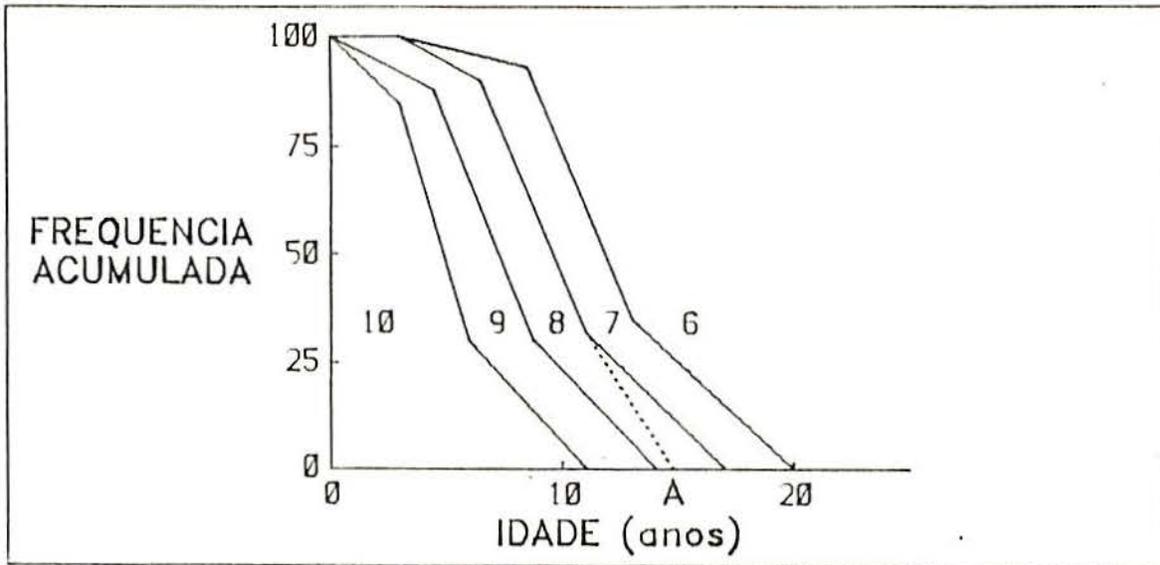


FIGURA 3.5 - Curva hipotética de distribuição acumulada.

A seguir são apresentados dois exemplos (Figura 3.6) obtidos pelo grupo de pesquisa do Ministério da construção do Japão (Ishizuka,²² 1983).

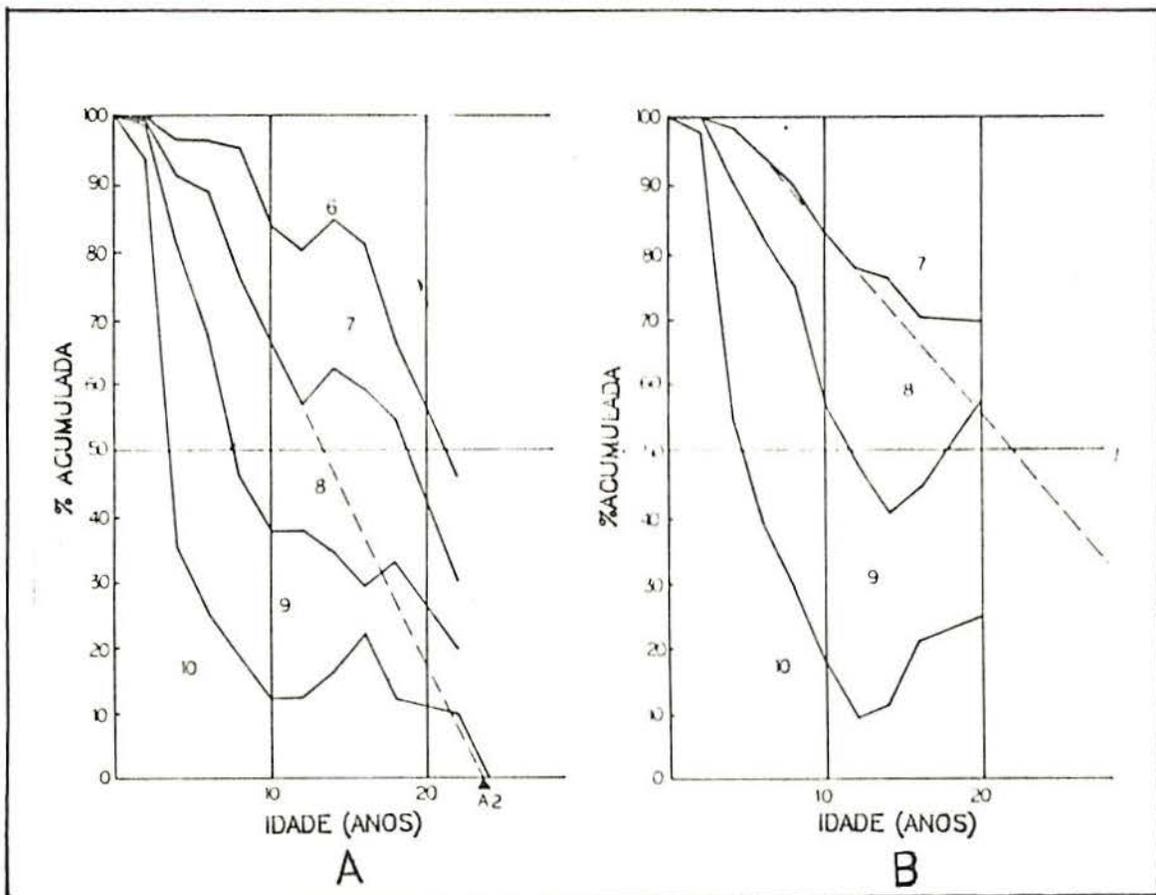


FIGURA 3.6 - Curvas de distribuição acumulada para (A) acabamentos exteriores em alumínio e (B) impermeabilizações asfálticas. (Fonte: Ishizuka,²² 1983).

CAPÍTULO 4

EMPREGO DO MÉTODO DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DESENVOLVIDO PELO MINISTÉRIO DA CONSTRUÇÃO DO JAPÃO

CAPÍTULO 4 - EMPREGO DO MÉTODO DE PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DESENVOLVIDO PELO MINISTÉRIO DA CONSTRUÇÃO DO JAPÃO

Para aplicação experimental foi selecionado o método de previsão da vida útil desenvolvido pelo Ministério da Construção Civil do Japão em função do que segue:

- a) o método não requer existência de laboratórios;
- b) permite o estudo de componentes e edifícios em uso, portanto, considerando todos os fatores de uso;
- c) permite a avaliação da degradação do ponto de vista do usuário;
- d) não existem no Brasil estudos com este tipo de abordagem visando a previsão da vida útil. Estudo similar foi feito pela equipe multidisciplinar do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, que sob coordenação do arquiteto Ricardo Leite, realizou a avaliação de degradação do Teatro Municipal de São Paulo, com objetivos terapêuticos.

Devido à limitação de tempo, das duas modalidades apresentadas por Ishizuka²² (1983) foi testada somente a do desempenho limitado. A escolha desta se deve ao fato de apresentar critério de fixação do desempenho mínimo mais claro (ver Capítulo 3).

4.1 - Preparo do levantamento

4.1.1 - Seleção do Universo de Estudo

Para realizar a previsão da vida útil de uma população com este método, pode-se adotar dois caminhos básicos: a) o acompanhamento de determinada população por longos períodos de tempo realizando levantamentos periódicos (processo descrito por Ishizuka²² 1983), e b) realizar, num determinado momento, um levantamento de uma população que seja composta por prédios de

várias idades.

O primeiro método é mais correto, demandando porém tempo de vários anos - o que na maioria das vezes o torna inadequado. O segundo é mais rápido, porém exige que o universo estudado seja composto de prédios de muitas idades, de maneira que esta "fotografia" reproduza uma curva que permita a avaliação da degradação no tempo. É, porém, menos correto, porque ao substituir a evolução do desempenho do conjunto dos prédios pelo desempenho, em um determinado momento, de prédios de várias idades pode, entre outros:

a) estar medindo não as variações do Índice de Degradação devido ao tempo de exposição aos fatores de degradação, mas diferenças no desempenho inicial, pois numa série histórica dificilmente os materiais, processos de construção e projetos permanecem iguais;

b) não considerar edifícios que já atingiram o fim da vida útil (e que faziam parte da população).

Quando do emprego destes métodos não for conveniente a investigação do conjunto da população é possível a adoção de amostra representativa desta população.

Em todos os casos o levantamento deve abranger uma série histórica a mais ampla possível, de maneira a evitar extrapolações, aumentando a confiabilidade, principalmente em processos que envolvam amostragem.

Também é importante que os prédios tenham suas características (materiais empregados e projetos) mantidas razoavelmente constantes no período analisado.

Foi selecionado para este estudo o universo das escolas públicas estaduais de Porto Alegre por se adequarem a um levantamento rápido (tipo fotográfico).

As escolas públicas encontram-se em precárias condições de conservação. Tal fato ganhou evidência por denúncias tanto da imprensa como do Centro dos Professores do Estado do Rio Grande do Sul (CEPERS), que inclusive realizou exposição de fotografias, em via pública, demonstrando tal fato.

Também parte do corpo técnico da Secretaria de Desenvolvimento de Obras - SDO-RS, particularmente os membros da 1ª.

residência de Porto Alegre sentiam o mesmo problema e buscaram contato com o CPGEC - Construção. Destes contatos surgiram uma série de discussões e palestras sobre os problemas enfrentados, resultando daí, este trabalho.

4.1.2 - Caracterização do Universo de estudo

Os dados deste item foram obtidos a partir de fichas de informação elaboradas por técnicos da SDO-RS e preenchidas pelos professores das respectivas escolas.

As escolas públicas estaduais de Porto Alegre comportam uma área construída de 244.325 m² distribuídos em 677 edifícios escolares. Estes edifícios estão distribuídos em 257 escolas.

Para fins de estudos, foi delimitado um período de 30 anos, de 1956 a 1985, o que representa 208.547m² 85,4% da área construída, distribuída em 578 edifícios. Este período garante uma uniformidade mínima nos projetos tipo e nos materiais empregados, especialmente em edifícios de madeira. A Tabela 5.1 apresenta resumo das características do universo estudado. Foi adotado como critério de classificação dos edifícios o material com o qual foram executadas as paredes externas, uma vez que observa-se que elas caracterizam em linhas gerais todo o produto (como tipo de janelas, de pavimentos, fundações, cobertura, forros...). Assim os edifícios são classificados em edifícios de alvenaria, edifícios de madeira e outros. A categoria "outros" da tabela identifica tanto os edifícios construídos com materiais diversos (chapas de fibro-cimento, por exemplo) quanto os edifícios que não foi possível classificar ou apresentam paredes mistas (alvenaria e madeiras...).

Os edifícios construídos em madeira, numericamente, significam 40,8% do total, contra 31,8% dos em alvenaria. Considerando porém a área construída os prédios de madeira se constituem em apenas 20,8% do total, contra 62% construídos em alvenaria. Estes fatos estão resumidos nas Figuras 4.1 e 4.2.

Os prédios de alvenaria são de maiores dimensões, apresentando uma área média de 702m² enquanto que os de madeira, mais numerosos, apresentam uma área média de apenas 184m².

TABELA 4.1 - Escolas públicas de Porto Alegre - Número de blocos e área construída por período de tempo e tipo de edifício.

PERIODO	AREA (m2)	NO. BLOCOS	MADEIRA		ALVENARIA		OUTROS	
			AREA (m2)	NO. BLOCOS	AREA (m2)	NO. BLOCOS	AREA (m2)	NO. BLOCOS
56 - 58	25912	70	10087	50	13210	7	2615	13
59 - 61	12068	28	2113	13	8539	5	1416	10
62 - 64	12749	57	4823	26	2646	5	5280	26
65 - 67	18975	45	986	7	14342	18	3647	20
68 - 70	41110	69	1869	12	32826	30	6415	27
71 - 73	19270	47	3892	20	8569	17	6809	10
74 - 76	21694	62	6245	27	12635	20	2814	15
77 - 79	27492	65	2594	14	22491	38	2407	13
80 - 82	19060	64	2942	15	12526	32	3592	17
83 - 85	10217	71	7911	52	1444	12	862	6
TOTAL	208547	578	43462	236	129228	184	35857	157

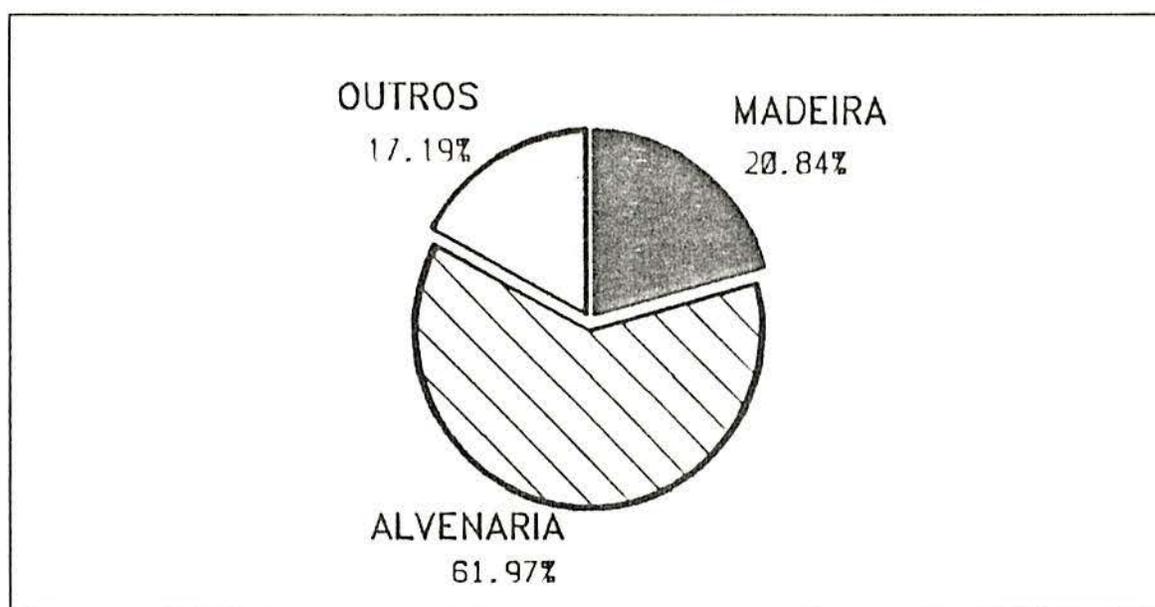


FIGURA 4.1 - Distribuição de área construída conforme tipo de edifício.

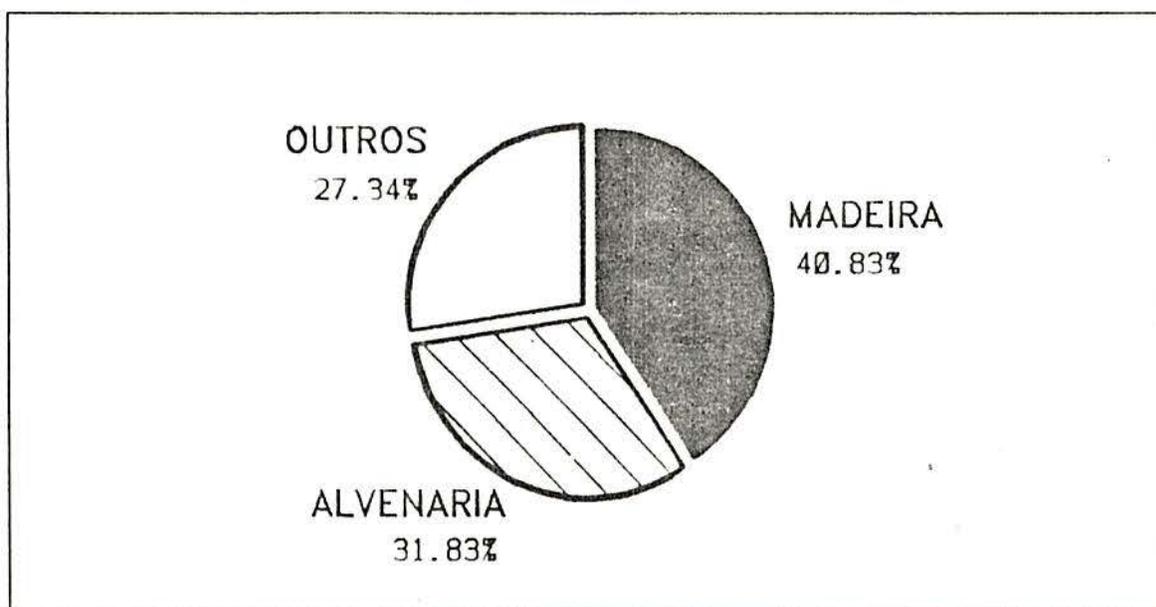


FIGURA 4.2 - Distribuição do número de edifícios construídos conforme tipo de edifício.

Os prédios de alvenaria são de maiores dimensões, apresentando uma área média de 702 m² enquanto que os de madeira, mais numerosos, apresentam uma área média de apenas 184m².

Observa-se também que parece não existir, por parte do governo, critério objetivo para a seleção do tipo de edifício a ser construído (exceto talvez o da rapidez de execução), pois é bastante comum a construção de diversos edifícios de madeira, pequenos, em uma mesma escola, bem como é comum a existência de edifícios de alvenaria com dimensões bastante reduzidas. Existe, no espaço de tempo analisado, períodos onde se constroem quase exclusivamente edifícios de madeiras. Em outros, a preferência recai sobre alvenarias... Este fato fica evidente se observadas as Figuras 4.3 e 4.4.

4.1.3 - O processo de amostragem

Dada a impossibilidade de realizar o levantamento no conjunto dos edifícios do universo selecionado foi feito um processo de amostragem.

Como ainda não se dispunha do cadastro completo de escolas, foi realizado um sorteio de trinta escolas e que totalizaram 82 edifícios.

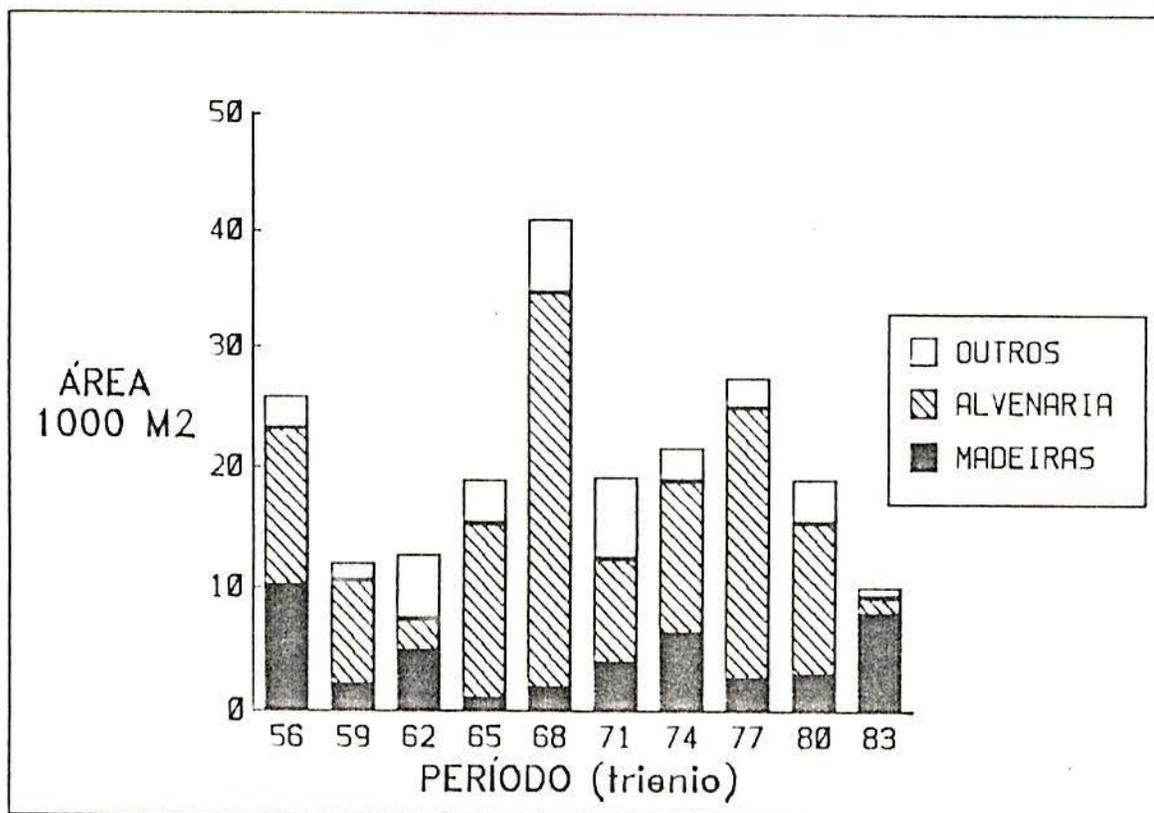


FIGURA 4.3 - Evolução da área total por tipo de edifício construído.

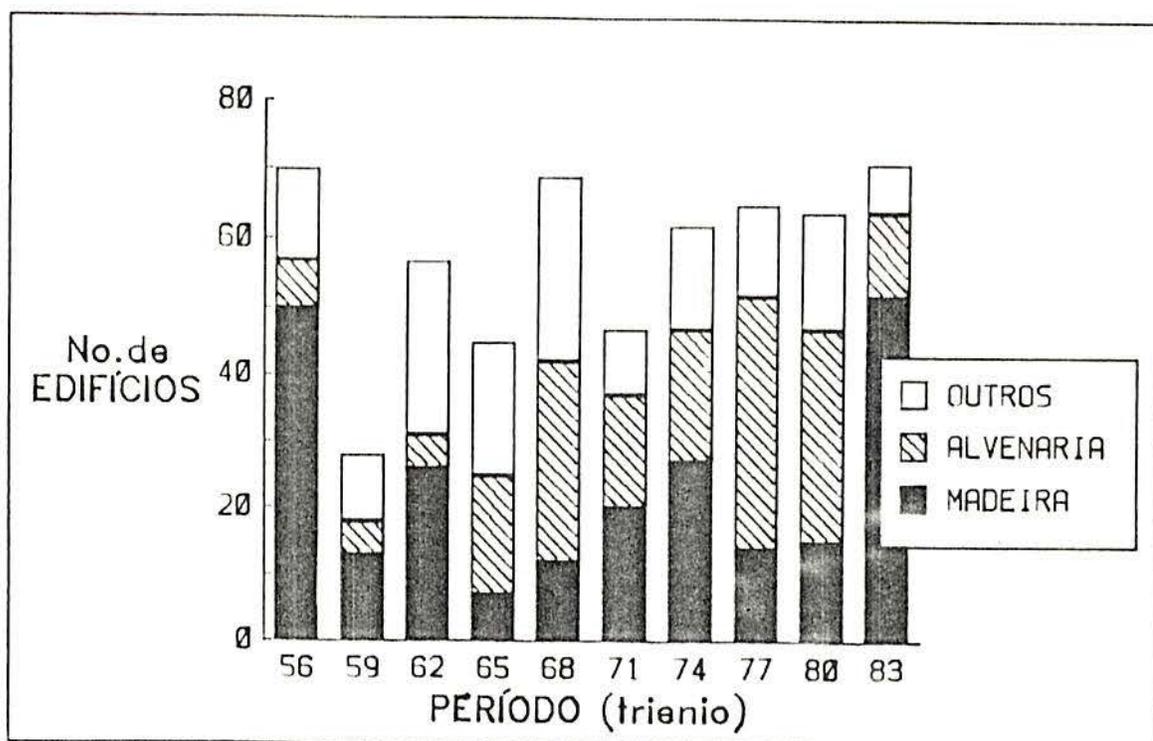


FIGURA 4.4 - Evolução do número de edifícios construídos conforme tipo, por período.

O levantamento foi realizado em 23 das 30 escolas sorteadas, perfazendo o total de 70 edifícios, representando 12,1% da população, o que se supõe ser uma amostra representativa do universo. As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam resumo das características da amostra. O Anexo I apresenta a lista das escolas pesquisadas.

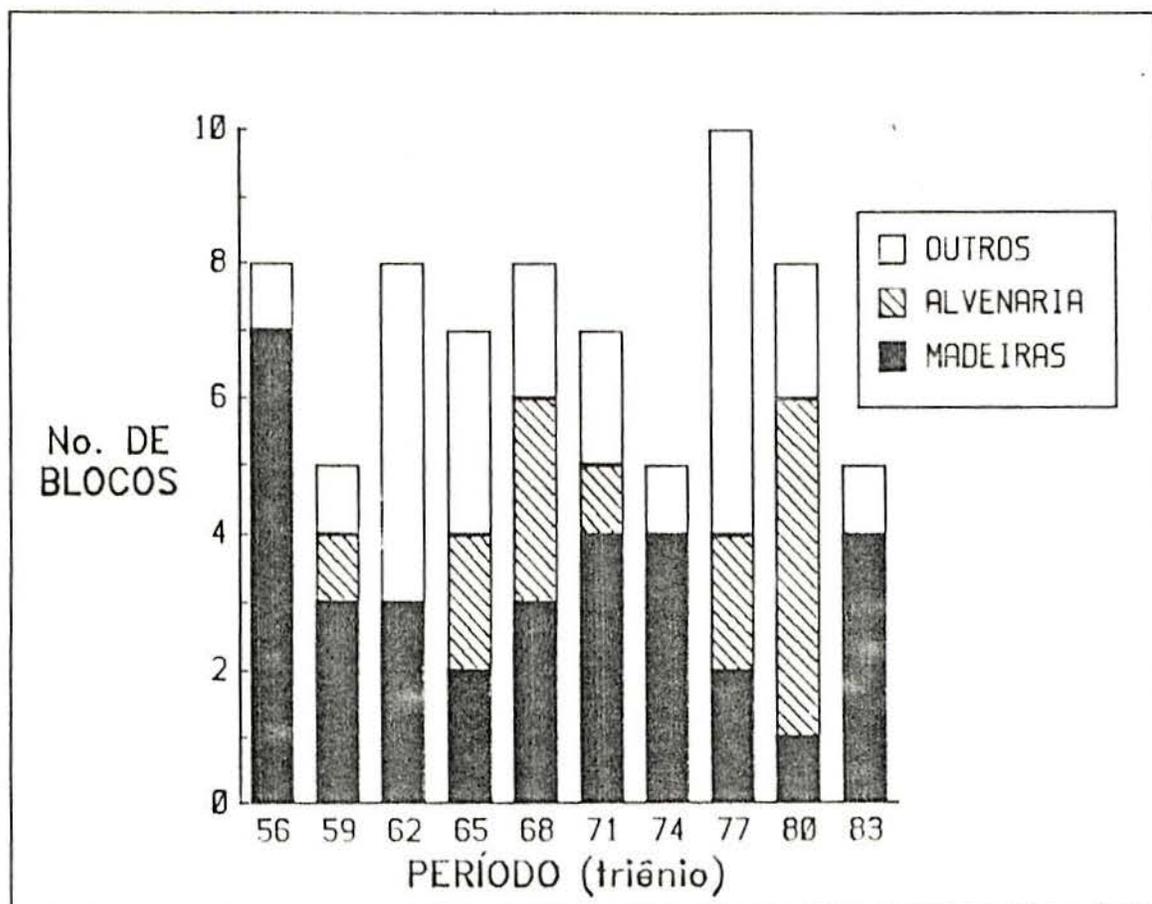


FIGURA 4.5 - Distribuição dos edifícios amostrados no tempo.

4.1.4 - Componentes estudados

Para o estudo foram selecionados apenas três componentes dos edifícios:

- a) janelas externas;
- b) paredes externas;
- c) pisos internos.

Na seleção destes componentes foram adotados os crité-

rios: a) para facilitar o levantamento, os componentes deveriam ser de fácil inspeção; e b) que estivessem submetidos a diferentes esforços durante sua utilização.

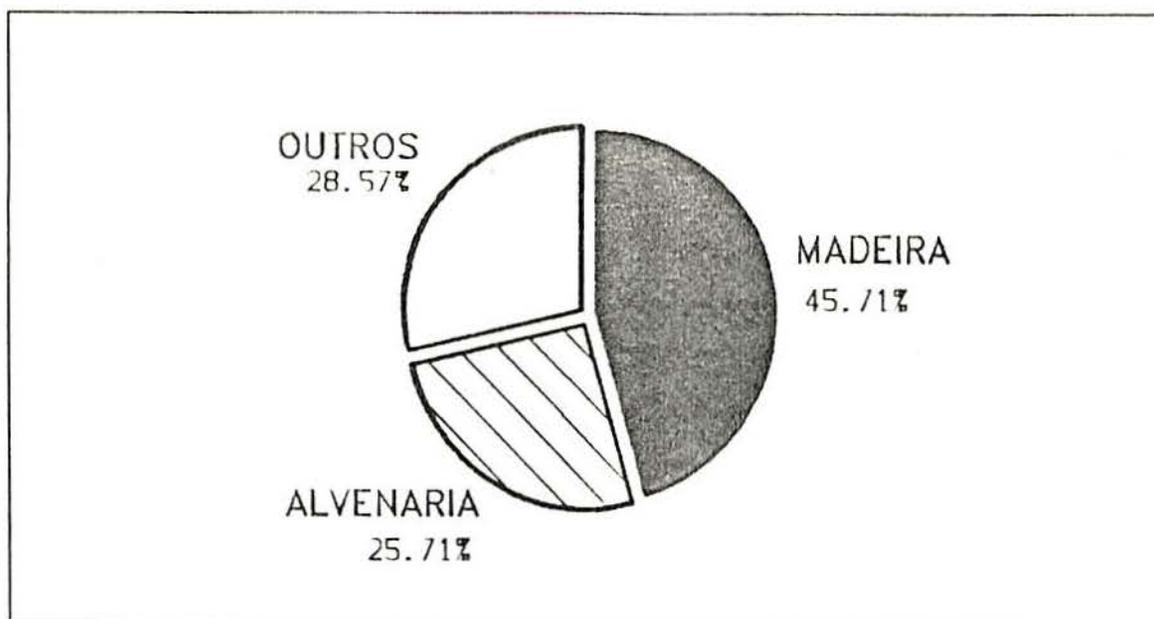


FIGURA 4.6 - Composição da amostra conforme número de edifícios de cada tipo.

Assim as janelas externas estão expostas as intempéries e principalmente a desgastes, devido as operações de manuseio, (peças móveis); as paredes externas as intempéries, quase não sofrendo desgastes de uso; e os pisos estão protegidos das intempéries mas estão submetidos ao desgaste pelo uso (abrasão...).

Desta maneira, estão representados diversos dos graus de influência que os fatores de uso e fatores ambientais têm sobre o componente.

4.1.5 - Levantamento de campo

O levantamento de campo foi realizado por técnicos (engenheiros civis e arquitetos) da SDO e por alunos do CPPGEC - Construção. Todos os envolvidos foram submetidos a treinamento básico através de leitura e discussão de texto que, resumidamente, explica a metodologia, os rudimentos do conceito de desempenho e exemplifica alguns indicadores de degradação que poderiam ser empregados na avaliação dos componentes. O Anexo II

apresenta a lista dos indicadores de degradação sugeridos, antecedidos de breve descrição das exigências dos usuários julgadas mais importantes para cada componente.

Também foi realizado o mesmo levantamento tendo como pesquisadores os professores das escolas levantadas. Porém estes dados não são analisados neste trabalho.

Acompanhava o pesquisador, quando em campo, as fichas de informação preenchidas pelos professores, da qual faz parte um croqui da escola, uma planilha para anotação dos resultados observados e uma escala de degradação. Este material está reunido no Anexo III.

Nesta planilha além da identificação do prédio e do local para anotação dos índices de degradação ID dos diversos componentes, foi destinado um espaço para a identificação de algumas características dos componentes que não eram conhecidas previamente: tipos de piso, da parede e janelas, material empregado, etc.

A apropriação desta informação é fundamental para proporcionar a comparação entre os diversos componentes tipo.

Esta identificação não desceu ao nível de determinar a espécie de madeira, por exemplo, as dimensões e as características detalhadas de cada projeto devido as dificuldades para realizar tais determinações. A nível geral, a madeira empregada em paredes de madeira e assoalhos é a pinho do paraná de primeira qualidade. Em janelas é especificado o emprego de madeira de lei. A pintura de proteção de componentes de madeira é a base de óleos secativos e/ou resinas alquídicas, enquanto que em componentes de alvenaria as de base PVA ou acrílicas.

4.1.5.1 - Procedimentos no levantamento

Foi estabelecido inicialmente que para pisos e janelas seria feita uma avaliação, com atribuição de índices de degradação - ID em cada sala de aula dos edifícios selecionados (e não para o componente em todo prédio como descrito por Ishizuki 1983) em função das seguintes razões:

- a) facilitar a avaliação, pois o conjunto ao qual se pretende atribuir um ID permanece ao alcance dos olhos;

b) diluir o peso de eventuais erros de avaliação, pelo aumento da massa de dados, contribuindo assim para aumentar a confiabilidade.

Em alguns prédios não foi possível inspecionar todas as salas de aulas, seja devido ao desenvolvimento de atividades didáticas as quais uma interrupção prejudicaria, ou por se encontrarem trancadas. Este fato, porém, é numericamente pequeno.

A razão da delimitação do universo a pisos e janelas de salas de aulas visava tipificar o uso ao máximo, dado que supõe-se que as demais salas - escritórios, bibliotecas, refeitórios, etc. estão submetidas a esforços de uso bastante diferentes.

A inspeção das paredes externas foi feita atribuindo-se um ID para cada orientação cardinal (Norte, Sul, Leste, Oeste) aproximada, visando detectar diferenças significativas originadas pela direção predominantes dos ventos, chuvas e deslocamentos do sol.

Nem todos os edifícios das trinta escolas sorteadas foram inspecionados, pois alguns já se encontravam demolidos ou interditados por não apresentarem segurança à utilização, outros concentravam funções de apoio (não envolviam diretamente aulas) e ainda outros encontravam-se, no momento da inspeção, completamente ocupados.

4.1.6 - Aferição do método de levantamento

Embora o método já tenha sido largamente empregado por Ishikuza²² (1983) foi realizado um pequeno teste da capacidade da escala de degradação em possibilitar que duas ou mais pessoas, realizando um mesmo levantamento, encontrem resultados que não difiram significativamente, embora seja inerente ao processo de desempenho a compreensão que as pessoas reajam de maneira diferente a um mesmo problema.

O teste consistiu num levantamento da degradação do piso (tacos de madeira) nos quatro edifícios que compõe o colégio Irmão Pedro, todos de um mesmo projeto tipo, construídos em 1978.

O levantamento foi realizado por um engenheiro civil da SDO e pelo autor, em momento diferentes, gerando duas amostras, A_1 e A_2 com os seguintes parâmetros:

TABELA 4.2 - Resumo dos parâmetros da amostra

Amostra	Nº de Dados	Média	Desvio Padrão
A_1	29	7,76	0,59
A_2	30	8,02	0,58

Como os desvios padrão são praticamente iguais, para testar se os levantamentos diferem significativamente, compara-se as médias estimadas nas duas amostras.

Esta comparação a rigor só pode ser realizada para amostras que apresentam ajustamentos à distribuição normal. O ajustamento foi avaliado pelo programa STATBAS, que realiza análise preliminar de dados, calculando parâmetros como média, mediana, desvio padrão, coeficientes de assimetria e achatamento e analisa as possibilidades de ajustamento da amostra à distribuição normal, através de histograma, gráfico do papel de probabilidade, provas do qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Wilk-Shapiro (ver Nanni, 1986). Os resultados indicaram uma pequena tendência a anormalidade nas amostras em análises. Porém, como a distribuição não foi muito ab-normal, pelo teorema do limite central, pode-se comparar estas amostras.

Para comparar se duas médias, μ_1 e μ_2 estimadas nas amostras por X_1 e X_2 , introduz-se uma variável auxiliar W , onde:

$$W = X_1 - X_2 \quad (5.1)$$

Pode-se demonstrar que existe diferença significativa entre as médias se:

$$|t| = \frac{|W|}{S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}} > t_{\frac{\alpha}{2}} (n_1 + n_2 - 2) \quad (5.2)$$

onde:

-t é o índice da distribuição de Student, e encontra-se tabelada para graus de significância de α e graus de liberdade $(n_1 + n_2 - 2)$

- s_p é o desvio padrão ponderado das amostras, dado por

$$s_p = \left(\frac{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 2) s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{1/2} \quad (5.3)$$

No nosso caso,

$$s_p = 0.585$$

$$|t| = 1.707 < t_{0.025}(57) = 1.960$$

de onde se conclui, com 95% de confiança, não existir diferença significativa entre as médias estimadas pelas duas amostras.

Pode-se concluir que a escala de degradação foi capaz de possibilitar que duas pessoas realizassem um mesmo levantamento chegando a resultados que não diferiram significativamente.

Como o método já foi empregado não foi julgado necessária a realização de teste mais abrangente, envolvendo maior número e tipos de edifícios e componentes.

4.2 - Análise Estatística dos Dados

4.2.1 - Procedimentos de análise dos dados

Os dados levantados foram colocados em bancos de dados do tipo relacional (D Base III), após a verificação de sua consistência.

Em uma análise inicial conclui-se que era desnecessário trabalhos como ID de cada sala de aula - para janelas e assoalhos - e de cada orientação cardinal - para janelas e assoalhos - uma vez testada uma amostra aleatória de cinco edifícios constatou-se não existir variação significativa entre os diversos dados provenientes de um mesmo prédio. A tabela a seguir resume

Os dados da análise.

TABELA 4.3 - Resumo das comparações entre médias

COMPONENTE	TIPO DE DADOS	N	X	S	S _p	w	T
JANELAS	P/SALA	26	5.61	0.85	0.84	0.27	0.65
	MÉDIA EDIF.05		5.88	0.79			
PISOS	P/SALA	26	6.69	1.41	1.36	0.47	0.71
	MÉDIA EDIF.05		6.22	0.96			
PAREDES	P/ORIENTAÇÃO	20	6.65	0.87	0.56	0	0
	MÉDIA EDIF.05		6.65	0.63			

Para paredes externas, pode-se concluir que no universo estudado a orientação cardeal da fachada não possui papel importante na degradação, tendo os efeitos climáticos sido suplantados por microclimas.

A análise dos dados médios por edifício consistiu na realização de uma regressão linear com o uso de programa computacional REGSIMPLES modificado. Para cada conjunto de dados é possível testar o ajuste a dez curvas linearizáveis através de correções logarítmicas, raiz quadrada,...

Na regressão linear (ver Nanni,²⁰1983) a partir dos dados x_i , y_i ($i = 1 \dots n$) da amostra estima-se pelo método dos mínimos quadrados os parâmetros "A" e "B" da reta

$$Y = A + Bx + \epsilon \quad (5.4)$$

onde:

- ϵ é um erro amostral que se supõe ter distribuição normal e desvio padrão constante no intervalo analisado da variável "x".

O programa REGSIMPLES modificado fornece:

- valor estimado de A e B;
- s_a - desvio padrão da intersecção da reta com o eixo Y;

- s_b - desvio padrão da inclinação;
- s_e - desvio padrão da estimativa;
- t_a e t_b - teste de significância de A e B respectivamente, com 95% de confiança;
- R - coeficiente de correlação, que varia entre 1 e -1 e que dá a medida da relação que pode existir entre as duas variáveis, bem como o seu intervalo de confiança com 95% de probabilidade.
- R^2 - coeficiente de determinação que indica a proporção da variância de "y" que pode ser atribuída a regressão com a variável "x";
- R_i - Resíduos Padronizados a serem usados para determinar valores espúrios e para os testes de normalidade, dados pela fórmula:

$$R_i = \frac{Y_i - A - B.X_i}{S_e} \quad (5.5)$$

- ERM_i - erro de previsão de um valor médio para cada par x_i e y_i ($i=1 \dots n$);
- ERI_i - erro de previsão de um valor individual, em cada par de dado x_i e y_i ($i=1 \dots n$);
- CVM_i - coeficiente de variação das previsões de valores médios de y;
- CVI_i - coeficiente de variação das previsões de valores individuais de y;
- intervalos de confiança com probabilidade de 95% para valores individuais e médios de y (limites inferior e superior) para onze pontos equidistantes, entre extremos pré-determinados;
- vida útil mínima em anos (x) esperada para valores individuais e médios. Esta determinação é realizada através da intersecção entre os intervalos de confi-

ança antes determinados, com um valor de "y", predefinido. A Figura 4.7 abaixo representa o procedimento adotado no estudo.

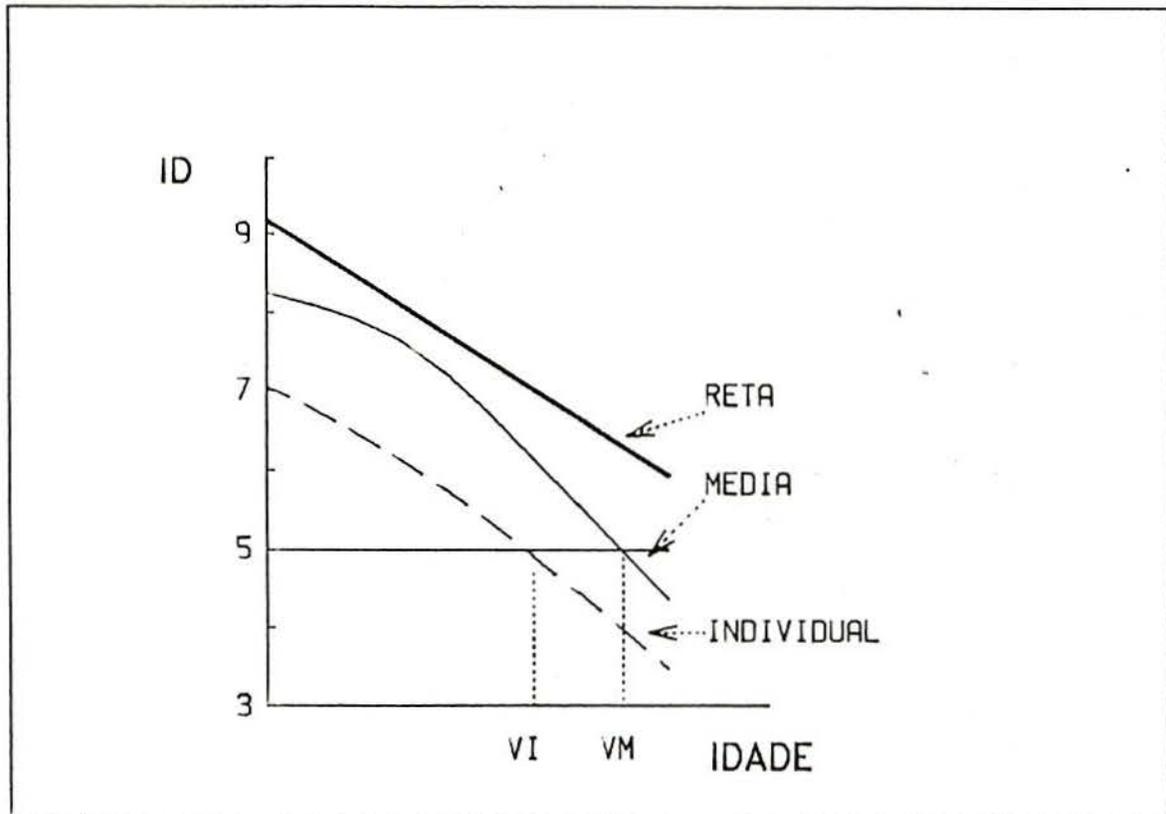


FIGURA 4.7 - Representação gráfica da determinação da vida útil de valores individuais (VI) e valores médios (VM).

Notar que para amostras com menos de 25 componentes o valor de R apresenta grande variabilidade. Ajustagens que apresentem $CV \leq 15\%$ podem ser consideradas boas. Se $CV > 25\%$ pode concluir-se que a ajustagem é duvidosa (Nanni,^{2º} 1983).

O programa fornece também os resultados dos testes que permitem verificar as duas suposições feitas em relação ao erro de previsão ϵ . Esta verificação é feita através da análise de resíduos padronizados.

Para a hipótese de distribuição normal dos resíduos realizam-se os seguintes testes:

- Wilk-Shapiro, muito potente para amostras entre seis e 50 elementos;

- Kolmogorov-Smirnov, válido para amostras com mais de quatro elementos;

- gráfico do papel de probabilidade, válido para amostras com mais de quatro elementos.

Para verificar a constância do desvio padrão no intervalo de analisado, é realizado um teste gráfico dos resíduos versus valores observados.

A partir destes dados é possível determinar também o intervalo de confiança de A e de B com nível $(1 - \alpha)$ de confiança, usando as propriedades da distribuição de Student. Para qualquer parâmetro cuja média teórica é μ_θ e cuja estimativa amostral é $\hat{\theta}$, o intervalo de confiança de μ_θ é:

$$\hat{\theta} - t.s_{\hat{\theta}} < \mu_\theta < \hat{\theta} + t.s_{\hat{\theta}} \quad (5.6)$$

onde:

- $\mu_\theta = \mu_A$ para o parâmetro A e $\mu_\theta = \mu_B$ para o parâmetro B.
- $\hat{\theta}$ é o valor dos parâmetros A ou B calculado por REGSIMPLES;
- $s_{\hat{\theta}}$ é o desvio padrão do parâmetro;
- $t = t_{\alpha/2} (n-2)$, valor tabelado de Student para nível de significância de α e $(n-2)$ graus de liberdade.

Caso o intervalo de confiança de B inclua o valor zero conclui-se que a relação entre X e Y (ou no caso idade e Índice de Degradação) não é significativa. Alternativamente esta verificação pode ser feita comparando-se o valor de $t_{\alpha/2} (n-2)$ com o valor de t_B calculado pelo programa, dizendo-se que a relação é significativa quando

$$t_B \geq t_{\alpha/2} (n-2) \quad (5.7)$$

4.2.2 - Os resultados obtidos

A seguir são apresentados de maneira sintética os resultados da análise realizada.

Parte significativa dos dados colhidos não pode ser analisada pelo fato de que alguns componentes tipos apresentaram, na amostra, número insuficiente de dados para a análise estatís-

TABELA 4.4 - Resumo dos principais resultados da análise estatística realizada com o programa REGSIMPLES modificado.

COMPONENTES	NO DADOS	PARAMETROS								COEF. CORRELACAO "R" (intervalo confiança)	COEF. DETERMINAC. "R2" (%)	MAXIMO COEF. VARIACAO PREVISAO		ANALISE DOS RESIDUOS			PREVISAO DA VIDA UTIL	
		INTERSECCAO C/Y		INCLINACAO		DESVIOS PADRAO			MEDIO (X)			INDIVID. (X)	KS (DN)	WS (VR)	PAPEL PROBABIL.	POPULACAO (anos)	INDIVID. (anos)	
		A	INTERVALO CONF.	B	INTERVALO CONF.	ESTIMAT.	INCLINAC. Sb	INTERSEC. Sa										
JANELAS DE MADEIRAS	38	7.77	8.63 a 6.91	-0.066	-0.68 a -0.17	0.979	0.021	0.439	-0.68 a -0.17	21.24	5.45	17.32	0.1276	0.383	BOM	32	11	
JANELAS DE FERRO	19	7.94	8.92 a 6.96	-0.053	-0.15 a +0.04	0.879	0.046	0.464	-0.66 a +0.22	7.64	7.15	14.55	0.0904	0.500	SEM CONCL.	25	17	
PAREDES DE ALVENARIA	18	9.17	10.16 a 8.23	-0.090	-0.16 a -0.03	0.903	0.031	0.444	-0.83 a -0.18	35.35	7.16	15.35	0.2088	0.245	SEM CONCL.	32	23	
ASSOALHOS DE MADEIRAS	45	8.28	9.04 a 7.52	-0.100	-0.77 a -0.39	1.138	0.020	0.387	-0.77 a -0.39	37.21	5.30	21.60	0.0695	0.500	BOM	30	10	
PAREDES DE MADEIRAS	32	8.25	8.83 a 7.67	-0.088	-0.10 a -0.07	0.809	0.015	0.296	-0.85 a -0.49	51.54	4.20	14.90	0.0798	0.500	BOM	31	18	

Nota: Intervalos de confiança calculados com probabilidade de 95%.

tica confiável.

Por esta razão não pode ser realizada análise comparativa de durabilidade de componentes de tipos diferentes que concorrem a uma mesma utilização.

A Tabela 4.4 apresenta resumo dos principais resultados da análise estatística realizada. As Figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam os gráficos Índice de Degradação versus idade, contendo os IDs observados, a reta otimizada pela regressão e as curvas que representam os intervalos de confiança para previsão de valores individuais e médios de ID.

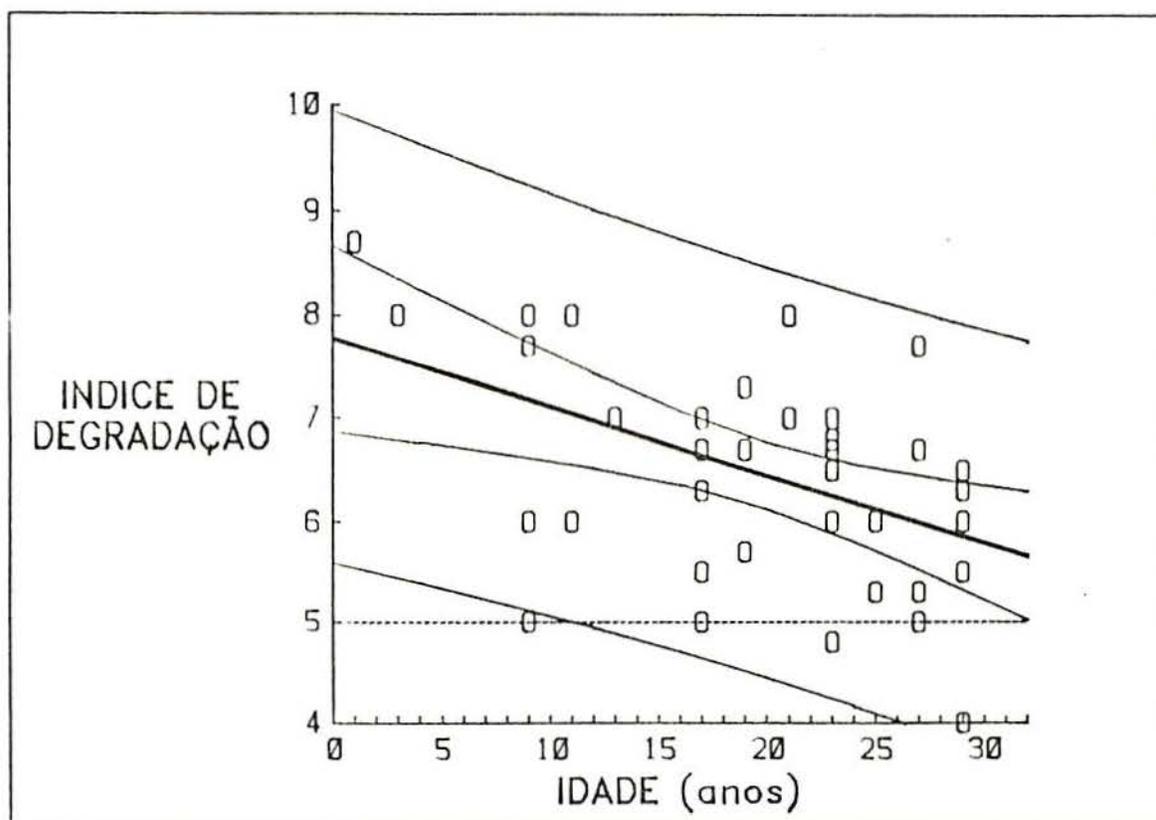


FIGURA 4.8 - Janelas de Madeira, tipo guilhotina.

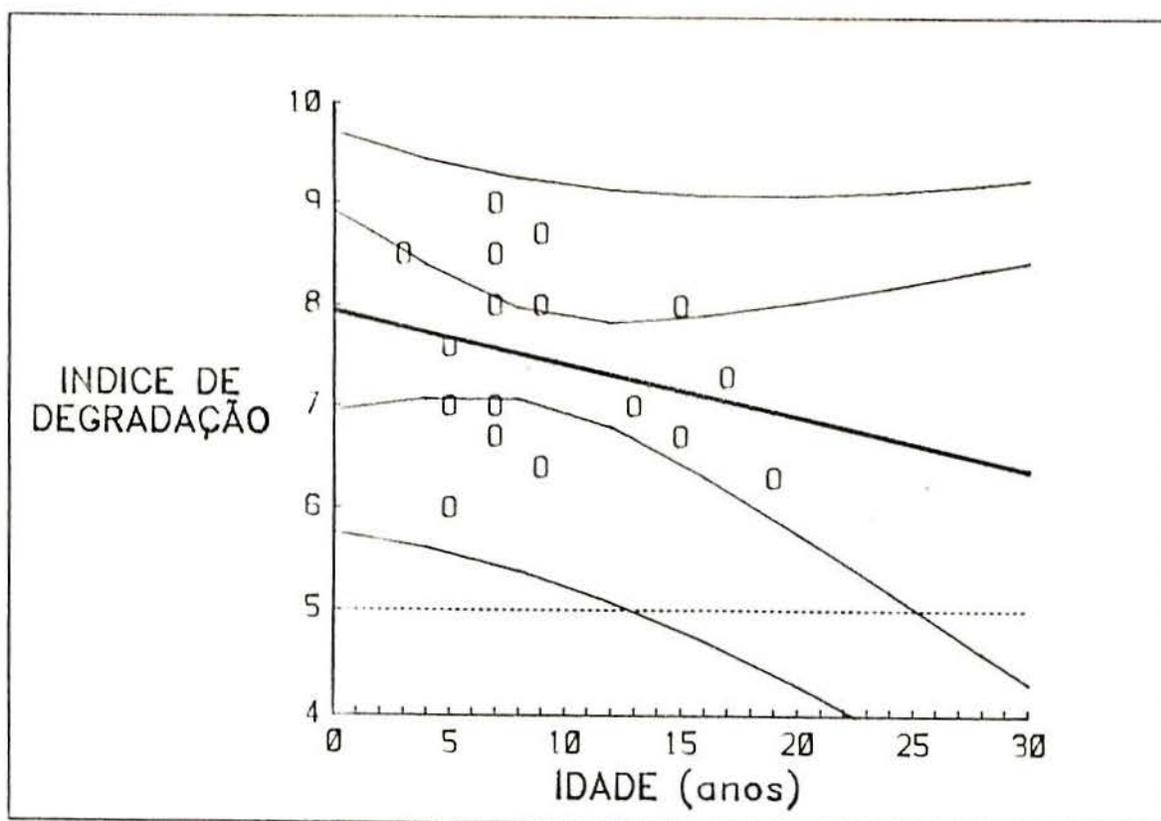


FIGURA 4.9 - Janelas de Ferro.

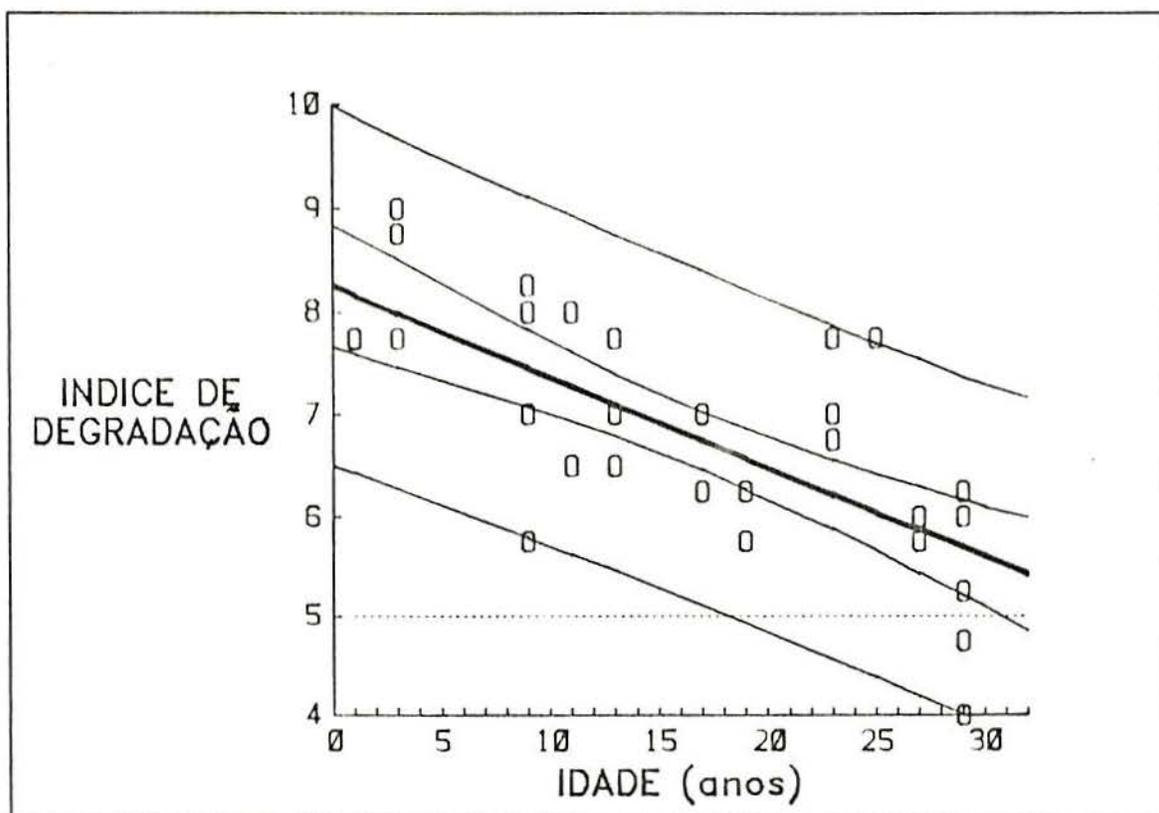


FIGURA 4.10 - Paredes de Madeira.

A excessão de paredes de alvenaria todas as regressões apresentadas na Tabela 4.4 apresentaram distribuição normal dos resíduos e constância dos erros, podendo, portanto, o modelo adotado ser considerado adequado em janelas, pisos e paredes de madeiras e janelas de ferro.

Destes, somente a amostra de janela de ferro não apresentou uma relação significativa entre ID e idade, pois o intervalo de confiança da inclinação inclui o valor zero. Porém, como o número de dados da amostra é pequeno e limitado no tempo (idade menor que 20 anos) não é possível uma conclusão definitiva. Nos outros três casos, a relação foi muito significativa.

Janelas, paredes e assoalhos de madeiras, de um modo geral, apresentam ajustes bons, com coeficientes de variação de previsão menores que 5,45% para médias da população e 21,6% para valores individuais, portanto abaixo do valor crítico de 25%.

Estes três casos apresentam coeficientes de determinação bastante baixos, 51,54% para paredes, 37,21% para pisos e 21,24% para janelas. Este dado, porém, deve ser analisado em função do fenômeno em estudo.

4.3 - Análise Crítica do Método empregado

4.3.1 - Análise da adequação do modelo proposto

A curva de degradação apresentada por Ishizuka²²(1983) reproduzida na Figura 3.3 se aproxima de uma equação exponencial: o efeito da manutenção e reposições tenderiam reduzir a taxa de degradação.

Os dados analisados, de maneira geral, não apresentaram tal tendência, sendo que as retas representaram mais adequadamente a variação de ID no tempo.

No estudo, como já citado, foi testado o ajuste a curvas exponenciais linearizáveis através de correções logarítmicas, raiz quadrada, etc. As correlações abaixo foram testadas para todos os componentes:

$$\ln(Y) = A + BX$$

$$\ln(Y) = A + B\ln(X)$$

$$Y = A + B \ln (X)$$

Para paredes de tijolos, tacos e janelas de ferro que apresentaram dificuldades de ajuste, testou-se adicionalmente

$$Y = A + B \sqrt{X}$$

$$\sqrt{Y} = A + BX$$

$$\sqrt{Y} = A + B \sqrt{X}$$

No caso de mais de um modelo se mostrar válido, após a análise estatística, foi selecionados o modelo que apresentou:

- maior coeficiente de determinação;
- menores erros de previsão.

Nos casos observados onde houve mais de um ajuste os resultados foram bastante semelhantes. Analisando graficamente os resultados das regressões plotados na Figura 4.13 observa-se que a equação linearizável $\ln(Y) = 2.1 - 0.01X$ aproxima-se da reta $Y = 8,28 - 0,1X$.

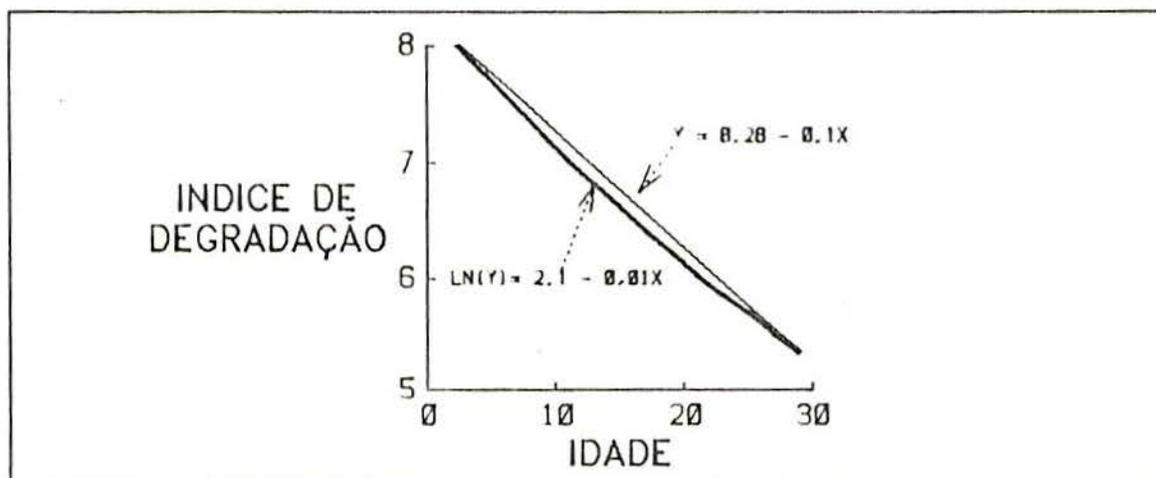


FIGURA 4.13 - Comparação entre duas regressões produzidas a partir dos ID de pisos.

O fato de não haver ajuste a curvas exponenciais pode refletir a falta de um processo de manutenção planejado que a-

tinja o conjunto de edifícios. A quase inexistência de manutenção no universo em estudo foi constatada não só durante os levantamentos como também em pesquisas que vem sendo desenvolvidas pelo CPGEC - Construção.

Também o modelo apresentado por Ishizuka²² (1983) apresenta como fixo ID = 10 para edifícios com idade igual a zero. Porém, as retas ajustadas pela regressão preveem ID para idade zero em torno de oito, com um intervalo de confiança de 95% entre sete e nove.

Esta previsão de degradação em componentes novos pode ser associada a uma baixa qualidade inicial nos componentes, para as exigências de utilização em questão.

Caso os componentes sejam novos é muito possível que não apresentem degradação, uma vez que não estiveram presumivelmente expostos aos fatores de degradação. Porém o método empregado avalia o grau de satisfação do usuário (ou técnico que ocupa o seu lugar) frente a um produto, ou seja, avalia o desempenho, observando para isso também o grau de degradação (ver capítulo 3), e não exclusivamente a degradação. Ocorre que baixa qualidade - ou baixo desempenho - nem sempre podem ser relacionados com degradação.

Ela pode ser causada por a) problemas na confecção das peças - não se tem notícia de uso de sistema de controle de qualidade -, b) na sua montagem e c) inclusive devido à reutilização de componentes (e até de edifícios) que desmontados em determinada localização são remontados em outra.

Estes componentes reutilizados já apresentam degradação, porém como a idade do edifício só pode ser contada a partir de uma última montagem, o verdadeiro tempo de exposição fica mascarado. Não foi possível determinar a importância de tal fenômeno.

Esta baixa qualidade pode ser confirmada pelos resultados preliminares do estudo que vem sendo realizado pelo CPGEC - Construção, onde são analisados os orçamentos de custos de reparos em 176 edifícios do mesmo universo em questão, representando 84.907m², da qual 6.9112m² tem menos de cinco anos de idade (cerca de 1/4 dos edifícios existentes nesta faixa de idade).

Constatou-se que o custo médio de reparos dos edifícios entre zero e cinco anos de idade foi de cerca de 8% do custo do edifício novo (ou do custo de reposição deste edifício). Selecionando somente prédios de madeira de mesma idade, o custo médio dos reparos sobe para 20% do seu custo de reposição.

Estes valores são evidentemente muito elevados. Se comparados com o 1,5% do custo de reposição citados por Stone⁴³ (1980). Steel⁴² (1985) estudando os 73 edifícios do campus do National Research Council of Canada chega em valores aproximados a 1,6% excluindo manutenção de equipamentos dos laboratórios.

Sobral⁴⁰ (1976) apresenta valores obtidos no Departamento de Edifícios e Obras Públicas (DOP) do Estado de São Paulo que indicam para escolas um custo anual de 2,7% do custo de reposição dos edifícios.

Outra parte pode estar associada a um possível efeito psicológico que a idade do edifício tem sobre o usuário e/ou técnico que o está avaliando. Este efeito manifesta-se na superavaliação de pequenos defeitos em edifícios novos que presumivelmente geram uma expectativa de perfeição, e de outro lado, uma tolerância elevada a defeitos maiores em edifícios antigos, que geram uma expectativa de muitos defeitos. Esta parcela pode ser reforçada pela escala de degradação. No entanto, os resultados gráficos apresentados por Ishizuka²² (1983) não induzem a tal suposição.

4.3.2 - Coerência das previsões observadas

As previsões de vida útil média e individual não apresentam valores absurdos, quando observado bom ajuste.

Segundo a análise realizada a vida útil média da população de componentes de madeira estaria acima dos 30 anos, valor bastante razoável se confrontado com o senso comum produzido pela experiência acumulada com estes componentes. A análise da amostra não apresentou diferenças grandes de vida útil média para os diferentes componentes confeccionados em madeira, embora os diferentes esforços a que estão submetidos induzissem conclusão contrária. Apresentam, porém, diferentes linhas de degradação.

Observa-se que por outro lado as previsões da vida útil mínima de componentes de um mesmo edifício, são bastante inferiores, apresentando, porém, variações: cinco anos para janelas a dezoito anos para paredes externas, mostrando diferenças nas dispersões dependendo do componente em estudo. Em todos os casos os valores parecem razoáveis.

4.3.3 - Análise da dispersão dos dados

Os resultados observados apresentam significativas dispersões.

Os coeficientes de variação estimados para previsões de valores individuais podem ser considerados razoáveis, pois todos se encontram entre 15 e 22%, abaixo do valor crítico de 25%. Por esta ótica os reajustes podem ser considerados razoáveis.

Grandes dispersões, por outro lado, são esperadas neste tipo de análise, conforme, de uma maneira geral, a bibliografia consultada afirma. Embora sem quantificar, Ishizuka²² (1983) salienta também ter observado extensivas variações.

O coeficiente de determinação - R^2 é bastante baixo, variando de 51,5% para paredes de madeira até 21,2% para janelas de madeira.

O coeficiente de determinação - R^2 pode ser entendido como sendo a proporção da variância de Y (ID neste estudo) que pode ser atribuída a regressão linear com X (idade, no caso). Se a relação é muito forte, seria de esperar que R^2 estivesse próximo de 100% (o que corresponde a "R" próximo de +/-1).

A existência de um coeficiente de determinação de 100% significaria fisicamente que toda a perda de desempenho (expressa pelo ID) poderia ser relacionada com o tempo. Isto implicaria em que os componentes do universo analisado fossem todos idênticos e estivessem submetidos a fatores de degradação idênticos, e que não houvessem dispersões no processo de avaliação.

Estas condições não se aplicam, evidentemente, à situação em estudo, caracterizada por:

a) ausência de sistema de controle de qualidade dos componentes, o que agrava a já esperada diferença inicial entre componentes aparentemente iguais;

b) diversidade de origem e métodos de produção entre componentes de um mesmo tipo;

c) inexistência de especificação ou projeto tipo que padronize os componentes, inclusive quanto ao material utilizado na confecção;

d) influências de microclimas;

e) ritmos de manutenção que variam enormemente de edifício a edifício.

Cabe salientar que o uso dos edifícios se encontra bem tipificado.

4.3.3.1 - Dispersão produzida pelo método de levantamento

Parcela da variabilidade pode ter sido ocasionada pelo método de levantamento, ou seja, por "erros de avaliação".

A forma de atribuição do ID - subjetiva - certamente causa "erros" de medição maiores que os produzidos através de instrumentos.

Adicionalmente, o levantamento foi realizado não por uma, mas por várias pessoas, o que aumenta a faixa de dispersão possível. Então existe uma dispersão dentro das observações realizadas por um indivíduo e outra dispersão entre as médias das observações de cada indivíduo.

Esta dispersão reflete a diversidade de reações que os usuários (e os técnicos) apresentam frente a um mesmo fenômeno. A este respeito Olgyay³²(1963) mostra enquetes realizadas nos EUA, visando detectar em que condições climáticas os seres humanos sentem-se confortáveis, que mostram que dificilmente é conseguida satisfação maior do que 80% dos usuários.

Em resumo, a quantificação das necessidades dos usuários - base necessária à avaliação do desempenho - não pode ser tomada de ponto de vista determinístico. O CIB W60⁸ (1982) afirma que nestes problemas o importante é satisfazer a maioria dos usuários (Ver Capítulo 2).

No nosso caso, as peculiaridades do método de levantamento ocasionaram um aumento de dispersão. Porém, esta parcela da dispersão é inerente ao objetivo da avaliação, aos seres

humanos e as suas exigências, e ao conceito de desempenho.

Neste sentido, poderia se afirmar que um maior número de pesquisadores poderia aumentar a confiabilidade do método.

4.3.3.2 - Análise das diferenças entre os coeficientes de determinação dos diversos componentes

Existem, porém, significativas diferenças entre os coeficientes das determinações de diversos componentes.

Selecionando componentes confeccionados com madeira (único material a abranger em nossa análise os três componentes selecionados) observa-se coeficientes de determinação de 21,24% para janelas (tipo guilhotina), 37,21% para pisos (assoalhos) e 51,54% para paredes.

Existe uma significativa diferença entre estes coeficientes.

É razoável supor, já que todos os componentes estudados fazem parte de uma mesma amostra de edifícios, que as diferenças nos ciclos de manutenção entre os diversos edifícios e dos microclimas tenham causado em todos os componentes um mesmo impacto, provocando uma parcela de redução do coeficiente de determinação bastante semelhante. O mesmo ocorre com a com a dispersão ocasionada pelo método de levantamento. Então, as diferenças entre coeficientes de determinação tem outras causas.

Farhi¹⁰ (1983) distingue dois aspectos fundamentais no estudo da durabilidade: a) durabilidade versus agentes ambientais, que se preocupa com componentes cuja durabilidade depende fundamentalmente da resposta do produto à ação dos agentes físico-químicos do meio ambiente; e, b) durabilidade versus esforços de uso, cuja durabilidade depende da maior ou menor intensidade dos esforços decorrentes das condições de uso. Deve-se notar que esta divisão não corresponde exatamente a divisão proposta pelo CIB/RILEM⁹ (1983) aos fatores de degradação. Neste caso, os esforços de uso correspondem a aqueles fatores que produzam desgaste pelo uso (e abuso). Farhi¹⁰ (1983) justifica esta distinção porque a natureza do esforço determinante implica em diferenças metodológicas para a avaliação de durabilidade.

Estes dois aspectos parecem influenciar também os coefi-

cientes de determinação. Janelas e pisos, componentes submetidos a importantes esforços de uso apresentam coeficiente de determinação inferiores aos apresentados por paredes externas, sujeitas predominantemente aos fatores ambientais. As janelas de maneira significativa, pisos em um grau menor.

As janelas são produtos complexos com encaixes, com partes móveis sujeitas a desgaste produzidos por esforços de manuseio. Adicionalmente sofre a ação dos agentes ambientais a que estão também sujeitas as paredes externas. No universo estudado elas são produzidas por fabricantes diversos, não seguem rigorosamente um projeto tipo e não estão submetidas a controle de qualidade. Na sua confecção são empregadas madeiras de lei.

Os pisos, assoalhos nesta análise, são sujeitos a desgaste pelo uso - atrito ao caminhar, arrastar móveis, ação de produtos de limpeza. São pouco sujeitos a agentes ambientais. Sua confecção é bastante simples, empregando pinho do paraná.

As paredes externas, confeccionadas em pinho do paraná, não sofrem importantes esforços de uso, estando, no entanto, expostos de maneira determinante aos agentes ambientais. O quadro da Tabela 4.5 resume esta análise.

TABELA 4.5 - Resumo das características dos componentes estudados e fatores de degradação que atuam sobre cada componente.

PRODUTO	JANELAS	PISOS	PAREDES EXTERNAS
Características	complexas, c/ encaixes e partes móveis	simples	simples
Intensidade dos esforços de uso	grande, em particular nas partes móveis	grande	pequena
Intensidade dos agentes ambientais	grande	pequena	grande

Embora todas as ponderações feitas, os dados parecem indicar que os esforços que determinam o desgaste pelo uso apresentam uma variabilidade acentuada, bastante superior a dos fatores ambientais. Este aumento de variabilidade pode ocasionar que apenas parte menor da degradação possa ser correlacionada com o tempo.

4.4 - Possibilidades de aplicação da metodologia

Como resultado da análise feita, é possível concluir que a metodologia testada permite a previsão da vida útil de componentes.

Para tanto deve-se levar em conta que o resultado final da análise vai depender de dois fatores básicos:

- a) o tamanho da amostra;
- b) o intervalo de variação da idade compreendido na amostra.

Quanto maior o tamanho da amostra maior a confiabilidade dos resultados. No levantamento houve dificuldade de ajuste para amostras com menos de 30 elementos.

Os resultados indicam ser suficiente a atribuição de um ID por edifício para cada componente avaliado.

O intervalo de variação das idades dos edifícios amostrados influencia em muito o resultado final. Nanni²⁸(1986) afirma que o erro na inclinação de B diminui com o aumento do intervalo de variação de X (idade, neste caso).

Por outro lado, a previsão da vida útil mínima é feita a partir do limite inferior do intervalo de confiança para valores médios e individuais. Este intervalo se afasta da reta de regressão a medida que o valor de x (idade) se afasta da média da amostra (ver Figura 4.7). Então sempre que o intervalo de variação da idade da amostra for pequeno, ocorrerá uma "redução" da vida útil prevista.

Estes fatores podem dificultar a previsão da vida útil de materiais e componentes de grande durabilidade, especialmente aqueles de uso recente.

A previsão de vida útil pode ser empregada na compara-

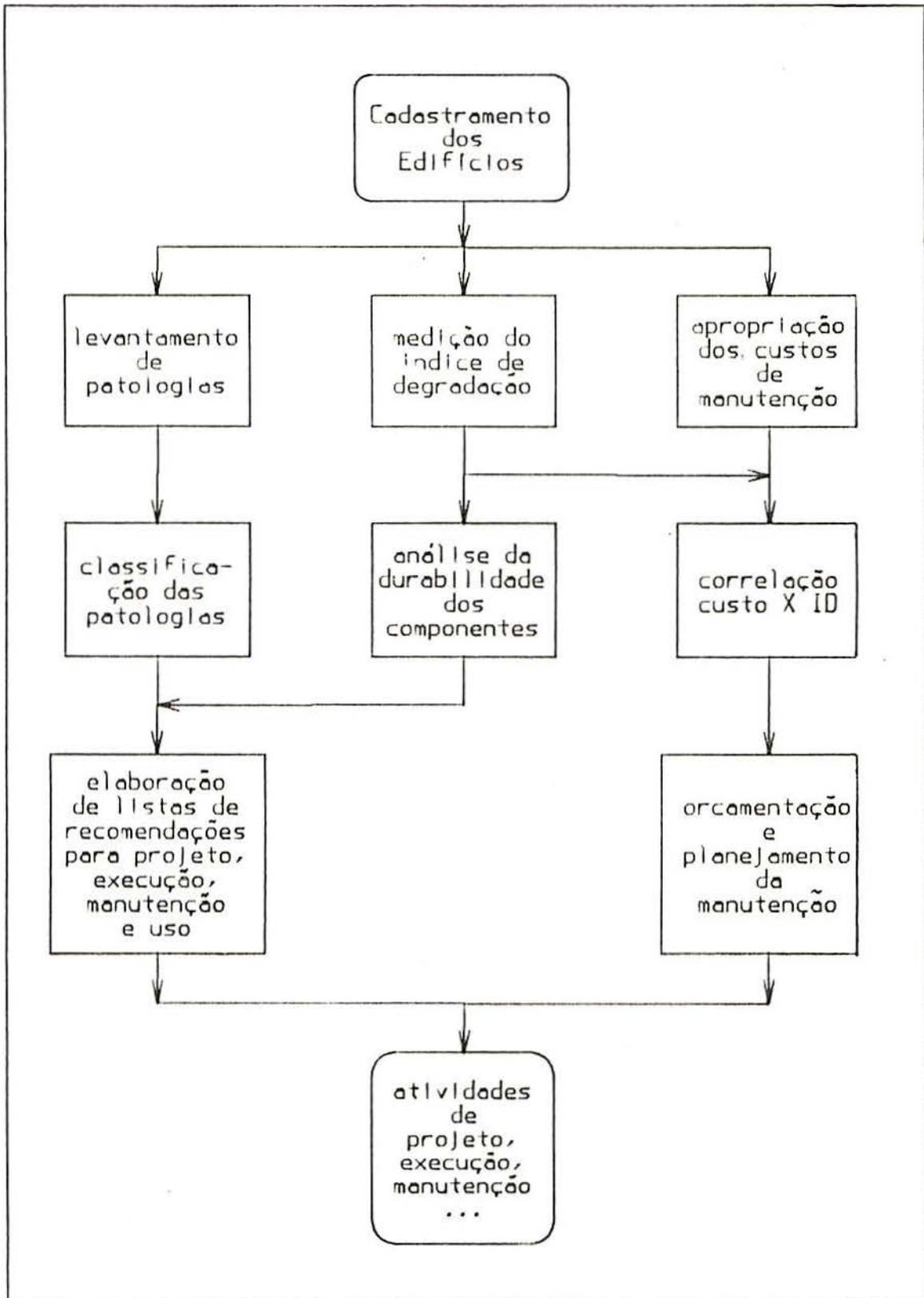


FIGURA 4.14 - Fluxograma do sistema de manutenção proposto pelo CPGEC - Construção à SDO.

ção entre dois componentes tipo que disputem um mesmo emprego, na avaliação da influência de detalhes de projeto na vida útil das peças e em cálculos econômicos.

Estes empregos podem propiciar significativa economia para órgãos, que como a SDO, são responsáveis pelo gerenciamento de grande número de edifícios. A confiabilidade dos resultados, pode ser, nestes casos, progressivamente melhorada pela repetição periódica dos levantamentos. Este método pode fazer parte de um sistema que procure, através da avaliação dos edifícios em uso, racionalizar todas as atividades destes órgãos, como planejamento, projeto, construção e manutenção dos edifícios.

Uma variante de emprego a ser pesquisada é a possível relação existente entre o Índice de Degradação e o custo de reparos de componentes, o que permitiria a realização de orçamentos rápidos deste tipo de serviço.

A Figura 4.14, mostrada anteriormente, apresenta um fluxograma do "sistema de manutenção" proposto pelo grupo de estudos do CPGEC - Construção para o SDO.

Em todas estas alternativas deve ser investigada a possibilidade do levantamento ser realizado pelos usuários dos edifícios, o que tornaria o processo todo ainda mais vantajoso.

Outro emprego para o método consiste no aprofundamento da compreensão de como a idade e, portanto, o tempo de exposição aos fatores de degradação, influenciam no desempenho. Este método possibilita o salto da abordagem que descreve mecanismos de degradação para uma abordagem que diretamente do ponto de vista do usuário (desempenho), evitando os problemas de desenvolvimento de modelos que correlacionem estes dois fatores. Ele permite também a análise de populações observando tendências gerais em vez de fenômenos em componentes isolados. Tal tipo de abordagem pode colaborar na elaboração de métodos acelerados de previsão de vida útil mais confiáveis, bem como na avaliação da confiabilidade de métodos existentes.

CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica realizada, embora extensa, não é exaustiva, e inclusive não acompanha os dois últimos simpósios internacionais da área. Esta lacuna deve ser preenchida.

O tema durabilidade necessita, ainda, de uma maior definição conceitual que seja aceita pelo conjunto dos pesquisadores da área. Tal objetivo somente pode ser atingido com amplo debate, que pode ser baseado nas definições propostas pelo CIB/RILEM⁹ (1983). Esta unificação conceitual facilitaria a comunicação entre pesquisadores da área, hoje bastante prejudicada.

O conhecimento de muitos dos fatores de degradação, de seus sinergismos e mecanismos, de uma maneira geral, precisa ser ampliado. Particularmente, o grupo dos fatores de uso ainda é pouco estudado, prevalecendo trabalhos dispersos. A sistematização destes fatores apresentada pelo CIB/RILEM⁹ (1983) é insuficiente. A apresentada pela ISO DP 6241 não inclui muitos dos fatores deste grupo. A importância destes fatores de uso - desgaste pelo uso, manutenção, projeto... - é enorme como demonstram estatísticas antes arroladas. Pode-se afirmar, que uma maior confiabilidade nos ensaios de avaliação da durabilidade passa por um maior conhecimento deste grupo de fatores e de seus efeitos (diretos e por sinergismo) e sua inclusão nestes ensaios.

A durabilidade "não é uma qualidade absoluta de um item, mas um termo que expressa a percepção humana de uma qualidade que muda no ambiente... (Frohnsdorff e Masters,¹³ (1980)). O conceito de desempenho é a tentativa de traduzir a percepção humana em termos técnicos. As avaliações da durabilidade necessariamente devem estar baseadas neste conceito e não limitar-se apenas a medir propriedades que mudam com o decorrer do tempo de exposição. Neste processo, a seleção de indicadores

de degradação que procurem simplificar o processo de avaliação da durabilidade, bem como a determinação da relação da variação destes indicadores com a variação do desempenho constituir-se em aspecto crítico.

Ensaio de durabilidade que estimem a vida útil de componentes de edifícios, baseados na avaliação do desempenho precisam ser desenvolvidos, uma vez que somente o padrão tempo permite comparação entre os resultados de diversos ensaios, além de ser possível o seu emprego em cálculos econômicos. Estes ensaios devem ter sua confiabilidade estudada. A metodologia proposta pelo CIB/RILEM⁹ (1983) para o desenvolvimento de ensaios acelerados apresenta bom potencial para componentes do envelope dos edifícios. Para componentes internos, sujeitos a esforços de uso mais intensos, é necessária uma complementação desta metodologia.

Estudos de durabilidade através de levantamentos de campo devem ser pesquisados e implementados, pois mesmo entre componentes tradicionais pode ser selecionado para cada aplicação específica, o mais econômico. Estes métodos constituem-se também em fonte única para buscar um maior entendimento dos processos de degradação. Inclusive permitem o estudo da relação entre perda de desempenho e tempo de exposição, importante na avaliação da confiabilidade de métodos que a partir de amostras em laboratório procurem estimar a vida útil de populações.

Com respeito à metodologia testada, pode-se concluir que ela permite a estimação da vida útil de componentes em uso, mesmo a partir de amostras.

A confiabilidade dos resultados é função do (a) tamanho da amostra - no estudo houve dificuldades de ajuste de amostras com menos de 30 exemplares - e, (b) do intervalo de variação do tempo de utilização representado no estudo, que deve ser o mais amplo possível.

Tais condicionantes inviabilizam o emprego do método no estudo da durabilidade de componentes que tenham uso recente e/ou pequeno número de exemplares em uso.

Com o estabelecimento de uma rotina de realização periódica de levantamentos, é possível a obtenção de uma confia-

bilidade crescente nos resultados.

Os resultados obtidos com a aplicação do método testado apresentam possibilidade de emprego principalmente em (a) cálculos econômicos; (b) seleção, entre alternativas, da mais durável; (c) avaliação da influência de detalhes de projeto na vida útil do edifício e suas partes; e (d) no planejamento da manutenção, reparos e substituição de edifícios.

Para organismos, como a SDO, responsáveis pela manutenção de um grande universo de edifícios, de uso tipificado e com projetos repetitivos, a aplicação sistemática desta metodologia pode trazer considerável economia de recursos.

O estudo realizado permitiu estimar, com 95% de confiança que componentes de madeira - janelas, assoalhos e paredes externas - apresentam uma vida útil média da população de 30 anos, no mínimo (com pequenas variações). Já a estimativa da vida útil mínima esperada para componentes de um edifício (indivíduo) apresenta grandes variações: 18 anos para paredes externas, 10 para assoalhos e 11 anos para janelas.

Os resultados deste trabalho indicam que no universo estudado existe uma relação fraca entre a perda de desempenho (expressa pelo ID) e o tempo de uso. Esta relação é significativamente menor para componentes expostos a importantes esforços de uso, sugerindo uma grande dispersão na intensidade destes esforços, mesmo em populações bem caracterizadas.

Recomendações de pesquisa na área

A seguir são arrolados alguns dos itens de pesquisa na área deste trabalho, que apresentam maior interesse e/ou urgência de serem realizadas:

- aprofundamento do estudo da relação entre perda de desempenho e tempo de uso quando analisado um universo de componentes;

- estudo (inclusive quantificação) e sistematização dos fatores de uso;

- desenvolvimento de ensaios de envelhecimento acelerado adequados aos climas brasileiros, que exijam apenas equipamentos de baixo custo;

- desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade de componentes e edifícios, adequado a realidade sócio-econômica brasileira, tendo por base o conceito de desempenho e que inclua a avaliação da durabilidade;

- estudo da possibilidade do levantamento de campo do método testado ser realizado pelos usuários dos edifícios analisados;

- estudo entre o grau de relação porventura existente entre o ID e o custo das operações de manutenção e reparo, visando o desenvolvimento de um método expedito de orçamentação destas atividades, adequado a grandes universos de edifícios.

A N E X O I

LISTA DA ESCOLAS PESQUISADAS

RELAÇÃO DAS ESCOLAS PESQUISADAS

NOME DA ESCOLA	N. DE EDÍFÍCIOS
AFONSO GUERREIRO LIMA	3
ALBERTO BINS	3
ALCEU WAMOSY	3
ALCIDES CUNHA	6
ANNE FRANK	2
ANTAO DE FARIA	2
BRIGADEIRO SILVA PAES	3
CÂNDIDO JOSE DE GODOI	3
CEARÁ	5
EDGAR LUIZ SCHNEIDER	5
EMILIO KEMP	3
GEN. ÁLVARO A S BRAGA	1
IBÁ ILHA MOREIRA	2
ITÁLIA	3
ITAMARATI	3
JOÃO BATISTA LACERDA	4
JÚLIO GRAU	2
MARIETA DA CUNHA SILVA	3
MARTINS COSTA JÚNIOR	2
NAÇÕES UNIDAS	1
OSCAR TOLLENS	3
OTÁVIO DE SOUZA	3
OTÁVIO MANGABEIRA	2
POTY MEDEIROS	2
PRIMEIRO DE MAIO	1
TOTAL DE EDÍFÍCIOS	70

A N E X O I I

PARTE DO TREINAMENTO DOS PESQUISADORES
INDICADORES DE DEGRADAÇÃO

Parte do treinamento dos pesquisadores
Indicadores de degradação

II.1 - O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO A PISOS

Os pisos devem atender as seguintes exigências do usuário:

- segurança estrutural, significando que os pisos devem resistir as cargas de serviço (estáticas e dinâmicas) sem romper e sem deformações excessivas;
- segurança à utilização, não podendo apresenta impedimentos ao deslocamento humano;
- conforto higrotérmico, não podendo apresentar percolação d'água nem dilatação-contração excessivos;
- conforto acústico, não podendo emitir ruídos ao ato de caminhar.

II.1.1 - Indicadores de degradação

Conhecidas as exigências do usuário e os requisitos de desempenho, usando da experiência acumulada que são as patologias típicas produzidas pela interação dos materiais com os fatores de degradação, apresentamos a seguir uma pequena lista dos indicadores de degradação:

- existência de cupins;
- balanço ao caminhar;
- existência de desníveis (buraco ou falta de tacos) ou saliências (tacos descolados ou empenados, tábuas empenadas ou levantadas), frestas;
- podres e manchas de fungos;
- trincas;
- arranhões;
- má aparência;
- produção de ruídos ao caminhar.

De acordo com o grau de gravidade dos fenômenos anteriormente descritos, bem como de outros que forem pelo técnico julgados relevantes (salienta-se aqui que a lista não tem a pretensão de ser exaustiva), é que será atribuída a nota.

II.2 - O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO A JANELAS

Antes de tudo, uma consideração: não serão considerados os vidros.

As janelas devem atender as seguintes exigências do usuário:

- segurança estrutural, deve resistir as cargas de serviço; manuseio e cargas advindas da estrutura;
- segurança a utilização não podendo ter partes pontiagudas e nem apresentar a possibilidade de ser aberta pelo exterior;
- estanqueidade não permitindo a passagem de corrente de ar ou de chuva quando totalmente fechada;
- conforto higrotérmico, devendo possuir mecanismos reguláveis para permitir a ventilação;
- conforto visual, não podendo apresentar deformações aparentes;
- conforto antropodinâmico devendo permitir o trancamento ou manuseio de suas folhas sem esforços excessivos por parte do usuário.

II.2.1 - Alguns indicadores de degradação

- não pode haver deformação com o manuseio;
- a trava de segurança deve estar funcionando;
- existência de partes pontiagudas;
- existência de frestas, impossibilidade de manter a janela totalmente aberta ou fechada;
- apresentação de arranhões ou descolamento da pintura;
- não pode exigir esforço demasiado para operação;

- não pode apresentar pontos podres ou de ferrugem;
- não pode apresentar peças rompidas.

II.3 - O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO A PAREDES EXTERNAS

As paredes externas devem atender as seguintes exigências do usuário:

- segurança estrutural, devendo resistir às cargas de serviço, sem entrar no estado limite último ou deformar;
- estanqueidade, não podendo permitir a passagem de ar, água ou de pequenos animais;
- conforto higrotérmico, devendo garantir a não condensação de vapor d'água interna ou externa;
- conforto visual, deve apresentar superfície uniforme e de boa aparência.

II.3.1 - Indicadores de degradação

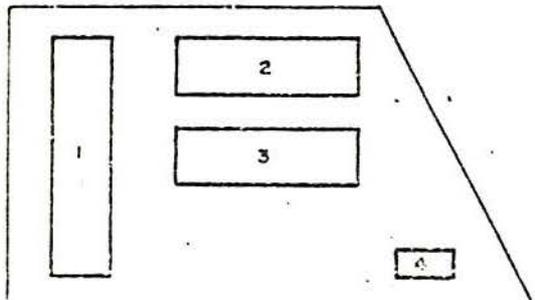
- empenamentos;
- fissuras;
- deformações;
- falta de prumo;
- apresentação de buracos, frestas ou rachaduras;
- existência de cupins;
- descolamento ou falta da pintura;
- descolamento de reboco;
- apresentação de manchas de umidade ou de fungos;
- superfície arranhada ou com rugosidades;
- apresentação de deformações ao sofrerem força horizontal.

C. D. Q. NOME: Escola Estadual de 1º Grau "Prof. Edgar Luiz Schneider" FONE: 36-0022
C. E. Q. END: Avenida Bento Gonçalves, 5380 BAIRRO: Partenon

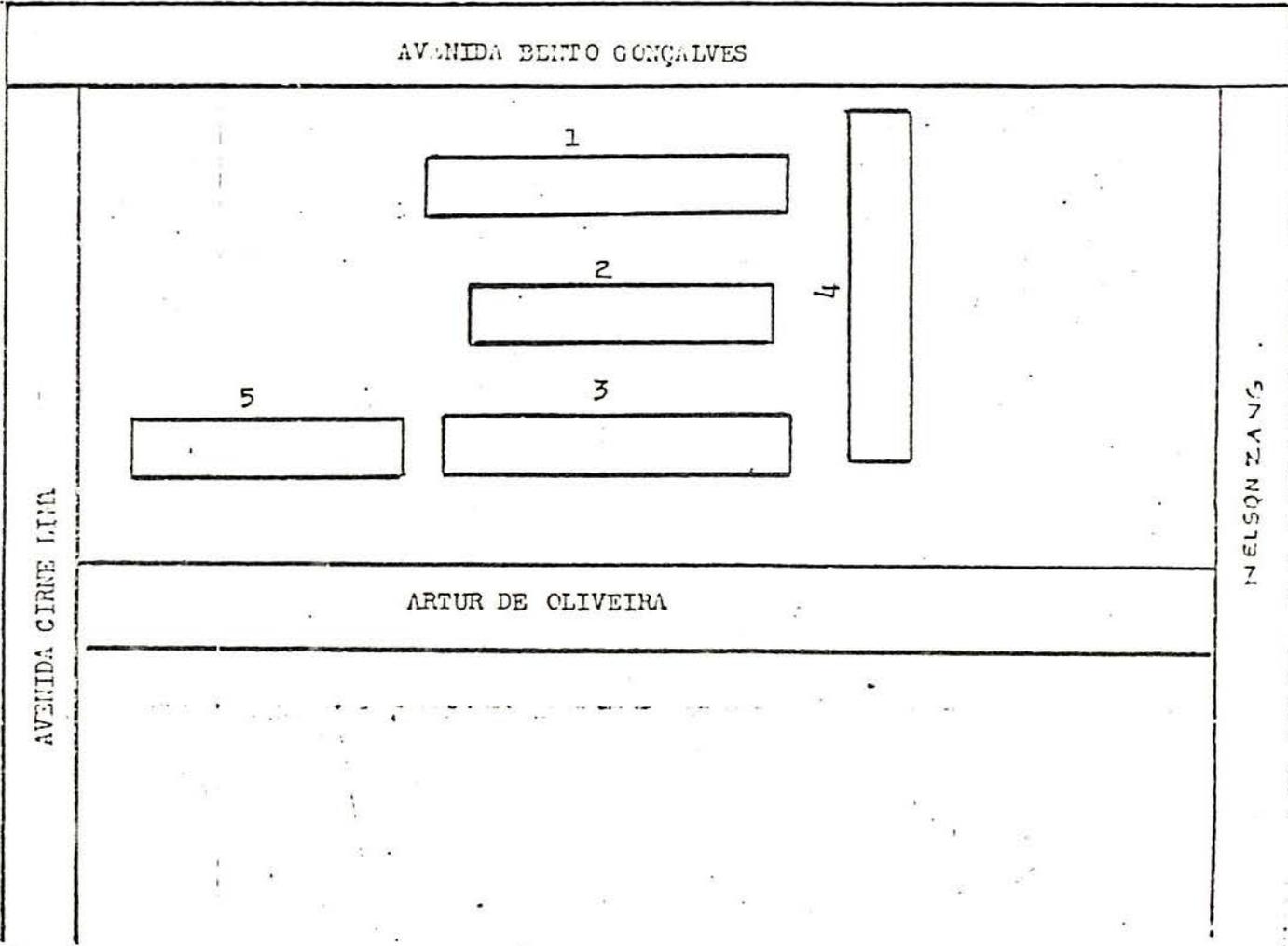
FICHA DE INFORMAÇÃO

XIV
ANO
1935

CROQUI DO TERRENO E LOCALIZAÇÃO DOS BLOCOS.
FAÇA UM CROQUI DO TERRENO, LOCALIZE OS BLOCOS, ARUA COM O NOME E NUMERE OS BLOCOS.
EXEMPLO:



FAÇA O CROQUI ABAIXO.



D. O. NOME: Escola Estadual de 1º Grau "Prof. Edgar Luiz Schneider" FONE: 36-0022
 C. E. C. END: Avenida Bento Gonçalves, 5380. BAIRRO: Partenon FICHA DE INFORMAÇÕES ANO 1965

01 INFORMAÇÕES SOBRE O TERRENO UNIÃO <input type="checkbox"/> 11 PROPRIEDADE ESTADO <input type="checkbox"/> MUNICÍPIO <input type="checkbox"/> PARTICULAR <input checked="" type="checkbox"/> 12 ÁREA DO TERRENO 6.328,86 m ² 1.3 TOPOGRAFIA PLANA <input type="checkbox"/> POUCO INCLINADA <input type="checkbox"/> ACIDENTADA <input checked="" type="checkbox"/> 14 HÁ OUTRO TERRENO PARA TRANSFERIR A ESCOLA SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>		03 ABASTECIMENTO D'ÁGUA 3.1 TIPO REDE PÚBLICA <input checked="" type="checkbox"/> POÇO ARTESIANO <input type="checkbox"/> POÇO DOMÉSTICO <input type="checkbox"/> VERTENTE <input type="checkbox"/> CARIÓPIPA <input type="checkbox"/> CISTERNA <input type="checkbox"/> NENHUM <input type="checkbox"/> 3.2 HÁ FALTA D'ÁGUA SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>		4.3 QUANTIDADE DE LÂMPADAS FLUORESCENTES <input type="checkbox"/> INCANDESCENTES <input checked="" type="checkbox"/> 05 INSTALAÇÕES SANITÁRIAS NO PRÉDIO <input checked="" type="checkbox"/> BLOCO ISOLADO <input type="checkbox"/> LATRINA <input type="checkbox"/> 06 REDE DE ESGOTO LIGADA A REDE PÚBLICA <input checked="" type="checkbox"/> FORÇA <input type="checkbox"/> POÇO NEGRO <input type="checkbox"/> 07 PÁTIOS PASSEIOS PAVIMENTADOS <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> PÁTIOS FAVINEIRADOS <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>		08 CAMICHAS DE ESPORTE SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> PAVIMENTADAS <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> 09 MASTRO DE BANDEIRA SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> 10 CASA OU APTO. ZELADOR SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/> 11 BOTTÕES DE GÁS NA COZINHA <input checked="" type="checkbox"/> ÁREA INTERNA <input type="checkbox"/> ABRIGO DE GÁS <input type="checkbox"/> NO TEMPO <input type="checkbox"/> OUTRO LOCAL <input checked="" type="checkbox"/> 15KG <input checked="" type="checkbox"/> DE 45KG <input checked="" type="checkbox"/> OUTRO <input type="checkbox"/>		12 CERCAMENTO DO TERRENO SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> TELA <input checked="" type="checkbox"/> ARAME <input type="checkbox"/> CERCA DE TIJOLO <input type="checkbox"/> MADEIRA <input type="checkbox"/> CONCRETO <input type="checkbox"/> GRADE FERRO <input type="checkbox"/> MADEIRA <input type="checkbox"/> MOIRÕES DE CONCRETO <input checked="" type="checkbox"/> CANOS <input type="checkbox"/> PEDRA <input type="checkbox"/> FERRO <input checked="" type="checkbox"/> PORTÕES DE MADEIRA <input type="checkbox"/> TELA <input type="checkbox"/>	
02 INFORMAÇÕES DE USO DO PRÉDIO PRÓPRIO <input type="checkbox"/> ALUGADO <input type="checkbox"/> Cedido <input checked="" type="checkbox"/> CONTRATO CONVODATO <input type="checkbox"/> OUTRO <input type="checkbox"/>		04 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS 4.1 NO PRÉDIO SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> 4.2 REDE DE FONTE A ESCOLA SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>							

INFORMAÇÕES GERAIS DOS BLOCOS DO ESTABELECIMENTO

BLOCO	TIPO DE PAREDE (MARCAR COM X)					Nº DE PAVIM.	ÁREA DE CONSTRUÇÃO	ANO DE CONSTRUÇÃO	TIPO TELHA	TEM CALHAS?	Nº DE SALAS AULA		CAPACIDADE MÁXIMA DE ALUNOS POR BLOCO		Nº DE SALAS ESPECIAIS	Nº DE VAGOS SANITÁRIOS					
	ALVENARIA	MADEIRA	MADEIRA E CHAPAS	METAL	FIBRA DE VIDRO						NORMAIS	ADAPTADAS	SAL. NORMAL	SAL. ADAPTADAS		ALUNOS	ALUNAS	PREF	FUNC	MASC	FEM
1	-	-	X	-	-	01	213,40 m ²	1943	OC	não	02	03	210	-	02	-	04	01	-	-	-
2	-	-	X	-	-	01	234,25 m ²	1942	OC	não	01	04	210	-	01	-	-	-	-	-	-
3	-	-	X	-	-	01	213,32 m ²	1969	OC	não	03	01	420	-	04	-	-	-	-	-	-
4	-	-	X	-	-	01	284,66 m ²	1944	OC	não	04	-	420	-	01	05	03	-	-	-	-
5	-	-	X	-	-	01	210 m ²	1946	OC	não	04	-	420	-	-	-	-	-	-	-	-
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					

CONVENÇÃO

C = BOM TIPO CANOA
 F = " " FRANCESA
 M = METAL
 OC = ONDULADA CIMENTO AMIANTO
 O = OUTROS TIPOS CIMENTO AMIANTO
 R = OUTRAS

Obs.: A capacidade máxima de alunos por bloco foi calculada nos três turnos de funcionamento da Escola.

362 R: 400 a 404

ID	CONDIÇÕES DOS COMPONENTES
10 - 9	Não há degradação, ou pouca degradação
9 - 7	Partes degradadas podem ser observadas, contudo sem afetar o desempenho. Reparos menores e manutenção são necessários.
7 - 5	Algumas partes estão degradadas e são necessárias operações de reparo parciais.
5 - 3	Muitas partes estão degradadas e o decréscimo no desempenho é significativo. Reparos podem estender a vida útil.
3 - 1	A reposição do componente deve ser feita imediatamente.

Tabela II -Escala do índice de degradação
(Fonte: Ishizuka, 1983)

A N E X O I I I

MATERIAL UTILIZADO PARA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO

BIBLIOGRAFIA

1. ALLUCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. Bolor em edifícios: causas e recomendações. Tecnologia de Edifícios. São Paulo, IPT, 1: 89-94, ago. 1984.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard recommended practice for developing short-term accelerated tests for prediction of the service life of building components and materials: E632-78. Philadelphia, 1980. p. 1121-8.
3. ASHTON, H.E. & SEREDA, P. J. Environment, microenvironment and durability of building materials. Durability of Building Materials, Amsterdam, 1(2): 49-65, July 1982.
4. BAUER, L. A. F., org. Materiais de construção civil. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1984.
5. BROWNE, R. D. Design predictions of the life for reinforced concrete in marine and other chloride environments. Durability of Building Materials, Amsterdam, 1(2): 113-25, July, 1982.
6. CNUUDE, M. La qualite, une garantie pour l'industrie de la construction. CSTC Revue, Bruxelles (2):2-13, avr. /juin 1984.
7. CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT POUR LA RECHERCHE L'ÉTUDE ET LA DOCUMENTATION. CIB master list of readings for the arrangement and presentation of information in technical documents for design and construction. [Rotterdam] 1983. 20p. (CIB Report. Publication, 18).
8. CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT POUR LA RECHERCHE L'ÉTUDE ET LA DOCUMENTATION. Working Comission W60. Working with the performance approach in building. Rotterdam, 1982. 30p, (CIB Report.Publication, 64).
9. CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT POUR LA RECHERCHE L'ÉTUDE ET LA DOCUMENTATION & RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS. CIB W80/RILEM 71-PSL. On prediction of service life of building materials and components. [Rotterdam] 1983. 98p.
10. FARHI, E. Methodologies for assessing durability of new materials and components in building. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 1., Ottawa, Aug. 21-23, 1978. Proceedings... Philadelphia, ASTM, 1980. p. 91-7. (ASTM Special Technical Publication, 691).
11. FLAUZINO, W. D. Durabilidade de materiais e componentes das edificações: Tecnologia de Edificações, São Paulo, IPT, 2:51-6, ago. 1985.

25. LALA, D. Ultraviolet radiation measurements by petrochemical methods. Gävle, 1985. 49p. (Bulletin of the National Swedish Institute for Building Research, 12).
26. LATTA, J. K. The principles and dilemmas of designing durable house envelopes for the north. Ottawa, National Research Council of Canada, Mar, 1985. 27p. (Building Practice Note, 52).
27. LIEHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edifícios. São Paulo, Escola Politécnica/USP, 1985. 191p. Diss. Mestr.
28. NANNI, L. F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1986. 178p. (Caderno Técnico, 30).
29. _____. Programas computacionais para o processamento estatístico de dados. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1983. (Caderno Técnico, 40).
30. NATIONAL HOUSE-BUILDING COUNCIL, Registered House-Builder's Site Manual. How to improve quality and prevent defects. London, 1984. 110p.
31. NIREKI, T. Examination of durability test methods for building materials based on performance evaluation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 1., Ottawa, Aug. 21-23, 1978. Proceedings... Philadelphia, ASTM, 1980. p.119-30. (ASTM Special Technical Publication, 691).
32. OLGAY, V. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. New Jersey, Princeton University Press, 1963. 190p.
33. PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água da chuva pelas fachadas (Parte 1). Tecnologia de Edificações, São Paulo, IPT, 2: 35-8, ago. 1985.
34. PIHLAJAARA, S. E. Background and principles of long-term performance of building materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 1., Ottawa, Aug. 21-23, 1978. Proceedings... Philadelphia, ASTM, 1980. p.5-16, (ASTM Special Technical Publication, 691).
35. QUEWET, C. Conception des seuils de fenetre. CSTC Reone, Bruxelles (4): 37-8, dec. 1980.
36. RANSON, W. H. Building failures: diagnosis and avoidance. London, E. & F. Spon, 1981. 174p.
37. REYGAERTS, J. et alii. Comment éviter le dégats. CSTC Revue, Bruxelles (3):3-10, sept. 1978.
38. SEELEY, I. H. Building maintenance. London, MacMillan, 1982. 362p.

12. FLAUZINO, W. D.; UEMOTO, K. L. Durabilidade de materiais e componentes das edificações. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, 1., São Paulo, 25-28 Out., 1981. Anais... São Paulo, IPT, 1981. p. 203-20.
13. FROHNSDORFF, G. & MASTERS, L. W. The meaning of durability and durability prediction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 1., Ottawa, Aug. 21-23, 1978. Proceedings... Philadelphia, ASTM, 1980. p. 17-30. (ASTM Special Technical Publication, 691).
14. FROHNSDORFF, G.; MASTERS, L. W.; MARTIN, J. W. An approach to improved durability tests for building materials and components. Washington, National Bureau of Standards, Department of Commerce, 1980. 32p. (NBS Technical Note, 1120).
15. GARDEN, G. K. Design determines durability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 1., Ottawa, Aug. 21-23, 1978. Proceedings... Philadelphia, ASTM, 1980. p. 31-7. (ASTM Special Technical Publication, 691).
16. GJELSVIK, T. Apparatus for accelerated weathering of building materials and components. Materiaux et Constructions, Paris 16 (93): 209-11, may/juine, 1983.
17. HELENE, P. R. L. Corrosão de armaduras para concreto armado. Tecnologia de Edificações, São Paulo, IPT, 1:107-12, ago. 1984.
18. _____. Durabilidade do concreto versus agressividade do meio (Parte 1). Tecnologia de Edificações, São Paulo, IPT, 2:87-90, ago. 1985.
19. HOGNESTAD, E. Design of concrete for service life. Concrete International, Detroit, 8 (6): 63-7, June 1986.
20. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Durabilidade. In: _____. Avaliação do desempenho de construções unifamiliares. São Paulo [1981] v.6. Documento preliminar.
21. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Performance standards in building - contents and presentation: ISO 6240-1980 (E). [Geneva] 1980. 2p.
22. ISHIZUKA, Y. The degradation and prediction of service life of building components. Durability of Building Materials, Amsterdam, 1 (4): 345-52, July 1983.
23. JOHN, V. M. & AROZTEGUI, J. M. Durabilidade e vida útil dos edifícios. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1985. 30p. (Caderno de Engenharia, 5).
24. KEYSER, J. H. Durability of materials and construction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 1. Ottawa, Aug. 21-23, 1978. Proceedings... Philadelphia, ASTM, 1980. p. 38-55 (ASTM Special Technical Publication, 691).

39. SNECK, T. RILEM and durability. Matériaux et Constructions, Paris, 14(83): 379-90, sept./oct. 1981.
40. SOBRAL, A. Conservação de edifícios públicos. Trabalho apresentado no 3º Encontro Nacional de Construção, Porto Alegre, 3-11 abr. 1976. 10p.
41. SOUZA, R. de. A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação às janelas de uso habitacional. São Paulo, Escola Politécnica/USP, 1983. p. Diss. Mestr.
42. STEEL, F. Expenditures for the operation and maintenance of buildings. Ottawa, National Research Council of Canada, Feb. 1985. 15p. (Building Research Note, 224).
43. STONE, P. A. Building design evaluation cost-in-use. 3.ed. London, E. & F. Spon, 1980.
44. SYNDICAT D'ÉTUDES INTERINDUSTRIES-CONSTRUCTION; CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION; BUREAU DE CONTRÔLE POUR LA SÉCURITÉ DE LA CONSTRUCTION. Bâtiment dans son ensemble. In: _____ . Guide des performances du bâtiment. Bruxelles, 1979. v.1.
45. UEMOTO, K. L. Envelhecimento natural e acelerado de chapas onduladas de PVC e poliéster reforçado com fibras de vidro. Tecnologia de Edificações, São Paulo, IPT, 2: 101-4. ago. 1985.