

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

KELBER DE SOUZA ALBECHE

**ESTUDO E PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO
DE SISTEMAS DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL
PARA FÁBRICAS DE CELULOSE**

Dissertação apresentada, como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação

Prof° Dr° Cláudio Walter
Orientador

Porto Alegre, outubro de 2008

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Albeche, Kelber de Souza

Estudo e Proposta de Metodologia para o Desenvolvimento de Sistemas de Informática Industrial para Fábricas de Celulose / por Kelber de Souza Albeche – Porto Alegre: da UFRGS, 1986.

129 F.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Porto Alegre, BR – RS, 1986. Orientador: Walter, Cláudio.

1. Controle de Processos. 2. Celulose. 3. Especificação. I. Walter, Cláudio II. Título

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Reitor: Prof. José Carlos de Ferraz Hennemann
Vice-Reitor: Prof. Pedro Cezar Dutra Fonseca
Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação: Profa. Valquíria Linck Bassani
Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner
Coordenadora do PPGC: Profa. Luciana Porcher Nedel
Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

“Espero que cada um cumpra o seu dever.”

- MANUEL LUÍS OSÓRIO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof° Dr° Cláudio Walter pelas oportunidades oferecidas e orientação recebidas.

Aos demais professores do PGCC-UFRGS pelos ensinamentos transmitidos em especial a Tiarajú Wagner pelo estímulo ao trabalho de pesquisa.

Aos colegas de curso pelo ambiente de companheirismo.

Aos funcionários do CPGCC pela boa vontade.

A RIOCELL S.A. e sua diretoria cujo convênio de cooperação tecnológica com a UFRGS deu suporte financeiro a este trabalho no período 1982 – 1983.

Ao Eng° Alfred Freund pela confiança e pelo apoio, no início deste trabalho, durante o projeto do branqueamento RIOCELL.

Aos colegas de trabalho na RIOCELL pela colaboração e troca de idéias.

Aos meus pais pela orientação de vida e pelo sentimento de patriotismo.

Ao meu irmão Gerson pela amizade.

Ao amigo Santini pelo empurrão final.

A Carolina e a Guilherme por existirem.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Desenvolvimento de programas para Informática Industrial.....	15
1.3 Antecedentes no PGCC – UFRGS.....	16
2 INFORMÁTICA INDUSTRIAL NA INDUSTRIA DE CELULOSE.....	19
2.1 Motivações para automação Industrial.....	19
2.2 Integração com outros computadores da empresa.....	22
2.3 A evolução dos recursos de Informática Industrial aplicados na indústria de Celulose.....	23
2.4 Computador Geral da Fábrica.....	27
2.4.1 Apresentação do conceito.....	27
2.4.2 Estrutura Geral para um Sistema C.G.F.....	28
2.4.2.1 Consulta e Atualização da Base de Dados.....	29
2.4.2.2 Gerenciamento da Base de Dados.....	29
2.4.2.3 Programas Aplicativos.....	30
2.4.2.4 Interface com o Usuário.....	30
2.4.3 Justificativas para a Instalação de um CGF.....	30
2.4.4 Considerações Finais sobre o CGF.....	35
2.5 Instalações, Fornecedores e Mercado.....	36
2.6 Resultados e Benefícios da Instalação de Sistemas de Automação na Indústria de Celulose e Papel	39

3	UMA ARQUITETURA DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL PARA FÁBRICAS DE CELULOSE.....	47
4	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTOS DE SISTEMAS.....	57
4.1	Conceitos básicos	57
4.2	A Importante fase de Especificação.....	62
4.2.1	Justificativas para a especificação formal de sistemas.....	63
4.3	Características principais desejadas para a metodologia	70
5.	DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	72
5	SISTEMAS TRANSFORMACIONAIS PARA PROCESSOS CONTÍNUOS. 79	
6.1	Produtos classes e transformações	82
6.2	Recursos de Interpretação para a Transformação.....	83
6.3	Expressões de Controle e Execução.....	85
7	INTERPRETADOR SIMULADOR DE SISTEMAS TRANSFORMACIONAIS. .	86
7.1	Descrição da Estrutura de Dados.....	88
7.2	Descrição das funções de simulação.....	90
7.3	Construção de um exemplo ilustrativo para as funções do interpretador-simulador.....	91
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	ANEXOS.....	98
1.	DESCRIÇÃO DA PLANTA DO DIGESTOR CONTÍNUO.....	98
1.1	Conceitos Básicos.....	98
1.2	Descrição do processo.....	101
2	CONSTRUÇÃO DE UM EXEMPLO.....	109
	REFERÊNCIAS.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição mundial da automação nas fábricas.....	39
Figura 2.2 - Tendência mundial de instalação de sistemas.....	39
Figura 3.1 - Arquitetura de um sistema integrado.....	50
Figura 6.1 - Descrição através da linguagem.....	79
Figura 6.2 - Descrição através da rede.....	80
Figura 6.3 - Descrição incluindo equipamentos.....	84
Figura 7.1 - Rede de Petry.....	86
Figura 7.2 - Descrição do processo.....	91
Figura 7.3 - Descrição do processo-rede.....	91
Figura 7.4 - Estrutura de dados do interpretador.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Custo relativo de Software e Hardware nos EUA em 1980.....	15
Tabela 2.1 – Benefícios resultantes da automação de fábricas de celulose.....	41
Tabela 2.2 – Benefícios econômicos na automação de fábricas de celulose.....	42
Tabela 2.3 – Participação no mercado dos principais fornecedores de sistema. .	43
Tabela 2.4 – Associação entre fornecedores de sistemas e instrumentação.....	43
Tabela 3.1 – Estrutura lógica do sistema para automação de fábricas de celulos	49

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de metodologia de desenvolvimento de sistemas de Informática Industrial para fábrica de celulose.

Inicialmente foi elaborado um estudo sobre a automação na indústria de celulose nos seus diversos aspectos a fim de estabelecer uma referência sobre a natureza dos sistemas a serem desenvolvidos e de diretrizes na condução de um projeto deste tipo.

Após este levantamento é apresentada a metodologia de projeto propriamente dita a qual se baseia numa descrição formal do processo a fim de que possamos levantar suas principais características. Esta descrição é a base do projeto do sistema de controle de processos.

Palavras – chaves: Controle de Processos, Celulose, Especificação.

TITLE: “Study and propose of a design methodology for industrial computer system in pulp industry.”

ABSTRACT

This work deals with the development of industrial control system.

First is present a survey on process control for pulp and paper industry in such a way to give a direction for the proposal. The main aspects of system are present and their impact in the economics of this industrial field.

Secondly the methodology it self is presented. It departs from the formal description of the process and its characteristics as the base for the process control system.

Keywords: process control, pulp, specification.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Antecedentes

A necessidade de produzir bens e produtos industriais em grande escala é um dos aspectos que caracterizam a sociedade do século vinte.

Observando a evolução desta sociedade industrial notamos que além dos fatores: capital e trabalho, assume importância cada vez maior dominar e conhecer em profundidade as tecnologias de produção dos produtos essenciais. Esta importância surge em função do desenvolvimento tecnológico alterar intensamente as relações entre os dois fatores tradicionais de produção.

Neste contexto o computador surge como a ferramenta capaz de manipular a complexidade tecnológica necessária à otimização das modernas linhas de produção.

Nas primeiras aplicações industriais de computadores os principais problemas se relacionavam com o interfaceamento, com o processo e o desenvolvimento de sistemas operacionais e linguagens que tornavam adequado o computador para aplicações industriais.

A partir de meados da década de 60, com a intensificação do uso de computadores e a conseqüente consolidação da indústria de informática, surgiu a

necessidade de produzir sistemas maiores, mais sofisticados e em maior quantidade, a fim de atender a demanda das soluções que utilizavam computadores. Em consequência desta necessidade, surgiram nas diversas áreas relacionadas com computação, metodologias, ferramentas e métodos de projeto e produção de sistemas que fossem um suporte ao esforço de construir, de maneira econômica, sistemas confiáveis e adequados às necessidades do mercado.

Estes esforços se concentravam basicamente em dois níveis:

- primeiro ao nível gerencial, a fim de planejar e controlar o desenvolvimento de um projeto – atividade essencial para garantir sua viabilidade econômica;
- e, em segundo lugar ao nível da equipe técnica, a fim de dispor de métodos de elaboração do projeto que representem um aumento de eficiência e produtividade que permitam a viabilidade técnica do projeto.

Tradicionalmente, a engenharia de sistemas de computação divide os recursos utilizados na construção de uma solução em dois conjuntos; os recursos materiais, composto principalmente das partes eletrônicas, e os recursos de programas executados no sistema computador.

A resposta da tecnologia e da ciência, no sentido de produzir os recursos materiais, foi bastante rápida produzindo uma mudança significativa de desempenho e capacidade das partes eletrônicas de um sistema computador. Isto resultou não só devido aos grandes investimentos, mas também por já existir

neste campo uma tradição de engenharia e um corpo de conhecimento e tinham condições de usá-lo de uma maneira eficaz na busca de resultados.

Em relação aos recursos programados a evolução não transcorreu da mesma maneira. Isto significa que as soluções, onde era exigida uma grande participação dos componentes recursos programados, representavam um risco técnico-econômico, que não podia ser avaliado nem manipulado de uma maneira eficiente. Esta capacidade de executar com eficiência o desenvolvimento de grandes programas foi denominada no início da década de 70 “software crisis”, que está diretamente relacionada com o surgimento de recursos de processamento bastante poderoso, que tornavam realizáveis diversas aplicações que exigiam que fossem construídos programas bem maiores que usualmente disponíveis (SOMMERVILLE, 1982).

O termo “software crisis” faz alusão a uma série de problemas encontrados no processo de desenvolvimento de programas. A abrangência destes problemas se estende a todos os aspectos desse desenvolvimento que incluem os:

- Gerenciais: como avaliar e limitar os custos de desenvolvimento, e controlar e estimar prazos.
- Mercadológicos e econômicos: como preservar os investimentos feitos no desenvolvimento de um programa, em função da evolução dos recursos materiais de processamento e das necessidades de mercado.

- Técnicos: como construir um programa dentro de padrões de qualidade, confiabilidade, desempenho, funcionalidade e disponibilidade, exigidos por uma determinada aplicação e, mesmo como estabelecer estes padrões.

As causas deste problema estão intimamente ligadas a natureza do próprio programa de computador, que é uma entidade imensamente mais lógica do que física, e, as dificuldades das pessoas de trabalharem com entidades desta natureza em problemas grandes ou complexos levando a erros e equívocos.

Outro ponto a mencionar é ao se construir uma solução por computador, todo o esforço de adaptação a aplicação é desempenhado pelo programa, no sentido de tornar viável a uso do potencial dos recursos materiais de processamento.

Outras causas deste fenômeno denominado “software crisis” são:

- não existem ainda suficientes dados estatísticos sobre produtividade e eficácia das diversas metodologias de projeto (PRESSMAN, 1982).
- Os níveis intermediários e de alta gerência, geralmente não possuem uma bagagem suficientemente densa para assumir as responsabilidades por grandes projetos (PRESSMAN, 1982).
- Os elementos técnicos, normalmente, têm pouco treinamento formal com as novas técnicas de desenvolvimento de

sistemas de programas e, fica difícil compatibilizar e direcionar as experiências individuais de cada um deles.

- Existem poucos elementos dentro das organizações produtoras e consumidoras de grandes sistemas com condições de entender a organização perfeitamente e como devem ser atendidas as suas necessidades.

Drastificando a situação podemos concluir que não sabemos definir, com exatidão, o que queremos de uma solução por computador e, não existem métodos seguros de construção desta solução.

A criticidade desta situação pode ser avaliada considerando os dados de custos de software e hardware nos EUA no ano de 1980 (tabela 1.1).

Setor econômico	Valor \$ bilhão	% informática no total	% do software no total	Custo do software
Orçamento da defesa	0	9	80	39456
Resto do orçamento PNB	0	5	50	39457
EUA	2565	1	50	39672

Tabela 1.1 - Custos de software nos EUA - 1980

1.2 Desenvolvimento de programas para Informática Industrial

Quando estas observações se estendem ao âmbito da informática industrial o quadro se torna mais crítico, pois além do aspecto informático do problema, encontramos normalmente uma aplicação imperfeitamente especificada e com uma série de exigências de tempo de respostas que o sistema computador deve atender.

A linguagem falada entre os diversos profissionais envolvidos e usada na documentação disponível como base das várias atividades, normalmente, não é igualmente interpretada por todos, favorecendo ambigüidades, inconsistências e incorreções que levam a erros na fase de especificação do projeto com as tradicionais conseqüências na etapa de desenvolvimento. Em sistemas de controle de processos existe o agravante que um erro de programação pode comprometer o processo produtivo da empresa usuária do equipamento e mesmo, por em risco a integridade física dos equipamentos. Em ambos os casos podemos ter conseqüências econômicas muito fortes na empresa.

1.3 Antecedentes no PGCC – UFRGS

Dentro do grupo de informática industrial do Pós-Graduação em Ciência da Computação – UFRGS, a preocupação em desenvolver metodologias de projeto de sistemas ou mesmo formalizar certas abordagens intuitivas para a área, tem sido o principal ponto das atividades.

Entretanto sabe-se que é muito difícil elaborarmos sugestões de regras de projeto para um determinado campo sem uma vivência real, generalizada, de modo que a sugestão seja válida em grande parte dos casos.

Uma oportunidade ímpar surgiu em 1982, quando o PGCC – UFRGS através do seu grupo de controle de processos, foi convidado a participar da implantação de dois sistemas computadorizados de controle de processos para as áreas de digestor e branqueamento na RIOCELL – Rio Grande Cia. de Celulose do Sul, empresa que tem uma fábrica de celulose em Guaíba – RS.

Este trabalho, iniciado em 1982, consistia, basicamente, em absorver os programas dos computadores de controle de processos a tal ponto que permitisse a RIOCELL fazer alterações, modificações e ampliações, de modo que os sistemas controladores acompanhassem as alterações do processo industrial em termos de novas condições operacionais, modificações de equipamento ou novas matérias primas.

Este trabalho, coordenado pelo prof^o Dr^o Cláudio Walter, foi elaborado por Kelber Albeche e posteriormente por Paulo F. Keglevich de Buzim. As principais atividades desenvolvidas abrangeram:

- os processos industriais do digestor e branqueamento sob a ótica de controle de processos.
- Os conceitos e equipamentos de instrumentação e sua interface com o computador.

- As linguagens de programação e o sistema operacional em tempo real utilizados nos computadores de controle de processos.
- A arquitetura dos programas aplicativos nos seus aspectos de:
 - ✓ rotinas de controle de processo
 - ✓ rotinas de interface com o operador do processo
 - ✓ rotinas de aquisição de dados e atuação sobre a planta.

Para cada um desses tópicos foram elaborados relatórios técnicos de propriedade da RIOCELL. Cabe ainda ressaltar a participação de Carlos Pittas do Canto que elaborou um simulador para estratégias de mudança de produção para o digestor contínuo.

Em outros setores industriais, como a siderurgia, outros grupos de pesquisadores ligados a área de automação industrial realizavam estudos semelhantes.

Este projeto inicial, no qual nos envolvemos, foi o ponto de partida para elaborar um estudo mais amplo da automação industrial na indústria de celulose e papel. Este estudo apresentado nos próximos capítulos somado à experiência prática vivenciada por nós durante a absorção software de controle de processo para o digestor e branqueamento, representam as condições de contorno que

serviram para orientar a elaboração da proposta da metodologia de desenvolvimento de programas de informática industrial aplicada a indústria de celulose.

2 INFORMÁTICA INDUSTRIAL NA INDUSTRIA DE CELULOSE

2.1 Motivações para automação Industrial

Nos últimos quinze anos a tecnologia dos equipamentos, dedicados a controle de processos, sofreu uma evolução dos instrumentos e dispositivos pneumáticos para sistemas digitais de controle e informática industrial que levaram para dentro das fabricas conceitos tais como: multiprocessamento, redes locais de comunicação de dados, sistemas de banco de dados, interfaces homem-máquina interativos, entre outros.

Este salto tecnológico foi uma resposta as necessidades cada vez mais intensas de se implantar métodos eficazes de operação, otimização e supervisão dos processos industriais em tempo real, os quais não são suportados pela instrumentação até então utilizada.

No caso particular da indústria de celulose e papel, esta tendência aos sistemas integrados de informática industrial, foi impulsionada pela necessidade de otimizar, em diversos aspectos um complexo fabril caracterizado pelo consumo intenso de matérias primas, insumos e energia em ciclos fechados cujos balanços mássicos e energéticos tendem a uma alta complexidade, não só pelo grande número de variáveis envolvidas, mas também pela dificuldade de obtenção dos valores exatos destas variáveis.

Os benefícios que justificam a implantação de um projeto de informatização industrial, tipicamente, estão associados aos seguintes fatores:

- aumento da capacidade de produção.
- redução dos consumos específicos de matérias-primas, insumos e energia.
- Garantia de parâmetros de qualidade.
- Sistemas de informação gerenciais eficientes.

Para que estes benefícios sejam obtidos em sua plenitude, a introdução de novos sistemas de controle não pode ser encarada isoladamente, mas sim dentro de um contexto que inclui estudos de engenharia das diversas áreas da fábrica, acompanhados também de novas posturas de operação, planejamento e controle do complexo fabril.

Esta abordagem integrada é o ponto de partida para encontrar-se a solução adequada em termos de informática industrial para uma determinada fábrica. Na especificação desta solução é importante que a liderança técnica do projeto se exerça através de um grupo interno da empresa altamente identificado com o processo industrial, de maneira a se determinar, com segurança, os pontos particulares os quais representam os maiores retornos para a empresa, as variáveis responsáveis por limitações e o escopo das mudanças necessárias para eliminação de gargalos.

Em termos da indústria de celulose e papel, estes conceitos tem despertado grande interesse, principalmente, nos países onde as restrições de matérias-primas e energia são mais intensas. Nestes mesmos países existe um ambiente tecnológico favorável a concepção de sistemas de informática industrial, pois existe conhecimento adequado, não só nos aspectos de computação como também nas tecnologias de processo. Nestes países (EUA, Canadá, Suécia, Finlândia) as gerações de sistemas de controle por computador se sucedem, com os resultados reaplicados não só em novos sistemas de controle de processo, mas também na mudança de equipamentos de produção. Esta espiral tecnológica contribui, positivamente, na competitividade dos produtos destas empresas num mercado onde o controle eficaz de qualidade e custo de produto final é de extrema importância.

O conceito de instrumentação digital distribuída é incontestável para a implantação de novas unidades, sendo, atualmente, a maior preocupação dos fornecedores de sistemas dar aos seus produtos características de hardware e software que permitam a composição de um sistema integrado de instrumentação e controle de processos para toda a fábrica. Desta maneira estes fornecedores aprimoraram seus sistemas de instrumentação digital utilizando as novas tecnologias de microprocessadores formando arquiteturas de hardware e software básico bastante poderosas. A esta arquitetura básica incorporou-se diversos softwares aplicativos para otimização e controle de processos das diversas áreas da fábrica (digestor, branqueamento, caldeira de recuperação, etc) de maneira a fechar um fornecimento completo e integrado, que normalmente se completa com

a inclusão de um mini-computador para atividades de controle de produção e coordenação operacional entre as áreas.

Esta proposição de fornecimento completo, pretende resolver um dos grandes problemas das fábricas com alto índice de automação, que é a integração de seus diversos sistemas, de maneira a poderem ser integrados. O aspecto negativo é a dificuldade de acesso ao interior do sistema impedindo que com o passar do tempo se incorpore conceitos novos e idéias geradas pela empresa usuária. Mesmo que o fornecedor dê suporte para estas modificações a dependência neste caso significa transferir a experiência e tecnologia desenvolvida pelo usuário para o fornecedor.

Dentro da área industrial, este esforço para desenvolvimento de equipamentos de instrumentação digital e controle de processos será complementado com um conjunto de programas voltados a otimizar a fábrica como um todo nos seus aspectos de controle e planejamento da produção, controle de qualidade, controle energético, avaliação de consumos de matéria-prima, estoques, etc. Estes programas, executado em um computador de maior porte denominado computador geral da fábrica, são possíveis pela existência dos níveis mais baixos que fazem a aquisição de dados do processo em tempo-real e dão ao operador um conjunto de funções de controle de maneira a permiti-lo atuar adequadamente no processo.

2.2 Integração com outros computadores da empresa

O conceito de sistema integrado pode ser aplicado mais uma vez na integração do computador geral de fábrica com outros computadores da empresa.

São, especialmente, importantes as conexões do computador de fábrica com os sistemas das áreas de Manutenção e Florestal.

Através da ligação entre os sistemas manutenção e computador de fábrica será possível inserir as atividades de planejamento e execução de manutenção com maior intensidade no contexto produção de maneira a compatibilizar e sincronizar objetivos.

A interconexão ao sistema florestal permitirá fechar o circuito de controle de matéria-prima fornecendo informações de qualidade, quantidade e rendimentos. Estes dados são importantes não só para as atividades de pesquisa, pois permitirão associar características da polpa com características da madeira.

Estes conceitos e idéias apresentados é que justificam o interesse em dispormos de uma visão geral de como evoluíram os sistemas de informática, porque o conceito de abordagem integral é importante para o sucesso de implantações deste tipo sejam elas globais, abrangendo toda a fábrica, ou parciais, abrangendo uma ou outra planta. Desta maneira é possível preservar os investimentos da empresa em automação compatibilizando com o rápido desenvolvimento dos recursos de informática disponíveis.

2.3 A evolução dos recursos de Informática Industrial aplicados na indústria de Celulose

As primeiras aplicações de computadores de controle de processos na indústria de papel e celulose datam do início da década de 60, primeiramente, no

controle de máquinas de papel (1961) e também em digestores contínuos (1962) nos EUA.

Estes projetos implementados em computadores da época não voltados a aplicações industriais, tinham basicamente a função de aquisição de dados sendo a parte de controle bastante restrita.

A rápida evolução da tecnologia de informática permitiu o surgimento, em fim da década de 60, dos primeiros computadores dedicados para controle de processos supervisor.

Embora limitados a agir em poucas malhas e tendo a comunicação com o operador bastante deficiente estes primeiros sistemas foram importantes na medida em que permitiram desenvolver, aplicar e confirmar através de resultados as idéias e conceitos iniciais de controle de processos por computador.

As estratégias de controle eram baseadas em instrumentos de medição em linha para variáveis específicas dos processos de papel e celulose.

Estes sistemas também foram o embrião das principais empresas que hoje atuam no mercado como fornecedores de sistemas “turn-key” de controle de processos supervisor para a industria de celulose e papel.

O próximo marco nos equipamentos de controle de processos foi o surgimento da primeira geração de sistemas de instrumentação digital (SDCD). Embora representassem uma evolução bastante grande estes primeiros sistemas tinham todos os seus recursos de processamento voltados a função de instrumentação não dispensando desta maneira a existência de um computador

de controle de processos e em muitos casos controladores lógicos programáveis (CLP) para o acionamento e controle de motores elétricos.

Nesta oportunidade já era possível alguma sofisticação nos sistemas em função das facilidades de aquisição de dados e hierarquização de controle.

Também a utilização de microprocessadores nos sensores em linha permitiu a obtenção de medidas mais sofisticadas sem o uso do computador.

As principais deficiências dos sistemas implementados nesta fase são:

- Diferentes interfaces do operador com os equipamentos de controle de processo (SDCD, computador, controladores programáveis) exigindo treinamento diferenciado e em alguns casos predicando a operação.
- Desenvolvimento de software de comunicação entre os diversos equipamentos do sistema implicava em custos altos e mão-de-obra especializada.
- Alterações de software implicavam as vezes em modificações na programação de cada um dos equipamentos (computador, SDCD, CLP) a fim de compatibiliza-los a nova situação.

Estas deficiências buscavam ser vencidas na próxima e atual geração de sistemas de controle de processo. Os sistemas digitais evoluíram no sentido de abrigar tanto a função dos computadores supervisores como dos CLP. Vários fabricantes de sistemas digitais empreenderam associações com empresas de

software de controle de processos para incorporarem a tecnologia de aplicações específicas em seus produtos. Em muitos casos a integração mais importante a ser feita é a do console de operação que permite uma interface homem-máquina única facilitando a operação do processo. Nestes casos a existência de um computador de otimização é mantida transparente ao pessoal de operação que em cada área só se relaciona com um nível de equipamento de controle de processos.

Estes sistemas de terceira-geração também suportam facilidades de trocas de informações entre sistemas de plantas diferentes de maneira que o operador de uma área em determinadas condições tenha acesso a telas de outras áreas.

Em paralelo ao desenvolvimento dos sistemas de otimização e controle de processos o conceito de computador geral de fábrica também foi sendo aprimorado e se constitui elemento essencial em uma arquitetura moderna de informática industrial para fabricas de celulose. Este conceito será analisado em maior profundidade no item a seguir.

Como conclusão deste breve histórico dos recursos para implantação de sistemas de automação e controle temos que estes assumem o mesmo ritmo violento da evolução dos produtos de informática. Desta maneira é importante que um usuário ao tomar uma decisão considere as características puramente técnicas dos equipamentos a serem adquiridos mas também a sua capacidade de se inserir numa arquitetura de automação industrial abrigando os resultados do desenvolvimento de aplicação e preservando os conceitos e programas utilizados

de maneira a reaproveitá-los no futuro. Em controle de processos equipamentos modernos e poderosos não significam garantia de resultados eficientes que é devida ao conhecimento da aplicação que permite definir a solução correta que pode incluir ou não produtos e equipamentos mais sofisticados.

Também a implantação do software aplicativo nos sistemas de instrumentação digital encontra dificuldades pois estes quando existem estão escritos em linguagem de alto nível de um computador genérico e devem sofrer transformações profundas para se adaptarem a um hardware e software básicos específico como os do SDCCD. Quando não existem os custos de desenvolvimento são bastante altos e o retorno do investimento é bastante incerto.

Por esta razão acreditamos que os computadores de controle supervisor têm seu espaço preservado, mas integrados no mesmo interface homem/máquina dos sistemas de instrumentação digital.

2.4 Computador Geral da Fábrica

2.4.1 Apresentação do conceito

O conceito de Computador Geral de Fábrica (MILL WIDE COMPUTER) se consolidou a partir do início desta década como consequência da necessidade de integrar os sistemas de controle industrial instalados nas fábricas (instrumentação – digital e computador supervisor) de maneira a estender a todos os setores da fábrica as facilidades de aquisição e apresentação de informações disponíveis em cada uma das áreas.

Em muitos casos esta integração foi levada a efeito por um computador encarregado de centralizar a aquisição de informação e atender os diversos terminais de consulta gerando gráficos, sinóticos e relatórios com dados de todas as áreas da fábrica.

Entretanto, esta idéia inicial de sistema de informação industrial, rapidamente, evoluiu no sentido de utilizar com maior eficiência o banco de dados disponíveis neste computador central.

Atualmente o objetivo de um Computador Geral de Fábrica (CGF) é, não só gerenciar o sistema de informações, mas também abrigar um conjunto de programas aplicativos que objetivam coordenar a operação do complexo fabril no sentido de alcançar o melhor compromisso entre os aspectos planejamento da produção, níveis de estoques, capacidades de produção disponíveis e custos de produção.

Esta função de coordenação e acompanhamento da produção definiu um novo nível dentro da hierarquia de informática industrial das fábricas de celulose. Pelas características próprias desta aplicação este sistema computador possui capacidades e componentes diversos daquelas dos computadores de controle de processos. A desconsideração desse aspecto fez com que varias fábricas reespecificassem seus computadores centrais a fim de obter todos os benefícios que este conceito acarreta.

2.4.2 Estrutura Geral para um Sistema C.G.F.

A estrutura básica de um sistema Computador Geral de Fábrica é composta dos seguintes conjuntos de funções:

2.4.2.1. Consulta e Atualização da Base de Dados

Esta função tem como atividades principais:

- Aquisição de dados da fábrica em tempo-real.
- Enviar mensagens para os computadores de processo.
- Receber dados através de terminais e outros computadores corporativos.

Estas atividades devem ser executadas visando:

- A integridade da base de dados, avaliando a consistência das diversas informações recebidas antes de incluí-las no Banco de Dados.
- A segurança do sistema, verificando se é permitida uma determinada consulta ao Banco de Dados.

2.4.2.2 Gerenciamento da Base de Dados

É responsável pela qualidade de armazenamento de toda a informação utilizada dentro dos conceitos técnicos de integridade, segurança e eficiência de armazenamento e recuperação da informação que a aplicação exige.

Existe um conjunto de dados essenciais dentro do sistema que merecem um tratamento discriminado e que formam o que se denomina de base de dados principal.

2.4.2.3 Programas Aplicativos

Utiliza as informações da base de dados e as outras funções de suporte a fim de, efetivamente, executar as funções planejadas para o Computador Geral de Fábrica.

2.4.2.4 Interface com o Usuário

Os usuários finais devem dispor de uma interface simples e padronizada a fim de permitir o uso efetivo das facilidades existentes no sistema.

O conceito básico a ser utilizado é o de “tela”. Cada usuário tem a seu dispor um conjunto de “telas” formatado e organizado de acordo com suas necessidades através do qual se comunica com o sistema.

Estas “telas” personalizadas complementarão um conjunto maior e permanente que satisfaz a maior parte das necessidades dos usuários.

2.4.3 Justificativas para a Instalação de um CGF

Como fontes de benefícios de um Computador geral de Fábrica podemos identificar varias paralelas que contribuem na sua justificativa econômica. Estes itens estão relacionados, principalmente, com os seguintes aspectos:

- Aumento na taxa de produção global pelo uso mais eficiente da capacidade instalada.
- Redução nos valores de consumos específicos por uma melhor monitoração e balanço entre as áreas.

- Um sistema eficiente de informação sobre a fábrica abrangendo não só as condições instantâneas de operação, mas também dados históricos que permitem um planejamento da produção e posterior acompanhamento deste plano.
- Aumento da eficiência energética pelo controle em tempo-real da geração, consumo, distribuição de energia e do balanço energético da fábrica.

A quantificação do potencial de contribuição de cada um destes itens e quanto deste potencial podemos atingir é uma tarefa que deve ser efetuada tendo em mente as condições particulares de operação e equipamento de cada fábrica.

A seguir registramos algumas idéias gerais que podem orientar um estudo mais aprofundado e detalhado da questão justificativa do Computador Geral de Fábrica.

a) Aumento da Taxa de Produção Total

Cada planta possui em determinado momento uma capacidade teórica máxima que é função dos níveis de armazenamento intermediário e do estado operacional das áreas relacionadas.

Devido a dinâmica e variedade das condições operacionais existentes, minimizar a diferença entre a taxa de produção real e a taxa máxima teórica, é um objetivo complexo de ser alcançado especialmente durante mudanças, paradas e partidas totais ou parciais da fábrica.

Através de um estudo estatístico dos históricos de paradas pode-se obter uma função disponibilidade para cada planta. Estas funções juntamente com as informações de capacidade real de cada planta, objetivos de produção permitem definir uma estratégia de controle para os níveis dos tanques intermediários e taxas de produção de maneira a evitar perdas de produção.

b) Redução nos Consumos Específicos

Durante a operação em regime permanente as taxas de consumo específico apresentam uma estabilidade que permitem sua avaliação e controle através das variáveis de operação.

Entretanto, quando existem mudanças de produção, cozimento ou algum tipo de perturbação operacional, as relações de consumos específicos são prejudicadas em função da necessidade de restabelecer ou atingir novos objetivos de produção.

Através de uma função de coordenação operacional pode-se minimizar os efeitos destas mudanças através de uma estratégia global que considere a cadeia de relações entre as várias plantas.

Outra maneira que o sistema Computador de Fábrica pode contribuir para a redução das taxas de consumos específicos é através de balanços e análises, detectando em tempo-real valores muito fora das faixas médias ou pontos onde haja uma perda de eficiência significativa no processo.

c) Aumento da Eficiência Energética

O aspecto energia possui um dos maiores potenciais de retorno econômico dentre os vários itens mencionados.

Através da monitoração da geração, distribuição e consumo de energia podemos:

- Detectar consumo fora de faixas médias anormais.
- Detectar variações de carga no sistema, e aplicar a estratégia adequada para trazer o sistema para próximo de um novo ponto de máxima eficiência para a relação energia térmica / energia elétrica.
- Efetuar em tempo-real um balanço energético da fábrica de maneira a analisar qualidade de combustíveis, eficiência de geração e taxas de consumo.

d) Simulação de Condições Operacionais

Em muitos casos um parâmetro operacional qualquer necessita ter avaliado seus reflexos ao longo de todo o processo de produção.

Utilizando o banco de dados operacionais e módulos de simulação do comportamento de cada uma das áreas é possível testarmos uma serie de alternativas e compará-las com os dados reais. Os resultados fornecem subsídios que ajudam a escolher o objetivo de parâmetro operacional correto para determinada situação.

Através do programa de simulação operacional de vários níveis de fábrica podemos validar com maior certeza objetivos de parâmetros operacionais que muitas vezes foram estabelecidos empiricamente.

e) Planejamento e Acompanhamento da Produção

Na elaboração de um plano de produção os novos objetivos de produção e, conseqüentemente, as quantidades de matérias-primas, insumos e energia necessários são determinados principalmente a partir de dados históricos.

Automatizar esta atividade implica na seguintes vantagens para a fase de planejamento:

- Flexibilidade: podem ser testadas rapidamente varias alternativas e suas conseqüências.
- Profundidade nas análises: nas situações em que as médias mascaram as informações pode-se facilmente trabalhar com dados e condições reais. É possível, também analisar os dados de várias maneiras evitando interpretações equivocadas. As restrições que impedem objetivos maiores podem ser identificadas através de correlações entre os dados.

Pode-se elaborar um plano de produção que contenha cláusulas condicionais, que representam alternativas previsíveis para o plano. Embora representem uma maior complexidade e dificuldade de planejamento, este tipo de abordagem permite que se atinja objetivos mais ambiciosos.

Em termos de acompanhamento do plano de produção podemos mencionar entre outros, os seguintes aspectos:

- Avaliar quanto foi cumprido, as folgas existentes, registrando as informações referentes a quantidade e qualidade de produção.

- Emitir relatórios informativos, de desempenho ou de metas para as diversas áreas envolvidas com a produção.
- Através de novas condições refazer o plano de produção a prazos curtos, de maneira a cumprir o plano global, ou refazê-lo totalmente.

Estes itens citados acima constituem exemplos típicos que permitem avaliar a importância do conceito de computador geral de fábrica. Na medida em que a experiência com este tipo de sistema se consolidar, certamente, novas idéias surgirão.

2.4.4 Considerações Finais sobre o CGF

Finalmente cabe ressaltar que pela sua natureza singular um sistema CGF tem como componente importante do ser sucesso a participação efetiva dos diversos usuários na especificação das características finais do sistema.

Esta participação implica não só em analisar as soluções propostas para os diversos problemas, mas também em reavaliar procedimentos, conceitos e idéias de maneira a poder utilizá-los dentro da nova dinâmica representada por um computador deste porte.

A implicação dos diversos programas aplicativos deve ser efetivada num ritmo tal que permita aos seus usuários absorver e validar os conceitos utilizados. Os usuários, por sua vez, devem buscar o máximo envolvimento de maneira a minimizar este tempo de implantação e avaliação de cada programa.

Esta simbiose usuário-sistema é de vital importância para o sucesso do projeto de informatização industrial previsto em determinada empresa.

2.5 Instalações, Fornecedores e Mercado

Em 1980 durante do congresso da IFAC 80 sobre automação nas indústrias de papel e celulose foram feitas as seguintes avaliações sobre o impacto dos computadores de controle de processos em máquinas de papel (CAUWENBERG, 1980).

- Existem 1600 sistemas instalados em máquinas de papel.
- Em função de sua atuação houve uma economia de 4 milhões de toneladas de fibra, o que significam 55 milhões de árvores.
- A economia de energia equivalente a 13 milhões de barris, importantíssima, numa industria onde este item pode representar até 20% do custo final de produção.
- No referente a produtos químicos, a economia atinge 125 milhões de dólares.
- Considerando que os custos das instalações dos computadores de controle de processos alcançaram 800 milhões de dólares, então o retorno dos investimentos se fez em menos de um ano.

Embora, não demonstrados e abrangendo somente a produção de papel estes números são importantes para avaliarmos o impacto econômico desta tecnologia no setor.

Atualmente, existem instalados aproximadamente 4000 sistemas de automação e controle de processos, se considerados as informações dos

principais fornecedores sem considerar sistemas com desenvolvimento das próprias fábricas usuárias (FADUM, 1985).

Este valor bastante representativo pode ser dividido em aproximadamente 70% correspondendo a instalação em fábricas de papel e o restante em aplicações na produção de celulose e sistemas de geração de energia.

A distribuição destes sistemas, nos principais países produtores, pode ser avaliada pelo gráfico 2.1 (URONEM, P et alli 1985) mostrando o panorama bastante favorável dos países escandinavos e Finlândia.

A tendência de instalação de sistemas de controle de processos nas fábricas de celulose em termos mundiais pode ser observada no gráfico 2.2 para os últimos 15 anos.

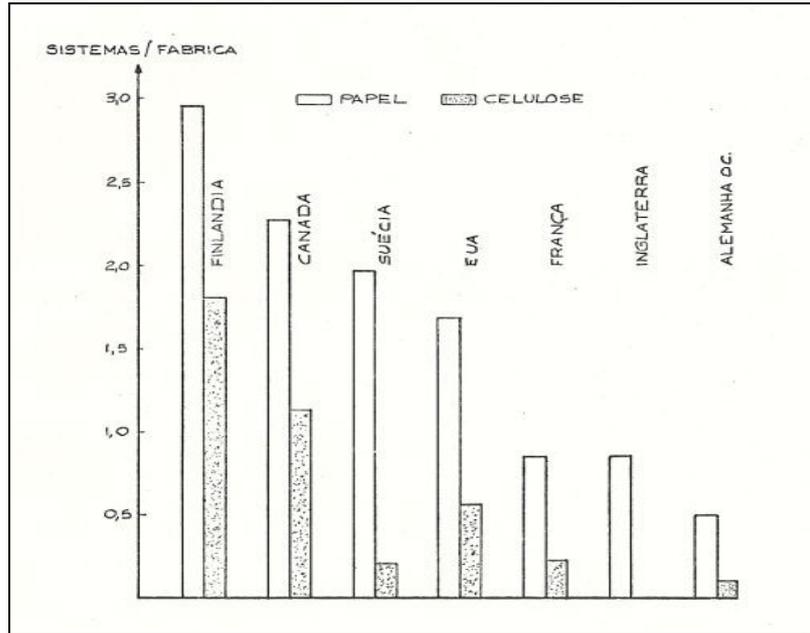


FIGURA 2.1- Distribuição mundial da automação nas fábricas de papel e celulose

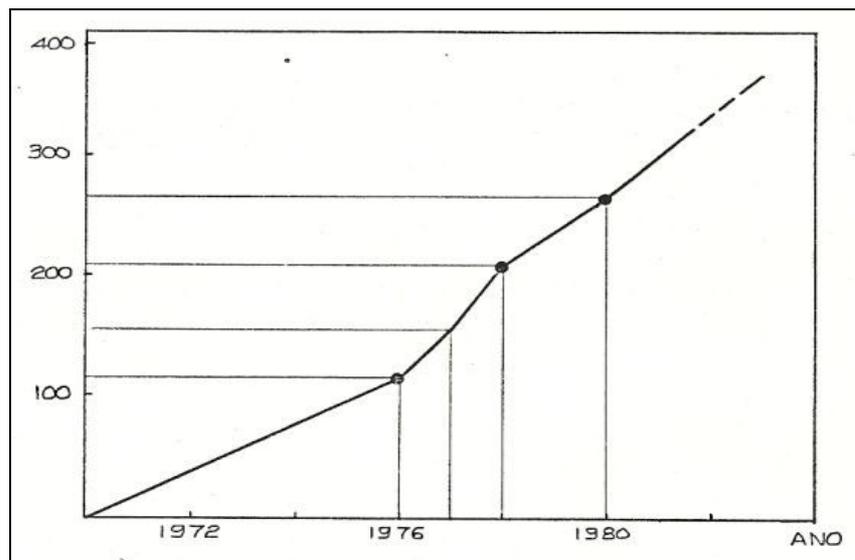


FIGURA 2.2 – Tendência mundial de instalação de sistemas

2.6 Resultados e Benefícios da Instalação de Sistemas de Automação na Indústria de Celulose e Papel

Os resultados que justificam o interesse das fábricas em instalar sistemas de controle automatizados se compõe de aspectos que podem ser

medidos, e outros, que são imensuráveis. Aqueles que podem ser avaliados normalmente são usados para calcular a taxa de retorno do investimento e também servir de base do contrato legal entre fornecedor e cliente. Os principais benefícios deste tipo estão presentes na tabela 2.1 assim como seus valores típicos. Na tabela 2.2 dispomos de alguns valores em termos de retornos econômicos do investimento de sistemas instalados na década de 70 (URONEM, P et alli 1985).

DIGESTOR	Instalações analisadas	Média	Min	Max
Aumento da capacidade	10	9.6 %	2 %	20 %
Economia de vapor	17	13.6 %	3 %	36 %
Economia de alkali	9	10.1 %	3.2 %	22 %
Decréscimo no Desvio do Num-Kappa	15	38.1 %	5 %	80 %
BRANQUEAMENTO ECONOMIA DE QUÍMICOS	Instalações analisadas	Média	Min	Max
O2	12	5.9 %	-	-
NaOH	13	18.9 %	-	-
CLO2	11	15.2 %	-	-
NaCLO3	8	22.3 %	-	-

CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO	Instalações analisadas	Média	Min	Max
Aumento da capacidade	7	5.7 %	2.6 %	10 %
Decréscimo no vapor de Sopragem	11	29.7 %	7 %	46 %
Decréscimo no Excesso O2	10	0.6 %	3 %	1 %
Aumento da redução	11	2.8 %	1 %	7 %
Decréscimo na temperatura dos gases	6	15.2 %	5 %	35 %
FORNO DE CAL E CAUSTIFICAÇÃO	Instalações analisadas	Média	Min	Max
Aumento da capacidade	4	8.7 %	5 %	16.5 %
Decréscimo no transbordo da lama	4	12.0 %	5 %	22 %
Aumento na eficiência de caustificação	4	0.3 %	-	-
Aumento dos sólidos secos da lama	2	1.7 %	1.5 %	1.8 %
Decréscimo no consumo de óleo	4	10.0 %	8 %	11.8 %

Tabela 2.1 – Benefícios resultantes da automação de fábricas de celulose

Área	ROI depois dos impostos 1973 - 1974	ROI depois dos impostos 1973 - 1974
Páteo	38	40
Dig. Batelada	42	155
Dig. Contínuo	42	61
Cald. Recuperação	15	55
Cald. de Força	32	-
Gerência de Energia	80	81
Maq. De papel	49	45
Branqueamento	32	80

Tabela 2.2 – Benefícios econômicos na automação de fábricas de celulose

Para as fábricas de papel não dispomos de dados exatos o suficiente para permitir um gráfico semelhante, mas o computador de controle de processos é hoje um equipamento padrão para novas instalações, mesmo porque os sensores de umidade e gramatura essenciais para o controle eficiente da máquina representam em termo de 60% do custo de um sistema completo. Também, são representativos nas fábricas papel dos sistemas automáticos de análise e testes do produto final e manipulação de rolos.

A participação dos principais fornecedores específicos para a industria de celulose e papel no mercado mundial (Tabela 2.3) deverá se alterar pela participação mais efetiva das grandes empresas fornecedoras de sistemas digitais de instrumentação genéricos (Tabela 2.4) que agregaram a seus equipamentos software aplicativo específico para os processos de celulose e papel. O

desenvolvimento deste software se concretizou através de acordos com os fornecedores tradicionais, *joint-ventures* e desenvolvimentos próprios.

Empresa	Número de sistemas	Percentual (%)	Área de atuação		
			Papel	Polpa	Recup.
Measurex	1800	48	X X X	X	X
Accuray	1300	34	X X X	X X	
Sentrol	300	8	X X X	X	
Afora	240	7	X	X X X	X X X
Altim/Robin	80	2	X X	X	
Modo Chem	50	1		X X X	

Tabela 2.3 Principais fornecedores e participação no mercado de sistemas de controle(1983).

EMPRESA	OBSERVAÇÕES
Honeywell	Acordo com Accuray
Foxboro	
Fisher	
Bayle	Aplicações na área de energia
Taylor	Joint-venture, Afora/Nokia –Taylor - CE
Toshiba	Acordo Afora (extremo oriente)
Asea	Acordo Gottaverken, STFI
Yokogawa	
Valmet	Sistema Damatic

Tabela 2.4 Fornecedores de instrumentação digital com software para os processos de celulose e papel.

As principais funções e benefícios esperados da automação em fábricas de celulose são apresentados a seguir:

DIGESTOR

Funções de controle

- Controle da carga alcalina
- Controle de fator H
- Estratégia de mudança de produção
- Estratégia de mudança de cozimento

Benefícios principais

- Aumento do rendimento
- Redução no consumo de vapor
- Redução das variações de número Kappa
- Redução no consumo de licor-branco

BRANQUEAMENTO

Funções de controle

- Controle da adição de químicos
- Controle de consistência
- Controle de alvura

Benefícios esperados

- Redução de químicos
- Redução das variações na alvura

LAVAGEM E DEPURAÇÃO (polpa marrom)

Funções de controle

Controle da eficiência de lavagem

Controle do fator de diluição

Benefícios esperados

- Menor perda de soda-cáustica do ciclo de recuperação, com conseqüente redução do consumo de cloro na planta de branqueamento.

- Maior percentagem de sólidos no licor preto para a evaporação reduzindo seu consumo de vapor.

EVAPORAÇÃO

Funções de controle

- Controle de produção de licor preto forte
- Controle de percentagem de sólidos no licor preto forte
- Avaliação e monitoramento dos balanços de massa e energia nos vários efeitos dos evaporadores
- Avaliação e monitoramento dos fatores de incrustação e dos coeficientes de transferência de calor nos vários efeitos
- Programação otimizada de paradas da planta para lavagem
- Coordenação entre a linha dos evaporadores, planta de lavagem e caldeira de recuperação

Benefícios esperados

- Incremento na capacidade de evaporação
- Redução do consumo de energia
- Redução de poluição devido a menor perda de sólidos
- Redução de números de paradas para lavagem da planta

CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO

Funções de controle

- Controle dos sopradores de fuligem e avaliação dos critérios de sopragem
- Controle do ar de combustão
- Controle do fluxo de licor preto para queima

Benefícios resultantes

- Redução do consumo de vapor para sopragem
- Aumento da eficiência térmica da caldeira
- Aumento do grau de redução com conseqüente incremento da capacidade de recuperar produtos químicos

- Redução das emissões gasosas com menor poluição devido ao controle eficiente da queima de licor negro.

CAUSTIFICAÇÃO E FORNO DE CAL

Funções de controle

- Controle de produção e qualidade de licor verde
- Controle da eficiência de caustificação
- Controle da lavagem de lama
- Otimização do perfil de temperaturas do forno
- Controle de emissões
- Controle do residual de carbonato

Benefícios resultantes

- Redução das perdas de produtos químicos
- Redução do consumo de energia (óleo)

Aumento da capacidade das plantas

Estabilidade do licor branco produzido

CALDEIRA DE FORÇA

Funções de controle

- Controle do sistema de alimentação de carvão
- Controle do fluxo de ar de combustão
- Controle da eficiência térmica de Caldeira em função do poder calorífico da combustível, do excesso de ar e do ponto de operação da caldeira.

Benefícios esperados

- Maior eficiência da Caldeira, permitindo menor consumo de combustível
- Redução da energia elétrica externa

TURBO GERADORES

Funções de controle

- Controle do ponto de operação das turbinas em função dos consumos de vapor e energia elétrica e dos fluxos de extração.

Benefícios esperados

- Aumento da eficiência de cogeração de energia

MÁQUINA DE SECAR

Funções de controle

- Controle do perfil de umidade da folha de celulose
- Controle de abertura das válvulas de vapor dos diversos grupos secadores e fluxo de massa, velocidade em função da produção.
- Controle de gramatura

Benefícios esperados

- Redução do consumo de vapor
- Menor desvio padrão dos valores de umidades dos fardos de celulose.

Além destes benefícios que são quantificáveis e permitem sua avaliação em termos monetários existem uma série de benefícios intangíveis os quais podem ser traduzidos como um melhor conhecimento do processo produtivo da empresa em função da necessidade de formalizar os conceitos básicos de operação do processo a fim de especificar seu sistema de controle.

3 UMA ARQUITETURA DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL PARA FÁBRICAS DE CELULOSE

Um sistema de automação deve refletir em sua arquitetura os aspectos estruturais e funcionais da fábrica a que se destina.

Na tabela 3.1 está representada um proposta para a organização de um sistema onde a automação é considerada nos diversos níveis para um afábrica integrada de celulose e papel. Aplicado a um caso real é necessário uma avaliação a fim de determinar quais os componentes do diagrama representam uma fonte significativa de benefícios e através desta ponderação particularizar esta estrutura a fim de adapta-la a realidade técnico-econômica da empresa em questão. Este é um ponto importante: não existe uma arquitetura de sistema de automação industrial que represente a solução ideal em todos os casos. Em cada fábrica temos uma topologia e aspectos de operação particulares sobre os quais devem se concentrar os maiores esforços pois representam os maiores fontes de benefícios.

NÍVEL C	NÍVEL B	NÍVEL A
Planejamento e controle de produção	Coordenação - produção de celulose	Páteo de madeira
		Linha de fibra
		Área de recuperação
	Coordenação – produção de papel	Máquina de papel
		Testes e análises
		Estocagem e manipulação de rolos
Linha polpa de alto rendimento		
Gerência global de energia e utilidades	-	Geração de energia elétrica
		Geração de energia térmica
		Distribuição de energia elétrica
		Distribuição de energia térmica
Sistema de controle de qualidade	-	-
Sistema de controle ambiental	-	-

TABELA 3.1 Estrutura lógica para um sistema integrado de Informática Industrial para fábrica de celulose

Uma arquitetura de equipamentos em condições de suportar esta estrutura lógica é apresentada na figura 3.1.

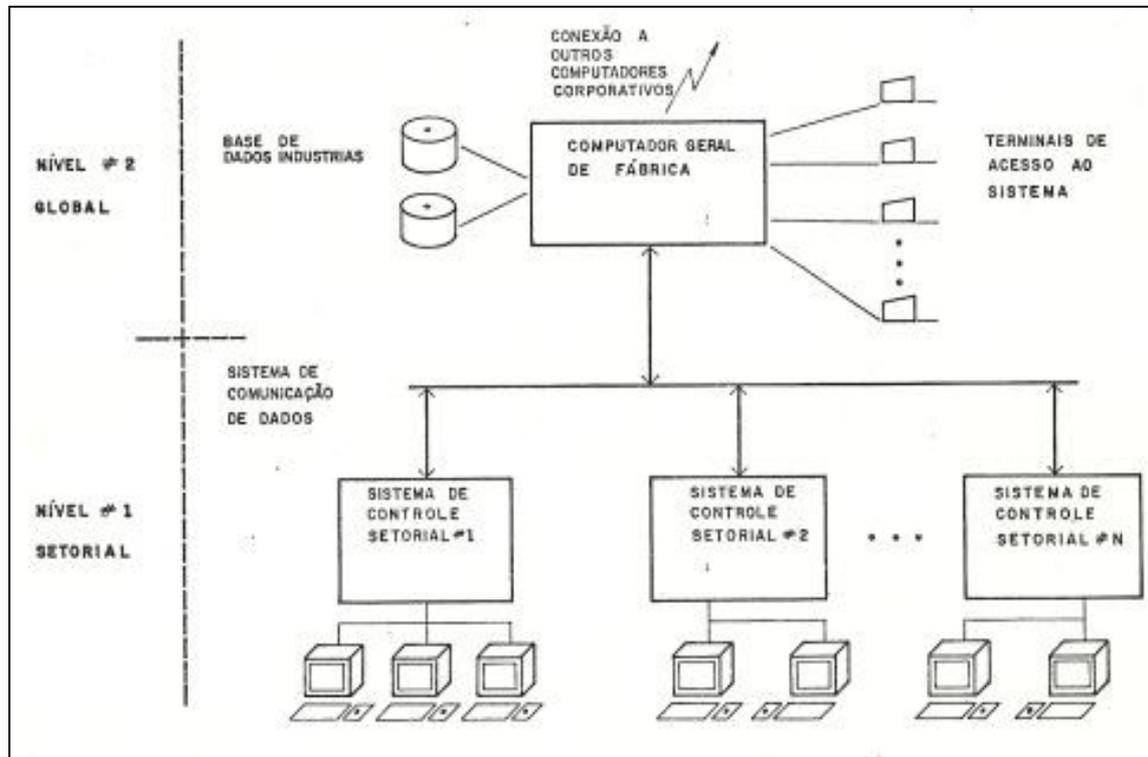


Figura 3.1 arquitetura de um sistema integrado

Os componentes principais deste sistema são:

- Sistema de controle setorial
- Sistema de controle global
- Sistema de comunicação de dados

O Sistema de controle setorial abrange os equipamentos voltados as atividades de controle e otimização de cada planta individual. Estes sistemas abrigam as funções de: comunicação homem-máquina, controle de malhas fechadas e abertas, acionamento de motores elétricos e estratégias de otimização

de “set-points” da planta. Tem a responsabilidade de suportar os diversos sistemas qualificados no nível A da estrutura lógica.

O Sistema de controle global é implementado através de equipamentos com características bastante diferentes do anterior.

Sua abrangência corresponde ao nível B e C da estrutura lógica. Desta maneira as suas funções estão mais próximas daquelas de um sistema computador convencional os quais sejam:

- Gerência do armazenamento das informações da fábrica recolhidas dos sistemas setoriais através de sistema de comunicação de dados.
- Gerência dos diversos programas aplicativos que desempenham as funções do nível B e C.
- Gerência das atividades de consulta a base de dados industriais.

O Sistema de comunicação de dados é de vital importância para arquitetura proposta pois tem a função de integrar os diversos sistemas componentes. É através da comunicação de dados que surge a possibilidade de troca de informação entre as áreas da fábrica, permitindo quebrar o isolamento ao qual está submetido o operador de uma planta em um sistema de controle convencional. As informações que um operador pode receber através da rede originadas de sistemas setoriais ou de sistemas globais. Em ambos os casos pela alta capacidade de processamento dos elementos do sistema a informação já circula na rede processada. As informações originadas dos sistemas setoriais sofrem um pré-processamento que pode agrupar em um único dados diversas

variáveis da planta origem, necessárias para definir uma situação operacional. As informações originadas dos sistemas do nível B e C são resultado da aplicação dos dados a modelos da fábrica que devem retornar as áreas orientando sua operação.

Através do sistema de comunicação de dados é possível tornar a organização lógica do sistema independente de sua organização física, o que permite alterações e ampliações agregando novos recursos e os estruturando logicamente conforme as necessidades.

Ao se iniciar um projeto de automação esta não pode ser encarada como uma atividade isolada, mas sim como uma parcela importante do esforço conjunto de diversos departamentos da empresa em melhorar o desempenho global de sua área industrial.

Os equívocos mais comuns das empresas iniciadas em automação correspondem a dois extremos. O primeiro é tratar a implantação de um sistema de automação de uma área importante da fábrica como a instalação de apenas mais um equipamento, não preparando um grupo em condições de acompanhar e manter o sistema em todos os seus aspectos. O segundo erro é apresentar a automação como a resposta a todos os males esperando que uma fábrica com problemas operacionais e de projeto ao ser automatizada encontrasse o caminho da eficiência.

A eficiência deve ser encarada como um fato irreversível na indústria de celulose e papel e a qual exige uma análise e uma posição da empresa.

Esta análise e posterior implantação de sistemas deve ser guiada por um grupo restrito, coeso e eficiente que em conjunto preencham as seguintes características:

- conhecimento profundo da fábrica
- acesso aos diversos departamentos da empresa
- posicionado na hierarquia de maneira a remover resistências.
- conhecimento profundo dos recursos de informática industrial
- elevado senso crítico.

A linha de trabalho desta equipe deve abranger as seguintes atividades:

- estudo geral das varias áreas da fábrica a fim de detectar focos de automação
- avaliar a solução nos seus mais diferentes aspectos (equipamentos, engenharia, automação, implantação) e quantificar seu custo
- compatibilizar o plano de automação com a realidade econômico-financeiro da empresa
- definir um ritmo de implantações de maneira a sincronizá-las com a capacidade de absorção das equipes de operação das diversas áreas.

Simultaneamente a estas atividades que permitiriam definir a estratégia da empresa em relação a automação avaliar também:

- fornecedores de sistemas, equipamentos e serviços

- exemplos existentes de fábricas automatizadas e se possível fazer visitas técnicas
- recursos humanos necessários, como obtê-los e formá-los
- instituições de pesquisa e desenvolvimento ligadas a área
- consultores com experiência específica na área
- congressos e simpósios importantes
- pesquisa bibliográfica

Ao finalizar estas atividades estaremos em condições de receber quais as tendências válidas de automação no momento de nosso projeto conduzindo-nos a trabalhar com conceitos e equipamentos atualizados e adequados.

Com o conhecimento desta tendência podemos orientar as implantações segundo um critério válido por um período de tempo mais amplo. Este critério de implantações a longo prazo resguarda a empresa dos seguintes fatos:

- decepção, quando o projeto terminar e já existirem outros sistemas bem mais avançados
- adquirir sempre o mais moderno, tendo no fim do projeto uma heterogeneidade do sistema global que impede sua integração e até expansões
- satisfazer o anseio dos departamentos usuários permitindo-lhes se preparem para o uso da automação

Em linhas gerais um projeto de automação pode ser conduzido como qualquer outro mas é importante considerar duas diferenças básicas:

- Primeiro – a falta de um corpo de conhecimento teórico estabelecimento par automação na indústria de celulose associado a evolução violenta dos recursos de informática usados na implantação dos sistemas.
- Segundo – o fator humano que é a outra face do sistema automação industrial. O ser humano não tem seus padrões de raciocínio, conhecimento e comportamento perfeitamente modelado impedindo que na maioria dos casos considere esta variável tão importante na concepção de sistemas de controle de processos industriais.

Por todos estes aspectos apresentados percebe-se que conduzir um projeto de automação industrial com pleno sucesso e obtenção total dos resultados exige um comprometimento de todos os funcionários da empresa.

A responsabilidade principal do grupo de projeto é fazer com que as primeiras implantações tenham sucesso e tragam benefícios reais aos departamentos usuários de maneira que este sinta ser o sistema de informática industrial um amplificador de suas habilidades e não um corpo estranho perturbando seu dia a dia.

4 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS PARA UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTOS DE SISTEMAS

4.1 Conceitos básicos

Ao elaborarmos uma metodologia de desenvolvimento de sistemas devemos considerar que o aspecto mais importante é estrutura-la e apresentá-la de maneira a não inibir sua aceitação pelos membros da equipe de projeto que constituem seu público alvo.

Para alcançar este objetivo de satisfazer o publico alvo a metodologia sugerida deve transformar o processo de desenvolvimento de um sistema, que se caracteriza por ser um conjunto de atividades de difícil execução, carregada de conflitos e ansiedades, em um conjunto de atividades bem definidas liberando na medida do possível o projetista deste ambiente de improdutividade e permitindo que ele utilize todo do seu conhecimento técnico e criatividade a fim de obter as soluções que irão compor o melhor sistema em um prazo menor possível.

Obviamente esta aceitação não é um processo tranqüilo pois a tendência nas atividades com alta criatividade é que as abordagens sejam altamente subjetivas e intuitivas para cada etapa de projeto.

Para lidar com a realidade e construir uma solução com os recursos a seu dispor cada projetista elabora um modelo subjetivo dos diversos elementos componentes do problema.

Ao padronizarmos estes elementos e as informações associadas a estes e como devemos encadear as atividades a fim de obtermos um sistema solução criamos uma metodologia.

Quanto maior for o formalismo para a definição e descrição da metodologia menor será a possibilidade de uma interpretação subjetiva de algum de seus aspectos, assim como menor será a facilidade de ser aceita pelos projetistas que a devem utilizar.

Desta maneira qualquer metodologia deve ser um compromisso entre o grau de formalismo adotado e os aspectos que viabilizam sua utilização.

Certamente o objetivo final de se tentar desenvolver metodologias de projetos eficientes é alcançar uma melhor relação entre os aspectos:

- qualidade – o sistema atender todos os seus objetivos
- produtividade – redução do homem hora
- custo total – equipamentos, materiais de consumo, documentação, etc.

Estes aspectos: qualidade – melhor sistema nos seus diversos aspectos; e produtividade – menos homens-hora possível para desenvolver o sistema possuem naturezas conflitantes quando desejados em alta intensidade num projeto complexo com vários projetistas. Indivíduos comuns não conseguem alcançar em seus projetos os dois aspectos.

Outro objetivo difícil de alcançar é mensurar qual o nível de qualidade e produtividade que seriam satisfatórios já que atingido um determinado objetivo este será um novo padrão e haverá uma pressão constante sobre as equipes de projeto para repetir estes níveis ou mesmo superá-los.

Atualmente podemos observar que o desenvolvimento de sistemas se defronta com o seguinte dilema apresentado nos parágrafos abaixo:

- a) a fase de implantação começa cedo demais. Importantes decisões sobre os aspectos funcionais não são perfeitamente estabelecidas assim como seus interfaces e o aspecto “manutenção” não recebe a atenção merecida refletindo na dificuldade de alteração e novas versões para o sistema prejudicando o investimento de desenvolvimento de software.
- b) A fase de definição do projeto é por demais ampla e genérica deixando muitos pontos em aberto ou não perfeitamente documentados.

Quando a etapa de projeto realmente começa os construtores do sistema não utilizam os resultados desta fase inicial pois já não lembram com

exatidão os conceitos que guiaram as decisões e tendem a utilizar novas idéias ou interpretações equivocadas das idéias anteriores. Isto dá a impressão que a fase anterior foi um desperdiço de tempo e tende-se a pensar que todas as decisões devem se revistas. Este quadro pode ser agravado se há mudanças de pessoas na equipe, ou novas alterações tecnológicas são introduzidas neste meio tempo que tornam os conceitos adotados inicialmente inválidos caracterizando assim a inutilidade de toda a fase de definição e o risco de erros de implementação se o projeto for em frente. Para amenizar este dilema devemos orientar a metodologia a princípios básicos que a levem ter características tais que o profissional ai utilizá-la sinta que o desenvolvimento do projeto esta realmente avançado e quais os objetivos de cada uma das etapas para si e dos outros elementos do grupo de projeto.

Os princípios básicos que julgamos essenciais para que uma metodologia de projeto tenha essa característica são apresentados a seguir:

- a) Deve produzir documentos que efetivamente sejam nas diversas etapas do projeto que tenham função bem definida, maior simplicidade possível e que se inter-relacionem de uma maneira compreensível por todos os elementos do grupo de projeto.
- b) Não apresentar conceitos e atividades que pela sua complexidade inibam a criatividade do projetista retardando em demasia a fase de projeto, prejudicando o estímulo inicial e o ritmo de trabalho da equipe.

Estes princípios básicos devem ser utilizados para alcançar os seguintes objetivos em relação a metodologia de projeto:

- Facilidade de aprendizado
- Simplicidade estrutural e funcional
- Comprometida com a realidade tecnológica dos usuários
- Facilidade automatizável nas etapas mais trabalhosas e na manipulação dos documentos
- Independente dos recursos de implementação
- Conciso e completo.

Como resultado de sua aplicação um método de projeto deve trazer:

- Tempos de desenvolvimento e qualidade do produtos linear com o tamanho e complexidade do projeto.
- Facilidade de modificação, alteração e reutilização dos módulos do sistema pela perfeita documentação das funções e sus interfaces.
- Controle da informação sobre a evolução do sistema: como as partes do sistema evoluíram e em que condições forma alteradas.

- Ordenação das atividades em etapas que levam a alcançar os objetivos previstos do projeto do projeto através de uma disciplina de abordagem do problema que permite avançar na solução de uma maneira estruturada e perfeitamente documentada impedindo desvios e má interpretações que conduzem a erros.
- Documentar com exatidão as decisões, princípios e definições do projeto.
- Ser um ponto de concordância entre os diversos projetistas de maneira que estes possam tornar explícitas suas decisões.
- Facilitar a manutenção do sistema e a execução e documentação de alterações pela documentação precisa das relações entre funções.

4.2 A Importante fase de Especificação

Ao se utilizar um sistema computador como solução de um determinado problema a primeira atividade em que se vê envolvido o projetista é investigar e tentar compreender qual é este problema para a seguir definir as características da solução a ser adotada.

Após esta etapa de especificação segue-se uma etapa de implementação que consiste em traduzir a especificação que dispomos em uma especificação que seja interpretável pelos recursos computacionais utilizados.

Entretanto cabe salientar que a divisão do projeto nestas fases distintas na realidade não se faz por fronteiras bem definidas não se podendo determinar quando abandonamos a tomar decisões em função dos recursos de implementação de que dispomos.

Considerando realisticamente a atividade de projeto de um sistema o ponto importante do processo é quando começamos a dirigir a solução na direção de recursos de implementação, os quais irão materializar os esforços de recursos humanos e financeiros para a obtenção de um produto.

Discorreremos a seguir sobre dois aspectos, considerados muito importantes para compreendermos a fase de especificação de um sistema. O primeiro deles é a importância de elaborarmos a especificação através de uma linguagem formal. O segundo aspecto é a utilização da etapa de especificação formal em um método de projeto automatizado.

4.2.1 Justificativas para a especificação formal de sistemas

De uma forma mais geral duas são as etapas principais na fase de desenvolvimento de um projeto: especificação e implementação. A fase de desenvolvimento juntamente com a fase de utilização forma o que se denomina ciclo de vida do projeto.

Especificar consiste em descrever quais as características desejadas e necessárias para o sistema a ser construído. Esta descrição é o meio pelo qual se comunicam aqueles que irão construir o sistema e quem deseja usar o sistema em muitos casos como base de um contrato legal. Quanto maior o projeto mais complexo e detalhado ser a especificação exigida.

A medida que o trabalho de especificação se desenvolve vários fatores influenciam na sua qualidade, entre os quais citamos:

- O entusiasmo inicial decai sendo necessário um maior esforço para buscar uma forma correta de expressar com exatidão os diversos aspectos por documentar.
- A equipe de especificação começa a ter uma maior intimidade com o projeto e certos detalhes começam a parecer óbvios e não são esclarecidos o que irá motivar dúvidas futuras.
- Existe uma compreensão de tempo disponível para a fase de especificação e os últimos aspectos são documentos com menor número de detalhes.

Além disso muitos sistemas possuem aspectos de difícil expressão e só os indivíduos mais experientes, com conhecimento profundo do sistema e com domínio da técnica de comunicação possuem a habilidade de documentá-lo. Outro ponto importante e que muitas vezes não existe uma linguagem comum entre o requisitante do projeto e implementador necessitando-se desta maneira de muito tempo em reuniões e troca de informações até se alcançar o consenso sobre algum aspecto duvidoso do projeto.

A etapa de especificação é importante pois especificações incorretas, inconsistentes e pouco claras são amplificadas ao longo das outras etapas do projeto sendo responsáveis pela maior parte dos atrasos existentes. Sendo assim uma metodologia de especificação adequada tem como consequência a redução de custos e tempo gasto na etapa de desenvolvimento. Quanto maior o tempo

disponível para a elaboração da especificação de um sistema e quanto mais adequada for o método utilizado menor deverá ser o tempo de projeto total. Isto é, acontece principalmente em função dos seguintes fatores:

- A perfeita identificação do problema e dos aspectos que ele abrange.
- Redução das comunicações entre as diversas equipes que fazem parte do projeto.
- Obtenção de uma referencia que serve de apoio a tomadas decisões ao longo do projeto e contra a qual o produto final pode ser comparado.
- Ter de uma maneira integrada as informações necessárias sobre o sistema.
- Redução dos laços de redefinição do sistema evitando os efeitos colaterais que exigem mudanças em partes já concluídas do sistema.

Para que uma metodologia de especificação seja adequada ela deve preencher requisitos técnicos e de utilização.

Os requisitos técnicos principais são:

- Precisão a fim de evitar ambigüidades.
- Consistência a fim de evitar contradição que seja completa

Os requisitos para utilização:

- Fácil compreensão

- Boa estruturação de maneira a facilitar sua elaboração e posterior consulta.
- Concisão.
- Estendível a novos aspectos que porventura surgem.

Além destas características gerais é interessante que a especificação final para um determinado projeto possa:

- Ter seu resultado final diretamente utilizável nas etapas posteriores de projeto, não dando a impressão de que sua elaboração foi um desperdício de tempo.
- Deve permitir que a partir da especificação se obtenha uma previsão das características do produto final, ou através de simulações ou por comparações com projetos anteriores.
- Deve ser orientada ao problema e não vincula aos aspectos técnicos da implementação de maneira que possa ser utilizado em implementações com tecnologias melhores que por ventura surjam.

Uma fase importante da etapa de especificação é a sua validação. Validar consiste em verificar se a conteúdo de uma determinada especificação representa corretamente o que se queria especificar. Devem ser considerados todos os aspectos e possibilidades do problema o que torna a tarefa de validar cansativa, demorada e dispendiosa.

Na maior parte das vezes a especificação é elaborada em uma linguagem denominada linguagem natural (português, espanhol, etc) pelos pesquisadores em computação.

As especificações elaboradas em linguagem natural são mais facilmente lidas e são acessíveis a todos sem necessidade de um treinamento a não ser a alfabetização. Entretanto esta vantagem inicial logo desaparece pois é notório que um texto informal por mais técnico e preciso que seja está sempre sujeito a interpretação subjetivas e ambigüidades, imprecisões e falta de clareza. Desta maneira parece pouco provável que através de uma metodologia de especificação que use linguagem natural atinja os requisitos apresentados nos parágrafos anteriores.

É consenso daqueles que se dedicam ao aspecto de especificação de sistemas que somente uma especificação formal preenche as características mencionadas como desejadas para uma metodologia de especificação. Por apresentar regras de formação bem definidas cada sentença em uma linguagem formal tem um significado único e a responsabilidade pela sua validade e só de quem a formula.

Com a utilização de uma linguagem formal a etapa de especificação pode ser definida como composta por três fases:

- obtenção de um modelo mental
- transformação em um modelo estruturado
- descrição em termos de uma linguagem formal

Essas fases são análogas a seqüência: formular algoritmo, fluxograma e linguagem de programação.

O modelo mental é o resultado da análise de problema ou objeto real. Sem dúvida este consiste do elo mais fraco da cadeia de especificação pois o sucesso do processo global é função da capacidade do projetista em traduzir corretamente o mundo real nas estruturas da linguagem. Mesmo que a especificação esteja sintaticamente e semanticamente correta não significa que é válida.

Os modelos estruturados são uma forma de exteriorizar o modelo mental . os melhores modelos estruturados estão sob a forma gráfica como por exemplo bloco diagramas, diagramas de redes de Petry e normalmente seu mapeamento na linguagem formal é quase direto.

Como exemplo típico de linguagem formais temos as linguagens de programação. Uma linguagem formal é elaborada a partir de um conjunto de funções e um conjunto de argumentos. As regras que indicam todas as operações possíveis e o tipo de argumento utilizável em cada uma são denominadas sintaxe da linguagem. As regras que dizem como as operações usam os argumentos criando novos valores e denominada semântica.

A utilização de uma linguagem de especificação formal entre outras pode trazer as seguintes vantagens:

- Provoca uma estruturação no processo de especificação terminando com o problema de onde começar e quando terminar.
- Descrição de uma forma concisa e de consulta rápida.
- Pode servir como comparação entre dois sistemas
- Cria uma disciplina de abordagem e análise dos problemas que pode ser ensinada a outras pessoas.

Finalmente cabe ressaltar que para uma metodologia de especificação formal seja eficiente deve:

- Ser completa o suficiente para abranger todas as características do sistema com o mínimo de complexidade
- Deve ser fácil de utilizar
- Suas estruturas devem estar próximas dos modelos mentais utilizados pelo usuário.

Outra vantagem de grande importância da especificação formal é que ela pode servir de base a um sistema automatizado de projeto.

Um sistema deste tipo teria como entrada a descrição formal de um problema e a partir daí todas as etapas para encontrar a solução seriam elaboradas pelo computador.

A idéia automatização da produção de software é extremamente atraente como solução para o problema da produtividade de programadores.

Um grande número de projetos baseado em especificações executáveis tende a surgir para investigar a viabilidade deste tipo de sistemas.

A seqüência de atividades em um ciclo de projeto através da execução das especificações consistiria das seguintes etapas:

- 1- Traduzir a análise do problema em uma linguagem de especificação.
- 2- Submeter esta especificação a um interpretador adequado de modo a gerar uma especificação operacional.
- 3- Construir o interpretador operacional com os recursos tecnológicos disponíveis.

O aspecto importante é que havendo uma evolução tecnológica basta repetir a etapa 4 preservando-se todos os esforços das outras etapas.

A grande dificuldade desta abordagem é sem dúvida a definição do interpretador que mapeia as estruturas da especificação formal em estruturas da especificação operacional as quais podem ser interpretadas por recursos de computação conhecidos.

4.3 Características principais desejadas para a metodologia proposta

Em função do que foi afirmado até o momento uma característica que julgamos essencial para a metodologia de desenvolvimento de sistemas que iremos propor é a utilização de uma linguagem formal para a especificação do problema. Igualdade importante é a utilização desta descrição formal do problema como suporte ao projeto dos algoritmos de controle. Sistemas automatizados de projeto, que permitem a partir da especificação formal obter automaticamente o

software, são teoricamente atraentes mas ainda não encontram exemplos práticos de uso. Desta maneira a nossa posição prevê o uso da especificação formal como entrada para um interpretador o qual permitiria a validação desta especificação através de simulação ou de procedimentos analíticos. Também é prevista sua utilização como ponto de partida para o projeto e teste dos algoritmos de controle. Isto será possível utilizando sua estrutura de dados acrescido das facilidades de simulação dos aspectos julgados relevantes do problema.

Esta abordagem é uma solução intermediária entre a produção automática de programas e a sua elaboração manual. O sistema interpretador-simulador é uma ferramenta utilizada pelo projetista do sistema que ainda preserva toda a função de tomada de decisões.

5. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Existe uma lacuna bastante grande entre as propostas de metodologias de especificação e desenvolvimento de software e sua aplicação em ambientes onde os profissionais envolvidos não têm sua formação através de educação formal em ciência da computação. Neste tipo de projeto normalmente se inclui na equipe um especialista de computação que tem um desconhecimento bastante grande do que seja a aplicação.

No caso de sistemas de controle de processos isto é especialmente válido pois é difícil encontrarmos pessoas preparadas para desempenhar a função de engenheiro de sistemas e que domine com igual intensidade tanto o aspecto processo industrial quanto o de recursos de computação necessários a implantação de sistema controlador.

Desta maneira o se utilizar um sistema computador como ferramenta para controle de processos industriais a primeira atividade com que se defronta o engenheiro de sistemas é investigar e tentar compreender as diversas nuances do problema de maneira a obter uma especificação válida da solução.

Esta entretanto não é uma atividade trivial pois na maioria das plantas industriais os principais parâmetros de projeto de equipamento e regras de operação já estão bastante distorcidos e simplificados em demasia para servirem

como ponto de partida para um sistema computadorizado de controle e otimização de processos industriais. Deve-se considerar que a documentação existente sobre o processo industrial deve ser repassada e dela extraída as informações relevantes. Igualmente os engenheiros de processos detêm informações que devem ser consideradas na especificação.

Em função disso a primeira etapa do método proposto é elaborar uma descrição estruturada do sistema de fabricação através de uma ferramenta que possibilita ao engenheiro de sistemas registrar e manipular os dados relevantes para o projeto do sistema impondo-lhe uma disciplina formal de raciocínio.

A especificação do sistema da fabricação será levada a efeito aplicando um formalismo baseado no conceito de sistemas transformacionais (WALTER, 1985) originalmente utilizado na especificação de sistemas de manufatura discretos (TELICHEVESKY, 1983) mas que através de um enfoque um pouco diverso permite descrever, dentro de preceitos de simplicidade e facilidade de uso, também sistemas contínuos de fabricação.

Através do formalismo de SISTEMAS TRANSFORMACIONAIS o processo é descrito pelos atributos que caracterizam os produtos em fabricação, é também pelas transformações que estes atributos sofrem ao longo do processo. Sendo inspirado nos formalismos para processamento de dados permitindo-nos tratar a fábrica como um processador de objetos e os produtos matérias-primas e produtos finais como arquivos de dados. Este conceito de fábrica-processador de objetos e de objeto é o ponto de partida para o formalismo sistemas transformacionais.

Após a etapa de especificação do sistema de fabricação que inclui: o processo industrial, os equipamentos componentes da fábrica através dos seus aspectos e os atributos julgados relevantes de cada um, podemos validar o resultado desta etapa através de um interpretador–simulador da descrição formal.

Este interpretador-simulador está concebido baseado em um conceito semelhante ao de rede de Petry, onde cada uma das transformações que se realizam nos produtos está associada a uma transição da rede representa o processo de fabricação. Esta transição só se realizará se as condições de sua função de transição estiverem todas válidas. O próximo estado dos lugares associados a transição também será avaliado através de aspectos representados na função de transição.

Através do interpretador-simulador podemos verificar se todos os aspectos do processo que são importantes para implementação da parte de controle já estão representados. A simulação trata a transformação do produto como uma caixa fechada só alterando as saídas em função de suas entradas representando o comportamento do processo físico e abstraindo-se de detalhes internos. Se estes detalhes forem importantes devem ser incluídos na descrição formal através de mais um nível de refinamento.

Após atingirmos uma descrição julgada satisfatória para o processo e sua fábrica podemos nos dedicar a incluir a parte de controle.

Na obtenção de algoritmos controle pe usado um corpo de conhecimento específico que está fora do escopo desta metodologia. Entretanto o resultado será algoritmos que irão atuar sobre o processo real. Como o processo

real está totalmente representado na descrição formal os algoritmos de controles ao atuarem sobre a estrutura de dados gerada pela interpretação da descrição formal devem ter o mesmo comportamento que teriam sobre o processo físico.

Assim sendo os algoritmos de controle podem ser inseridos aos poucos dentro da descrição de sistema de fabricação alterando seu comportamento dinâmico da mesma maneira que um computador de controle de processos modificaria o comportamento de uma planta sobre seu controle.

Após toda a parte de controle estar incluída no sistema temos uma descrição tão completa como desejarmos da fábrica, do processo e de seu controle.

A partir desta descrição podemos extrair os nódulos de programas ou equipamentos que irão compor a implementação. Este procedimento não está abrangido no escopo do trabalho por representar um campo muito vasto. Entretanto um aspecto que será abrangido posteriormente são critérios para definir quais funções de controle devem permanecer dentro de uma determinada tarefa concorrente.

Outra etapa bastante importante no projeto de um sistema de informática industrial é a definição da interface homem-sistema. O operador da fábrica deve ter condições a qualquer momento de acessar informações sobre as condições dos equipamentos, o andamento do processo e do comportamento dos algoritmos de controle.

Sem dúvida a descrição completa do sistema fábrica-controle é um auxílio muito importante para o projeto do interface homem-sistema pois através de sua característica de simulação pode representar dinamicamente todas as condições julgadas importantes.

Igualmente podemos tratar a interface entre sistema-processo de maneira a extrair da especificação quais as variáveis de processo importantes e quais as funções importantes para o subsistema de aquisição de dados.

Uma a uma as etapas sugeridas são as seguintes:

- 1) descrever o processo através de sistemas transformacionais, representando o fluxo de produtos e as transformações que neles ocorrem,
- 2) incluir os atributos importantes em cada produto antes e depois de cada transformação,
- 3) descrever os recursos de equipamentos responsável por cada transformação e seus atributos. Assim como os parâmetros de controle da transformação,
- 4) descrever as funções de transformação que modificam os atributos de um produto de saída de uma transformação em termos do equipamento e dos parâmetros de controle da transformação,
- 5) o resultado do item anterior é entregue ao interpretador que gera código simulável. Através da atribuição de valores aos diversos atributos e parâmetros dos elementos do sistema podemos através de simulação das

- condições operacionais importantes ou de modelos analíticos da descrição formal avaliar a validade desta descrição formal. Obviamente a análise sintática e semântica levada a efeito pelo interpretador pode ajudar a detectar erros de especificação,
- 6) através da análise da especificação e dos conhecimentos de engenharia de controle de processo define-se os algoritmos de controle,
 - 7) a próxima etapa consiste em inserir formalmente na descrição da metodologia os algoritmos de controle,
 - 8) entregando esta nova descrição formal ao interpretador este gera um código simulável que inclui a parte de controle. A execução deste código pode de maneira semelhante a etapa 5 ser usado para validar a definição dos algoritmos de controle,
 - 9) através de técnicas da Engenharia de Programas pode-se fazer o particionamento do sistema em módulos de execução seqüencial ou paralela,
 - 10) através de um sistema de desenvolvimento para interface homem/sistema pode fazer a definição de telas e diálogos que serão utilizados pelo operador do processo. O código executável pode ser integrado a este sistema de desenvolvimento permitindo avaliar a qualidade destas definições,
 - 11) o interface sistema/processo pode ser definido da análise da descrição formal da etapa 7, e

12)os resultados das etapas 9,10, 11 devem são integrados originando o sistema de controle de processos. Cabe ressaltar que os 3 sistemas tem como ponto comum a estrutura de dados que representam o processo, equipamentos e os algoritmos de controle.

5 SISTEMAS TRANSFORMACIONAIS PARA PROCESSOS CONTÍNUOS

O modelo de especificação formal dos Sistemas Transformacionais está baseado na existência dos seguintes elementos:

O processo de fabricação – a seqüência de transformação a que se submete um produto ou conjunto de produtos a fim de obter um produto final é a definição de um processo de fabricação. Também são necessárias para a definição completa do processo de fabricação as regras que regem o correto desempenho destas transformações.

A fábrica – os conjuntos de recursos físicos que são necessários para efetivar as transformações sobre os produtos denominados “fábrica”. Se encarada com um processador de objetos ela se compõem de uma parte de controle. A parte operativa é onde efetivamente se realizam as transformações e a parte de controle deve dirigir a parte operacional em função das transformações se desejam realizar sobre os diversos produtos.

Então para definirmos perfeitamente um sistema de fabricação real através de um sistema transformacional devemos dispor do seguinte:

- 1- A descrição do fluxo de produtos e suas respectivas transformações ao longo do processo.
- 2- A descrição dos recursos físicos que compõe a parte operativa da fábrica.

- 3- A descrição das funções de controle das diversas transformações pertencentes ao sistema.

A especificação do processo é feito através da modelagem do fluxo de produtos fabricados e os diferentes produtos intermediários gerados em função da cadeia re transformações a que os produtos são submetidos.

As ferramentas disponíveis nos sistemas de transformacionais para especificar este aspecto do processo são uma linguagem da descrição das transformações, baseada no conceito de programação funcional, e uma representação por rede desta descrição. Para exemplificar podemos apresentar a seguinte descrição simplificada de um processo de fabricação de celulose branqueada.

```
*****
*DESCRIÇÃO SIMPLIFICADA DO PROCESSO BRANQUEAMENTO
*****
DESCRIPÇÃO DOS PRODUTOS
  Dióxido:
    Concentração;
    Fluxo.
  Cloro:
    Concentração;
    Fluxo.
  Soda:
    Concentração;
    Fluxo.
  Polpa-marron:
    Consistência;
    Fluxo;
    Viscosidade;
    Número Kappa;
    Condutividade.
  Polpa-branqueada:
    Consistência;
    Fluxos;
    Viscosidade;
    Alvura.
FIM DESCRIÇÃO
```

Figura 6.1 - descrição através da linguagem.

A representação por rede teria a seguinte forma:

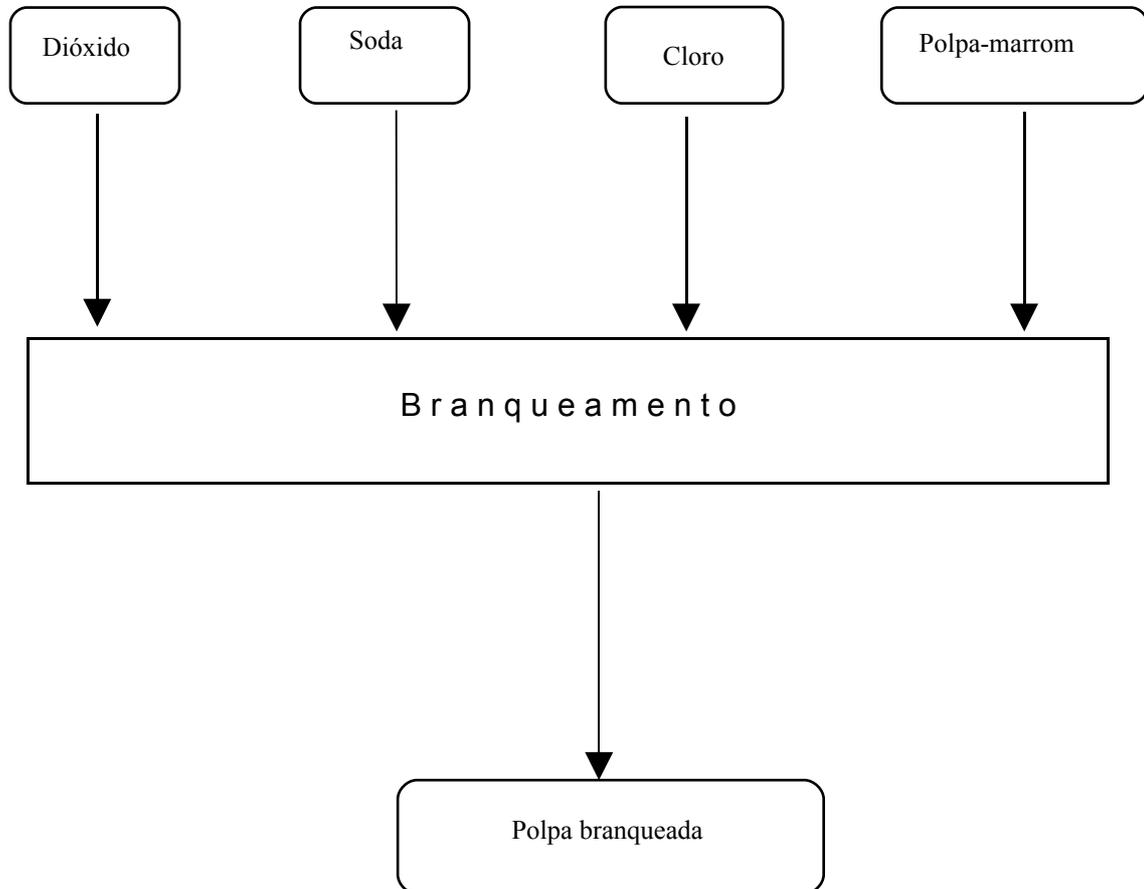


Figura 6.2 - Descrição através de rede.

Estas duas formas de representação são importantes pois permitem pensar em um suporte automatizado de projeto para a descrição através da linguagem assim como uma maneira clara e concisa de manipular e visualizar a descrição que é representação por rede.

Os elementos principais utilizados nesta descrição são os conceitos de produto, classe de produto, transformação e atributos de produtos.

O segundo item relativo a descrição dos recursos físicos é feito listando-se as características consideradas relevantes de cada equipamento envolvido. Estas características são representadas por elementos denominados “atributos” do equipamento. Cabe ao autor da descrição definir o nível de abstração que se deseja para um determinado equipamento através da seleção de seus atributos. Cada equipamento ou conjunto de equipamentos corresponde uma transformação ou conjunto de transformações.

Finalmente para descrever as funções de controle das diversas transformações utiliza-se uma linguagem procedural, semelhante a uma linguagem de programação, que utiliza como argumentos característicos dos produtos e equipamentos denominados atributos e também parâmetros de controle que são declarados nesta fase.

A seguir são detalhados em maior profundidade os conceitos aqui apresentados, assim como o próprio formalismo transformacional.

6.1 Produtos classes e transformações

Um produto é um material perfeitamente identificável e caracterizado por um conjunto de atributos a ele pertinente. Cada elemento ATRIBUTO é um par composto dos entes (nome do atributo, valor do atributo). Por exemplo para um produto solução de hidróxido de sódio poderíamos ter o seguinte par atributo (concentração, 80).

Uma classe de produto é caracterizada por um conjunto de atributos e seus respectivos valores. Diz-se que um produto está inserido em uma

determinada classe quando os atributos definidos na classe e também existentes no produto tem um valor idêntico.

Através de uma TRANSFORMAÇÃO um produto pode ter o campo valor de um de seus atributos modificados ou ainda a exclusão ou inclusão de novos pares nos conjuntos de atributos que o caracterizam. Resumidamente uma transformação é uma relação que permite levar produtos de uma classe para produtos de outra classe através da mudança de seus atributos.

Este conceito da transformação leva-nos a considerar que pela natureza dos processos industriais contínuos o tempo associado a transformação não é zero. Existem desta maneira produtos que estão com o elemento valor de um de seus atributos em modificação. Produtos onde isto está ocorrendo estão deixando de pertencer a uma classe e no entanto ainda não tem seus atributos valorados para pertencerem a outra classe. Esta classe intermediária denominados “CLASSE DE TRANSFORMAÇÃO”. Em função dos valores de seus atributos um objeto pode pertencer a uma classe estática ou a uma classe de transformação. O conceito de classe de transformação tem importância pois é o mecanismo que o formalismo oferece para que se inclua na descrição do processo industrial os aspectos referentes ao seu controle.

6.2 Recursos de Interpretação para a Transformação

Os recursos de fabricação constituem a parte material que efetivamente transforma os objetos. Estes recursos podem ser encarados como a parte operacional do sistema transformacional. São constituídos em uma instalação industrial pelas máquinas, equipamentos, conjunto de equipamentos ou mesmo por uma fábrica inteira.

A fim de que um recurso de fabricação, denominado no Sistema Transformacional de Recursos de Interpretação para as transformações, possa representar o nível de abstração desejado para o equipamento real, é necessário que se descreva seu comportamento nas transformações onde participa.

Da mesma maneira que os produtos também os recursos de interpretação da transformação possuem atributos constituídos de pares (nome – atributo, valor – atributo) que serão referidos nas expressões da transformação.

Um determinado trecho da descrição do processo que se inclui os recursos de transformação teriam esta forma:

```

DESCRICHÃO TRANSFORMAÇÕES
Branqueamento (Dióxido, Cloro, Soda, Polpa - marrom) =
polpa-branqueada:
  Capacidade;
  Taxa-produção;
  Ritmo.
EQUIPAMENTOS
  Prim-torre:
    volume;
  Seg-torre:
    volume;
  Ter-torre:
    volume.
FIM
  Início
    (corpo da transição)
  Fim

```

Figura 6.3 Descrição incluindo equipamentos

6.3 Expressões de Controle e Execução

Além do módulo operacional os recursos de interpretação devem dispor de um módulo que obrigue as expressões que definem o comportamento da parte operacional deixando perfeitamente determinada uma transformações.

Estas expressões consideram como argumento os seguintes parâmetros:

- parâmetros atributos dos produtos
- parâmetros atributos dos recursos de fabricação, que são intrínsecos a estes elementos
- parâmetros de controle, que se inserem no algoritmo de transformação permitindo utilizar os graus de liberdade oferecidos pelos recursos de fabricação a fim de alcançar uma classe final de produtos.

Estes parâmetros são utilizados nas expressões de transformação associado a cada uma das classes de transformação associado a cada uma das classes de transformação e executado pelos recursos de fabricação.

As transformações são levadas a efeito pelos recursos de fabricação e controlar o processo industrial consiste basicamente em definir parâmetros para toda a cadeia de transformações de modo que cada produto pertença a classe de transformação desejada para ele.

7 INTERPRETADOR SIMULADOR DE SISTEMAS TRANSFORMACIONAIS

A execução da descrição da fábrica em linguagem formal é um passo importante da metodologia proposta. Através desta execução podemos validar a descrição formal. Por execução entende-se a possibilidade de interpretar um código gerado a partir de uma tradução da linguagem de descrição do processo. Esta tradução deve obviamente obedecer a regras sintáticas e semânticas da linguagem para gerar um código de interpretação. A interpretação do código gerado deve permitir comparar o comportamento externo dos segmentos que descrevem os componentes da planta com o comportamento real destes componentes. Desta maneira podemos comparar se o detalhamento e aproximação para cada aspecto do processo foi alcançado dentro dos níveis desejados. De uma maneira geral esta execução pode ser lavada a efeito através de duas maneiras: por uma simulação ou através de expressões resultantes da aplicação de um método analítico.

Através da simulação podemos visualizar o comportamento dos aspectos que julgamos interessantes. Pela avaliação de expressões analíticas podemos responder imediatamente questões do tipo “que acontecese”.

No caso do interpretador-simulador proposto este reflete perfeitamente o conceito de sistemas-transformacionais, no sentido de executar a cada

momento de simulação as transformações de classe dos diversos produtos seguindo os procedimentos especificados para cada transformação.

O sistema interpretador-simulador possui duas etapas bem definidas.

A primeira delas a etapa de interpretação consiste basicamente em traduzir a especificação elaborada na linguagem do sistema transformacional em uma estrutura de dados que será preenchida conforma as diversas sentenças da especificação.

A segunda etapa é representada pelo uso do simulador propriamente dito o qual deve, utilizando a estrutura de dados preenchida na fase de interpretação, simular o comportamento externo dos processos e equipamentos abrangidos na especificação.

O conceito básico deste simulador é fortemente baseado no conceito de redes de Petry. Numa rede de Petry uma transição só é levada a efeito se todos os lugares de entrada tem um número de marcas maior que zero. Cumprida esta condição o procedimento de execução da transição é simples: remove-se uma marca de cada lugar de entrada e acrescenta-se uma marca a cada lugar de saída.

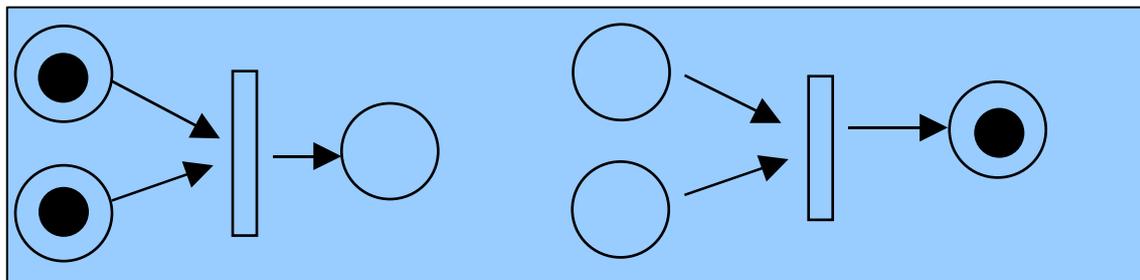


Figura 7.1 Redes de Petry – Transição

A analogia que pode ser feita para compreensão do mecanismo do simulador é que a cada transição corresponde uma transformação e a cada lugar corresponde um produto. No caso de uma rede de Petry o único atributo em que pode haver modificações é o número de marcas (quantidade) por lugar (produto).

Desta maneira os aspectos mais importantes do interpretador-simulador proposto é a estrutura de dados utilizado e como estes dados são usados para execução. Estes dois aspectos serão detalhados a seguir.

7.1 Descrição da Estrutura de Dados

A estrutura de dados que deve suportar a decomposição da descrição do sistema transformacional tem que representar as suas duas entidades principais, os conceitos de produto e transformação.

A entidade é identificada pelo par (nome-produto, lista-de-atributos), onde:

- nome-produto = é um identificador para uma ocorrência desta entidade.
- Lista-de-atributo = é um apontador para uma lista formada por um conjunto de atributos, cada um deles composto por (nome-atributo, valor-atributo) sendo o primeiro um identificador e o segundo um valor associado ao atributo.

A entidade transformação é composta dos seguintes elementos:

- nome - é um identificador da entidade

- lista-de-equipamento – é um apontador para um conjunto de pares (nome-equipamento, lista-de-atributo-equipamentos) onde:
nome-equipamento – identificador.
Lista-de-atributo-equipamento – é igualmente um conjunto de pares (nome, valor).
- lista-produtos-entrada – é um apontador para uma lista que identifica os produtos que são argumentos de transformação. A cada produto presente na lista está associado um conjunto de atributos que são considerados na transformação e devem ser um subconjunto do conjunto global de atributos declarados para o produto.
- Lista-produtos-saída – é um apontador para uma lista de produtos que são resultados na transformação que está sendo declarada. A cada produto presente na lista está associado um conjunto de atributos- do produto que são afetados na transformação e devem ser subconjunto do conjunto global de atributos declarados para o produto em questão.
- Lista-parametros-de-controle – é um apontador para uma lista formada por pares (nome-parâmetro, valor) onde o primeiro elemento é um identificador e o segundo é um valor associado.
- Ritmo – é uma variável que será usada na etapa de simulação.
- Taxa de operação - é uma variável que será usada na etapa de simulação.

Além destas estruturas ainda existem:

- lista-de-produtos – que aponta para uma lista de todos os produtos pertencentes a uma rede de transformações.
- Lista-de-transformações – que aponta para uma lista de todas as transformações pertencentes a uma rede de transformações.

7.2 Descrição das funções de simulação

Pode-se imaginar que a execução de uma transformação corresponde a executar um procedimento que usa como argumentos de entrada os atributos dos produtos de entrada, dos atributos de equipamentos e dos parâmetros de controle definidos na transformação. Como resultado da execução desta transformação os atributos dos produtos de saída e atributos de equipamentos são alterados.

A execução da transformação se dará em duas etapas:

- primeiro: deve-se verificar se as condições para realização da transformação estão satisfeitas.
- Segundo: a execução da transformação é levada a efeito percorrendo a lista de atributos considerados para cada produto de saída e avaliando a rotina de atualização deste elemento. Os atributos de equipamentos são tratados da mesma maneira.

Um aspecto importante a considerar é como representar o conceito tempo de simulação. A variável tempo está principalmente relacionada com o conceito de taxa de produção, ou seja, quanto de uma determinada transformação foi realizada.

Para representar este aspecto no simulador foram propostos os seguintes conceitos:

- relógio – informa quantas unidades de tempo de simulação já ocorreram. A cada unidade de simulação denominaremos TICK.
- Taxa-de-operação – informa a capacidade do recurso realizar determinada transformação na unidade de tempo de simulação.
- Ritmo – define a taxa efetiva de transformação em que o recurso está operando.

7.3 Construção de um exemplo ilustrativo para as funções do interpretador-simulador

A fim de alcançarmos um nível maior de compreender das funções do programa interpretador-simulador desenvolveremos um exemplo. Embora imperfeito sob o ponto de fidelidade do processo a descrição é satisfatória como ilustração.

```
*****
*DESCRIÇÃO SIMPLIFICADA DO PROCESSO BRANQUEAMENTO
*****
DESCRIPÇÃO DOS PRODUTOS
  Dióxido:
    Concentração;
    Fluxo.
  Cloro:
    Concentração;
    Fluxo.
  Soda:
    Concentração;
    Fluxo.
  Polpa-marron:
    Consistência;
    Fluxo;
    Viscosidade;
    Número Kappa;
    Condutividade.
  Polpa-branqueada:
    Consistência;
    Fluxos;
```

```
Viscosidade;  
Alvura.  
FIM DESCRIÇÃO  
DESCRIÇÃO TRANSFORMAÇÕES  
Branqueamento (Dióxido, Cloro, Soda, Polpa - marrom) =  
polpa-branqueada:  
Capacidade;  
Taxa-produção;  
Ritmo.  
Início  
        (corpo da transição branqueamento  
        contendo as chamadas das rotinas que  
        calculam as expressões que definem as  
        transições)  
Fim  
FIM DESCRIÇÃO TRANSFORMAÇÕES
```

Figura 7.2 – Descrição do Processo

A descrição através de rede de transformações assumiria o seguinte formato:

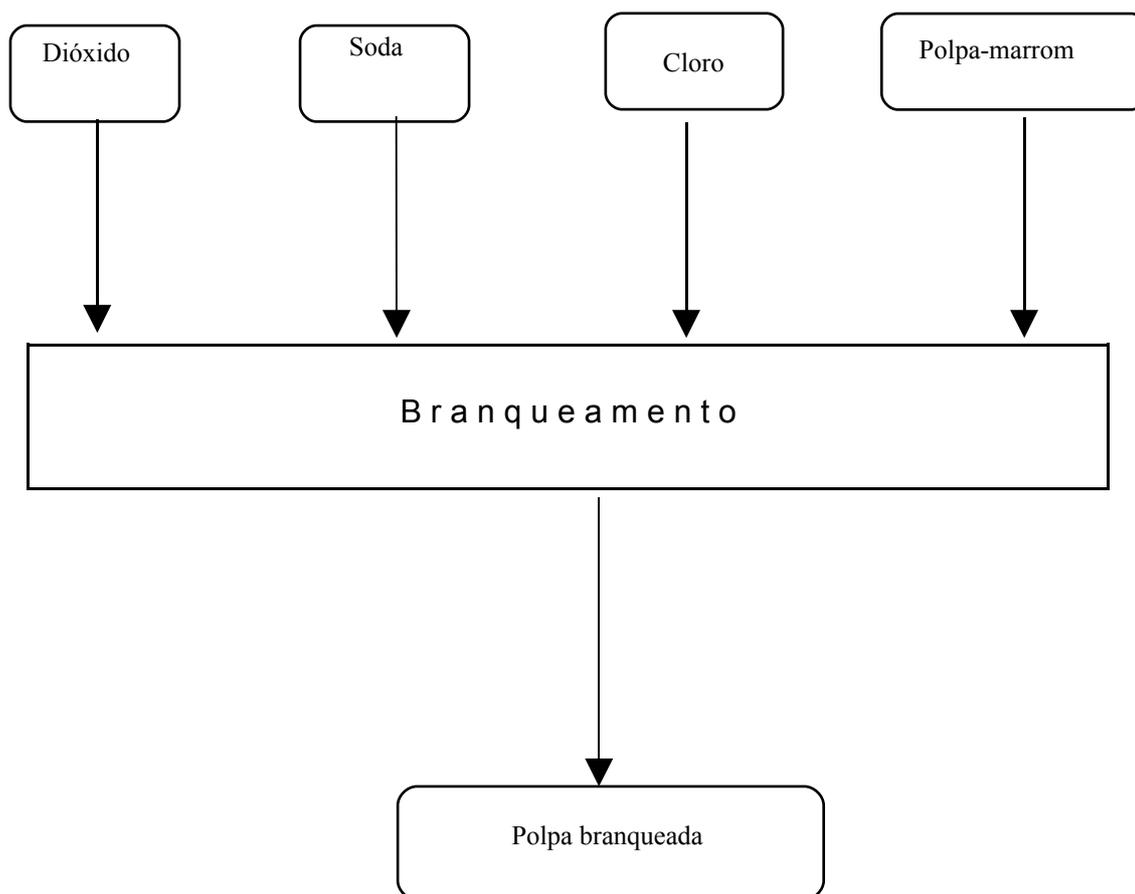


Figura 7.3 - Descrição através de rede.

A estrutura de dados está representada abaixo pelas suas principais entidades lógicas:

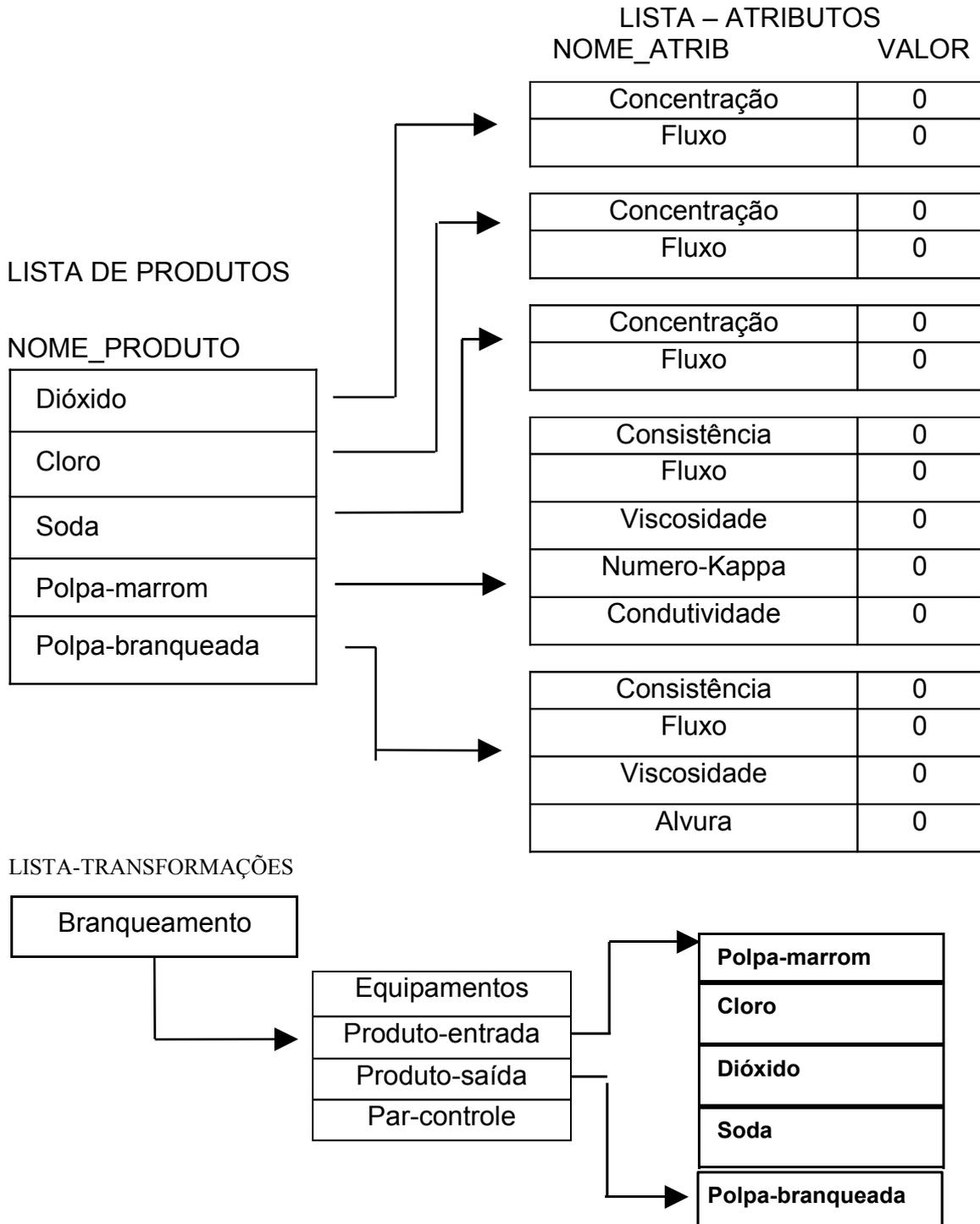


Figura 7.4 Estrutura de dados do interpretador

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conceitos utilizados na metodologia proposta nas suas ferramentas de suporte e na sua forma final preenchem os requisitos considerados essenciais os quais sejam:

- facilidade de uso
- ser um meio de documentação e discussão das características do sistema fábrica-controle
- ser ponto de partida para o projeto da parte de controle

Quanto à sua utilização esta deve ser orientada no sentido de não tentar exceder sua capacidade de descrição formal dos aspectos referentes ao processo, pois desta maneira a inteligibilidade da descrição e sua utilização ficam comprometida em função do volume de detalhes. A metodologia deve ser encarada como uma diretriz de projeto que se for boa e com o espectro perfeitamente definido e compreendido não deverá ser desrespeitada.

Em relação a sua aplicação pratica vislumbramos duas áreas onde esta pode ser efetiva:

- no projeto de um sistema inédito onde a equipe de desenvolvimento do software de controle tenha uma experiência limitada nos processos alvos,

- no projeto de um sistema de grande porte caracterizado por um grande número de áreas ou sub-processos com características diferenciadas e com um grande volume de informações a ser levada em conta.

No primeiro caso a metodologia proposta é um meio de abordagem do problema que irá permitir que rapidamente se levante as principais características do sistema a ser controlado, reduzido o tempo da etapa de confusão inicial comum a projetos inéditos. Ajudando a formar um sentimento do processo, a metodologia contribui para direcionar o enfoque do projeto para aspectos essenciais.

No caso de um projeto de grande porte a metodologia e suas ferramentas permitem a descrição do sistema em uma versão preliminar onde os aspectos ainda obscuros ou por demais particulares podem ser abstraídos. Esta descrição pode então ser válida dentro destas condições de contorno aceitas como gerais. Com esta validação pode-se fazer a participação do sistema total e dividi-lo em módulos que serão atribuídos a diferentes equipes de desenvolvimento. Estas equipes farão o refinamento sucessivo de sua parte do projeto até o grau que for necessário. A estrutura da linguagem permite que cada grupo trabalhe com interfaces para as outras áreas bem definidas e o que é mais importante com o comportamento iterativo das diversas áreas já validado.

Outro aspecto importante em relação a aplicação desta metodologia e das ferramentas que a compõe é sua utilização como um instrumento didático. Em função do seu potencial como mecanismo de formalização do conhecimento sobre o processo a ser controlado e seus algoritmos de controle e pela

possibilidade de simulação e análise destes conhecimentos seu uso para treinar profissionais como engenheiros de controle de processos por computador parece ser bastante atraente.

Em relação a uma possível implementação das ferramentas descritas para a metodologia o ambiente computacional é o sistema operacional UNIX. Esta sugestão é baseada no fato de estar o referido sistema operacional instalado em máquinas de vários portes e das facilidades de desenvolvimento de software disponíveis. Igualmente importante é a facilidade de estruturar um ambiente de compartilhamento de estruturas de dados e procedimentos entre os vários participantes do sistema.

A viabilidade técnica da utilização desta metodologia e de suas ferramentas de suporte em um projeto real parece-nos bastante alta. Neste caso seria necessário reavaliar as estruturas que seriam usadas e suas definições a fim de particulariza-las ao tipo de processo e projeto em que serão utilizadas.

Finalmente cabe acrescentar que acreditamos ser o desenvolvimento de metodologias e ferramentas de projeto a principal maneira das empresas brasileiras terem condições de oferecer produtos de informática competitivos em um mercado sem o mecanismo de reserva. Grande parte dos contratos de transferências de produto. Assim os esforços materiais e de recursos humanos das empresas ficam voltados a operacionalizar detalhes específicos de um produto que normalmente não podem ser generalizados em uma versão mais abrangente do produto.

Obviamente este procedimento aumenta a bagagem de experiência dos profissionais envolvidos, mas se conseguimos formalizar estas experiências e divulgá-la ocorre um efeito multiplicativo que ajuda a quebrar o ciclo: busca parceiro tecnológico, fabrica produto, vende.

Com esta motivação nos dedicamos a investigar uma metodologia para desenvolvimento de programas de controle de processos cuja a proposta foi apresentada.

ANEXOS

1. DESCRIÇÃO DA PLANTA DO DIGESTOR CONTÍNUO

1.1 Conceitos Básicos

O digestor contínuo é a instalação onde se efetua o polpeamento da madeira. Por polpeamento se entende a transformação dos cavacos de madeira, continuamente alimentados ao digestor, em polpa para papel ou polpa solúvel. Esta transformação se efetiva adicionando aos cavacos uma mistura líquida de hidróxido de sódio (NAOH) e sulfeto de sódio (NA₂S) denominada licor branco, e submetendo-as a uma alta temperatura. Nesta reação são liberadas as fibras da madeira constituídas de celulose e outros resíduos que posteriormente serão eliminados.

A madeira apresenta basicamente a seguinte constituição:

CONSTITUIÇÃO DA MADEIRA	25% lignina	
	70% holocelulose	70% alfa-celulose 30% hemicelulose
	5% água	
	e outras substâncias orgânicas	

Constituição da madeira.

Durante o processo de cozimento vários parâmetros devem ser controlados de maneira que se mantenham as características físicas e químicas da polpa produzida. Entre estas características podemos citar:

- resíduos de lignina
- resíduos de produtos químicos
- viscosidade
- conteúdo de hemiceluloses
- temperaturas e consistência finais entre outras.

Durante sua operação o digestor contínuo apresenta diversas zonas, onde os cavacos estão sendo submetidos a diferentes tratamentos.

O controle das variáveis envolvidas (temperaturas, tempo de permanência, quantidade de reagentes) e das condições de entrada e saída em cada zonas irá determinar a qualidade da polpa produzida. Um dos parâmetros que normalmente mede qualidade é o número KAPPA e a minimização de suas variações é a consequência de uma operação eficaz.

As etapas do processo de polpeamento são: impregnação, cozimento, lavagem e descarga.

Se a polpa produzida é do tipo polpa solúvel, antes da fase de impregnação acontece um estágio de pré-hidrólise onde os cavacos reagem com ácido acético liberado da maneira sob alta temperatura.

Na etapa de impregnação os cavacos são misturados ao licor branco (Solução de NA2S) que devido a alta pressão penetra nos espaços capilares da madeira. Como consequência do pequeno intervalo de tempo que cabe a esta fase ela deve se realizar em um ambiente de alta pressão.

A zona de cozimento consiste das etapas de aquecimento e cozimento propriamente dito. Na etapa de aquecimento o licor que acompanha a polpa é recirculado e aquecido em um trocador de calor. A temperatura da polpa acompanha a temperatura final deste licor de circulação.

No cozimento ocorre a deslignificação. Para uma espécie específica de madeira podemos afirmar que a deslignificação é dependente dos seguintes fatores:

- 1- concentração de álcali nas cavacos
- 2- tempo de retenção na zona de cozimento
- 3- temperatura da mistura (cavacos + licor)

O processo de delignificação deve ser controlado de maneira a remover o máximo a remover o máximo de lignina sem entretanto alterar significativamente as características dos outros componentes da polpa.

O fim de cozimento é determinado pela etapa de lavagem que abaixa a temperatura da polpa pela adição de licor de lavagem. Além desta função de controlar o fim da reação de deslignificação o licor de lavagem remove os resíduos de produtos químicos que são eliminados através de uma operação de extração realizada simultaneamente.

Na etapa de descarga a polpa produzida é removida de digestor sendo sua consistência determinada pela adição de uma parcela do licor de lavagem.

Esta polpa depois de depurada e lavada é armazenamento em tanques de descarga para depois seguir para outras instalações onde são efetuadas operações complementares.

O licor extraído do digestor que contém a lignina e outras impurezas combinadas com os produtos químicos utilizados no processo de cozimento é denominado licor negro. O licor negro possui uma alta capacidade de combustão sendo utilizados como combustível na caldeira de recuperação. Como produtos desta queima se obtém energia através de uma turbina e as cinzas do licor negro queimado são utilizadas para obter novamente as substâncias componentes do licor branco. Como para recompor as perdas de produtos químicos adiciona-se sulfato de sódio, este tipo de polpa é denominado polpa sulfato.

1.2 Descrição do processo

Neste item será descrito o que ocorre com os cavacos desde a sua entrada no sistema até a sua saída pelo fundo do digestor, já transformados em polpa.

Os cavacos chegam do pátio através de uma esteira transformadora e são armazenados no silo de cavacos com o objetivo de regularizar o fluxo de entrada de cavacos na planta.

No fundo do silo de cavacos está o alimentador de cavacos. O alimentador de cavacos é constituído principalmente de um dispositivo rotativo, cilíndrico, com bolsos denominado medidor de cavacos. O volume de maneira que entra no digestor é proporcional à velocidade de rotação do medidor de cavacos. Sendo assim esta velocidade controlada a produção.

Como o digestor opera a alta pressão deve existir um mecanismo que permita a passagem dos cavacos de um ambiente de baixa pressão para dentro

do digestor. Este sistema é constituído dos seguintes equipamentos: alimentador de baixa pressão, pré-tratamento com vapor e alimentador de alta pressão.

O alimentador de baixa tem um rotor com bolsos e constitui apenas uma etapa intermediária entre dois ambientes com alta pressão diferencial.

Do alimentador de baixa os cavacos caem direto dentro de recipiente de pré-tratamento com vapor. Esta fase é necessária para expulsar o ar contido entre os cavacos facilitando desta maneira a impregnação dos cavacos com licor branco. Além da expulsão de ar o pré-tratamento com vapor também controla a umidade dos cavacos.

Entre o recipiente de pré-tratamento de vapor e o alimentador de alta está o funil de cavacos. No funil de cavacos existe uma janela que permite visualizar o nível de licor do equipamento. Nas paredes de funil existe um peneira que elimina o líquido que acompanhou os cavacos do vaso de pré-impregnação.

O alimentador de alta é constituído de 4 bolsos trespessantes de maneira que quando um está sendo enchido outro está sendo esvaziado para a linha de circulação superior. Existe uma circulação de cavacos do funil para o alimentador usando como fluido de transporte licor armazenado em um tanque de nível que é alimentado ao funil de cavacos circulando pela bomba 3-01(C3). No cruzamento desta circulação com a circulação superior (C4) localiza-se o alimentador de alta.

Além do licor que transborda do funil de cavacos o tanque de nível é alimentado de licor branco da caustificação e licor preto para complementar o

fluxo necessário de licor. Do tanque de nível através de um sistema de bombas o licor é levado ao separador de topo do digestor, onde entra na linha de circulação superior.

Os cavacos são transportados do alimentador de alta até o separador de topo imersos em licor e impulsionados pela bomba 3-02(C4).

O separador superior consiste de uma rosca transportadora girando em torno de uma peneira. Através da peneira o licor retorna à circulação superior e pela rosca os cavacos são transportados para dentro do digestor. Normalmente uma certa quantidade de licor não é recolocada na circulação de topo transbordando para dentro do digestor. Normalmente uma certa quantidade de licor não é recolocada na circulação de topo transbordando para dentro do digestor.

Nesta etapa entre o alimentador de alta e o separador de topo é que se realiza a impregnação dos cavacos com licor branco.

A maior parte da energia necessária para atingir a temperatura de operação é fornecida por vapor de 13 ata alimentado ao topo do digestor. Existe também um sistema composto de válvulas e compressores que regulam a pressão do digestor.

Dentro do digestor, como foi mencionado anteriormente, existem quatro zonas; impregnação, cozimento, lavagem e descarga.

No topo do digestor logo após o fim da etapa de impregnação tem início uma reação que irá remover carboidratos e outros elementos das fibras de

madeira. Esta reação dura aproximadamente até a altura da primeira peneira (CD1) para depois dar lugar à reação que irá remover a lignina com a conseqüente liberação das fibras de celulose.

A temperatura em que ocorre a reação de remoção da lignina é controlada circulando e aquecendo o licor da zona de digestão. O licor é removido pela peneira superior, aquecido e recolocado na mesma região de onde foi extraído.

O fim da etapa de cozimento começa quando a polpa atinge as peneiras intermediárias (CD2). Nestas peneiras o licor é extraído e recirculado. Estas peneiras são formadas por dois conjuntos: um superior e um inferior, e existe um circuito de chaveamento que faz com que o licor seja extraído ora por uma peneira ora por outra. Além desta extração para a circulação superior de lavagem nas peneiras intermediárias, acontece também a extração do licor negro resultante da operação de lavagem.

A lavagem é a última operação sobre a polpa antes desta deixar o digestor. Ela se realiza bombeando o licor de lavagem no fundo do digestor por intermédio de bicos ejetores. Este licor de substituição esfria a polpa antes desta ser descarregada. Um pouco acima do fundo do digestor estão as peneiras inferiores usadas para circular e aquecer o licor de substituição tornando mais eficiente a operação de lavagem.

Este licor que foi injetado no fundo do digestor move-se em sentido contrário ao da polpa levando consigo os resíduos resultantes do processo. Esta nova mistura é denominada licor negro.

O licor negro será extraído nas peneiras intermediárias e levado aos ciclones de expansão onde será separado do vapor que o acompanha. Depois desta operação o licor negro é bombeado para as instalações de recuperação sendo que parte dele é reconduzido ao tanque de nível mencionado anteriormente.

Antes de deixar o digestor a polpa é misturada com licor de diluição para controle de consistência: o raspador de fundo retira a polpa do digestor que é conduzida para o processo de depuração e lavagem.

A seguir são apresentadas figuras que mostram:

- os equipamentos principais na planta do digestor e a sua localização relativa (figura 9.1)
- a circulação de topo e os respectivos fluxos de licores e cavacos. (figura 9.2)
- as circulações, as extrações e o fluxo de licores no digestor (figura 9.3)

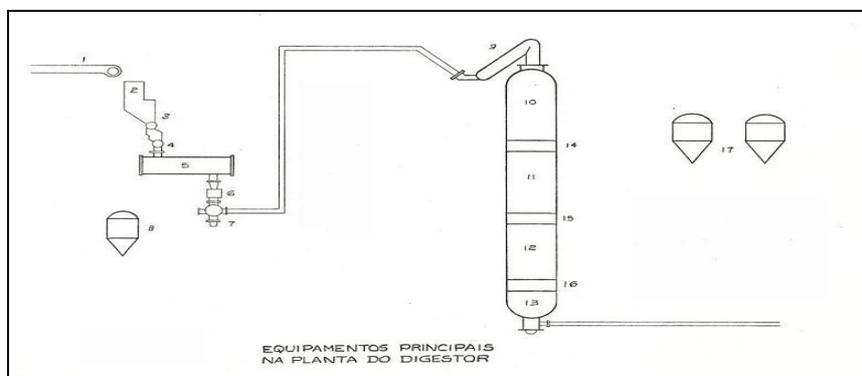
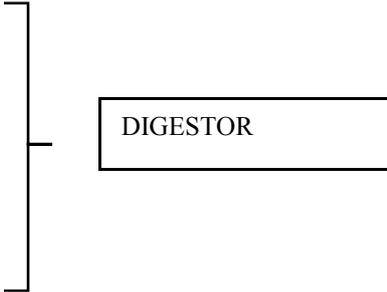


Figura 9.1 – Principais equipamentos do Digestor

EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS NA PLANTA DO DIGESTOR

- 1- correia do pátio de cavacos
 - 2- silo de cavacos
 - 3- medidor de cavacos
 - 4- alimentador de baixa
 - 5- pré-tratamento com vaporfunil de cavacos
 - 6- alimentador de alta
 - 7- tanque de nível
 - 8- separador de topo
 - 9- zona de impregnação
 - 10- zona de cozimento
 - 11- zona de lavagem
 - 12- raspador de fundo
 - 13- peneiras superiores
 - 14- peneiras intermediárias
 - 15- peneiras inferiores
 - 16- ciclones de expansão
- 
- DIGESTOR

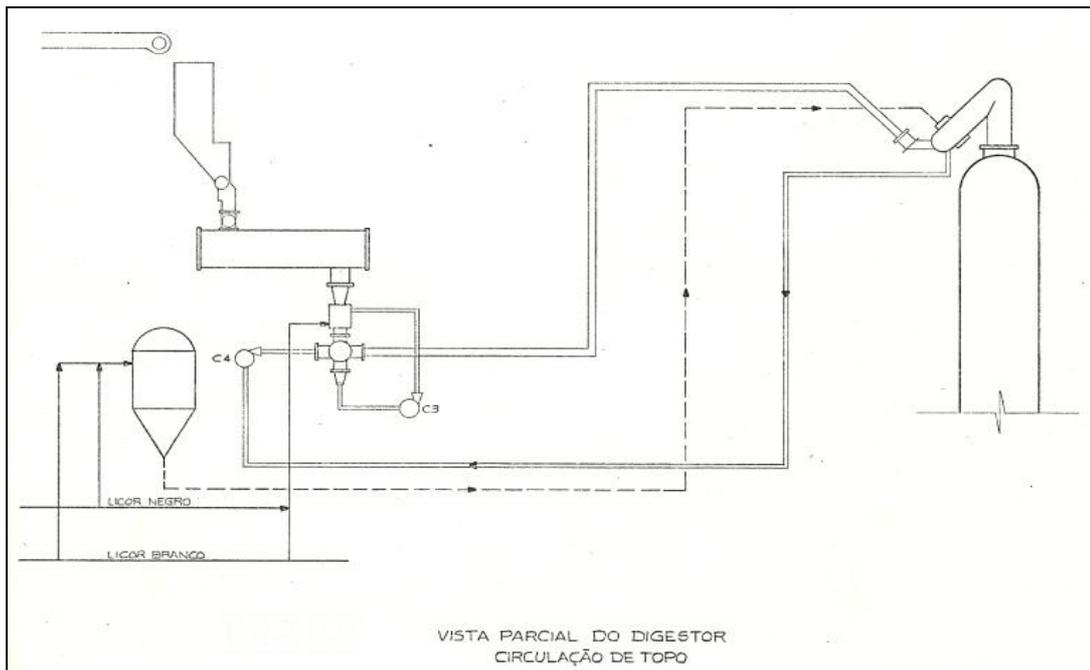


FIGURA 9.2 – Circulação de topo e fluxo de licores.

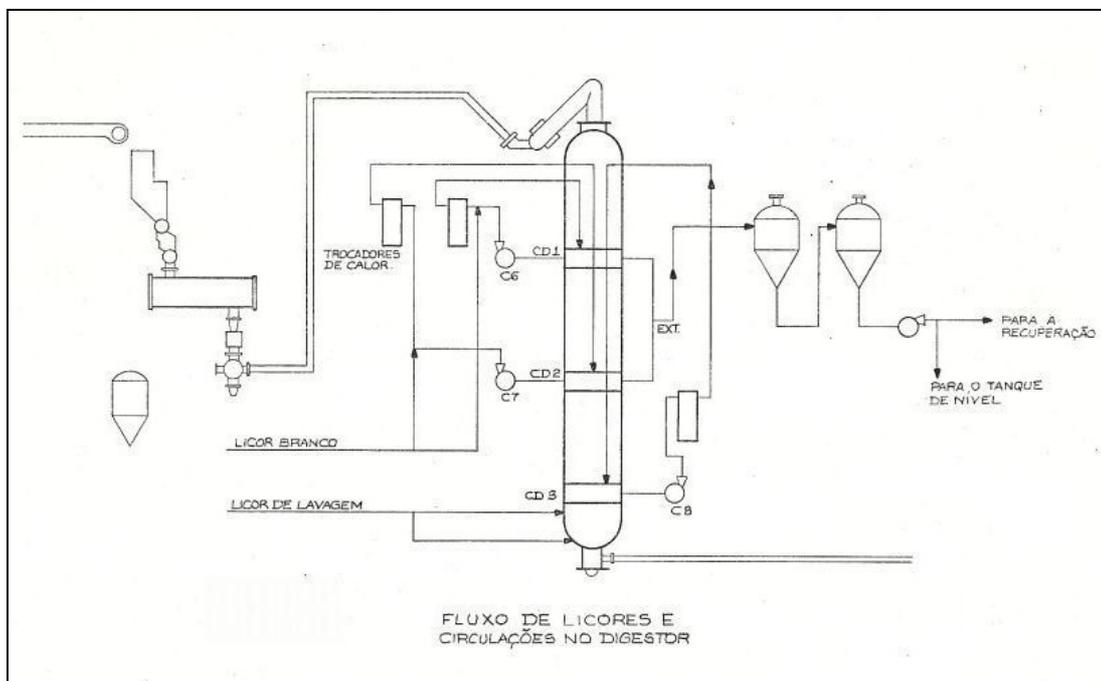


Figura 9.3 – Circulações Extrações e Fluxos de licores no digestor.

2 CONSTRUÇÃO DE UM EXEMPLO

O objetivo deste trabalho é apresentar um exemplo de utilização de uma linguagem formal para descrever um processo industrial de características contínuas.

O resultado poderá ser analisado sob diversos aspectos inclusive de adequação ou não a metodologia e desenvolvimento de sistemas proposta.

A fim de podermos acompanhar os principais aspectos desta descrição formal a cada etapa serão feitos comentários que esclarece qual seu objetivo.

O processo a ser descrito é a digestão contínua de celulose já apresentado no item 9.1.

A abordagem utilizada consiste em descrever o processo de uma maneira mais geral e ir completando a descrição através da inclusão de novos aspectos e do refinamento dos aspectos já descritos.

A seguir são apresentados os passos por nós seguidos até a obtenção de uma listagem completa da descrição.

1- Descrição geral do processo considerando seus produtos de entrada e saída e apenas uma transformação

```

*****.
*   DESCRIÇÃO PROCESSO POLPA - PAPEL CONCORRENTE
*****.

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS:
    Cavacos.no.silo;
    Licor.branco;
    Vapor;
    Polpa.marrom.do.digestor;
    Licor.negro.forte;
FIM DESCRIÇÃO.

DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES
Polpa-papel-concorrente (cavacos.no.silo,licor.branco,vapor) =
polpa.marrom.do.digestor, licor.negro.forte.
FIM DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES.

```

O objetivo desta etapa é obter uma visão geral do processo a qual pode ser visualizada através da rede de transformação.

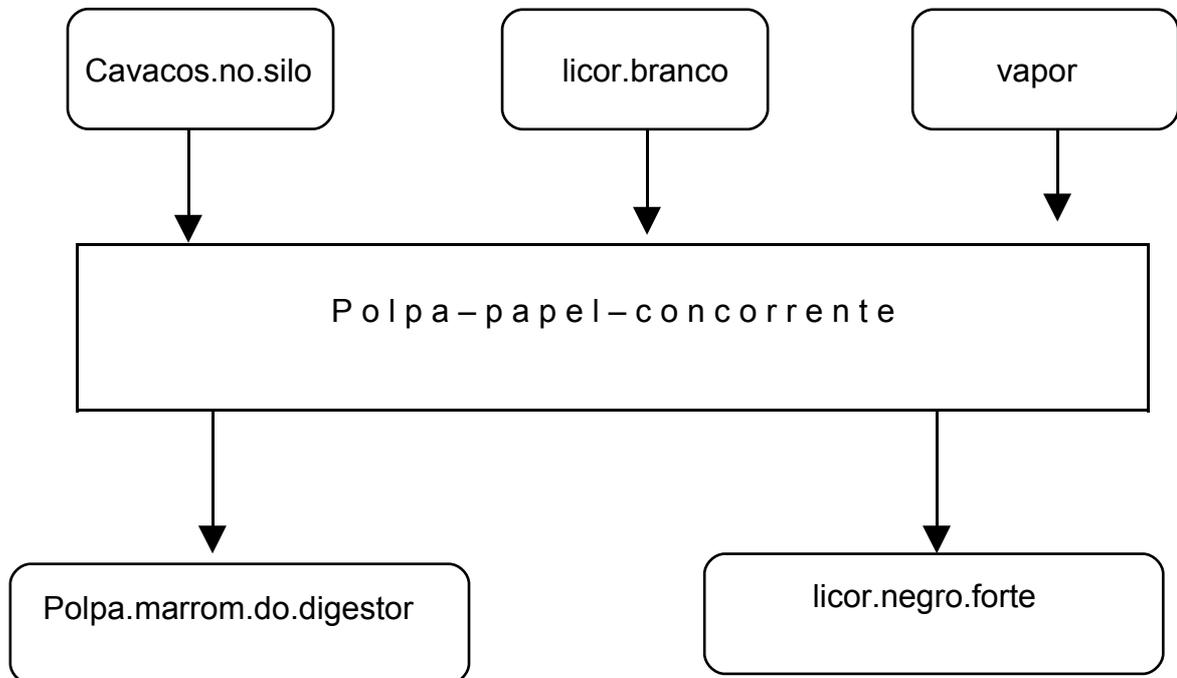


Figura 9.4 Rede para a transformação polpa-papel-concorrente

2- A descrição inicial pode ser refinada incluindo-se um maior número de etapas do processo que corresponde a definir novas transformações. Cabe observar que os produtos de entrada e saída do processo global continuam os mesmos.

*****.

*DESCRIÇÃO PROCESSO POLPA-PAPEL-CONCORRENTE

*****.

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS

*-----

Produtos->papel-concorrente

*-----

Cavacos.no.silo;

Licor.branco;

Vapor;

*-----

Produtos->Alimentação.de.cavacos

*-----

Licor.branco.ao.topo;

Licor.negro.ao.topo;

Cavacos.impregnados;

*-----

Produtos->Reação.inicial

*-----

Vapor.ao.topo;

Polpa.cdi;

*-----

Produtos->Cozimento

*-----

Licor.branco.para.cdi;

Vapor.ao.cozimento;

Polpa.cozida.para.lavagem;

*Produtos->Lavagem

Licor.de.lavagem;
 Polpa.lavada;
 Licor.negro.fraco;

*-----

*Produtos->Descarga

*-----

Licor.de.diluição;
 Polpa.marrom.do.digestor;
 Licor.negro.forte;

FIM DESCRIÇÃO.

DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES

*****.

*DETALHAMENTO DA TRANSFORMAÇÃO POLPA-PAPEL-CONCORRENTE

*****.

Alimentação.de.cavacos (cavacos.no.silo, licor.branco.ao.topo,
 licor.negro.ao.topo) = cavacos.impregnados

Reação.inicial (cavacos.impregnados,vapor.ao.topo) = polpa.cdi

Cozimento(polpa.cdi,licor.branco.para.cdi,vapor.ao.cozimento)=
 polpa.cozida.para.lavagem

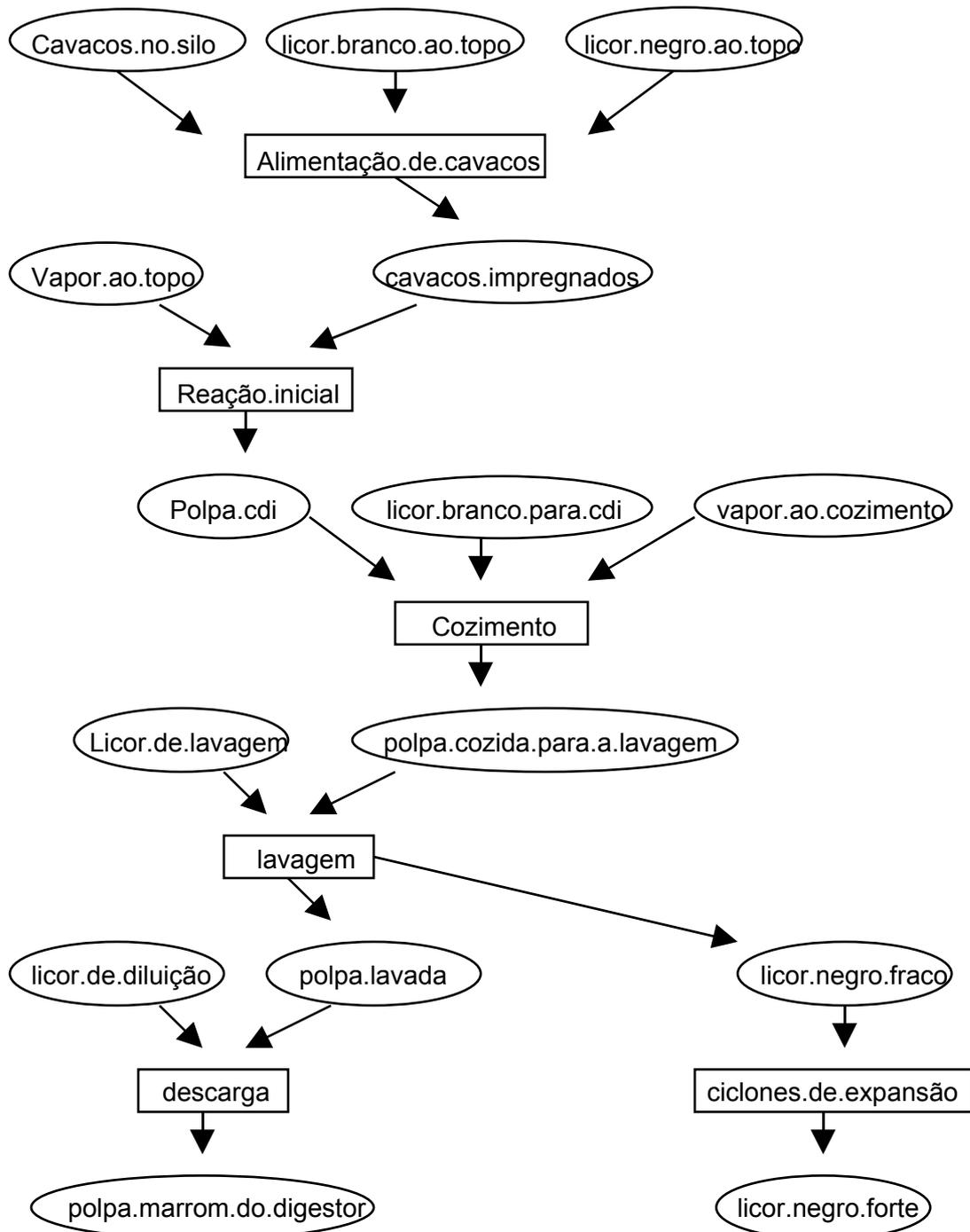
Lavagem(polpa.cozida.para.lavagem,licor.de.lavagem)=
 polpa.lavada,licor.preto.fraco

Descarga (polpa.lavada, licor.de.diluição) =
 polpa.marrom.do.digestor

Ciclones.de.expansão (licor.preto.fraco) = licor.preto.forte

FIM DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES.

A rede de transformações corresponde a descrição do item 2 e apresenta abaixo.



3- Finalmente pode-se fazer uma descrição incluindo mais transformação e também os atributos dos produtos e dos equipamentos.

```
*****
* DESCRIÇÃO PROCESSO POLPA-PAPEL-CONCORRENTE
* AUTOR: Kelber de Souza Albeche
* ARQUIVO: Decri.tex (ws)
* DATA: janeiro - 1986
* VERSÃO: 2
* OBJETIVO: apresentar uma descrição do processo digestor contínuo
* através de uma linguagem que represente o conceito de sistema
* transformacional.
*****
```

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS

*-----

Produtos->polpa-papel-corrente

*-----

Cavacos.no.silo:

Composição;

Grau.de.compactação;

Umidade;

Licor.branco:

Concentração;

Vapor:

Polpa.marrom.do.digestor:

Num.Kappa;

Viscosidade;

S5;

Consistência;

Fluxo.

Produtos->Alimentação.de.cavacos

Licor.branco.ao.topo:

Fluxo;

Concentração;

Cavacos.ao.alimentador.de.baixa:

Quantidade.

Cavacos.no.vaso.de.pré.tratamento:

Cavacos.tratados.com.vapor:
 Cavacos.ao.alimentador.de.alta:
 Cavacos.na.circulação.de.topo:
 Licor.de.transporte:
 Licor.do.tanque.de.nível:
 Cavacos.e.licor.ao.separador.de.topo:
 Concentração do licor;
 pH.do.licor;
 Relação.licor.madeira.
 Licor.transbordado.ao.digestor:
 Licor.de.fica.na.circulação.de.topo:
 Licor.de.transporte:
 Licor.negro.ao.topo:
 Fluxo.
 Cavacos.impregnados:
 Grau.de.impregnação.

 Produtos->Reação.inicial

Vapor.ao.topo:
 Fluxo;
 Entalpia.

 Produtos->Cozimento

Licor.em.cdi:
 Polpa.em.cdi:
 Num.Kappa.
 Licor.extraído.em.cdi:
 Álcali.residual.
 Licor.branco.para.cdi:
 Álcali.residual.
 Licor.de.circulação:
 Fluxo;
 Temperatura.
 Licor.de.circulação.aquecido:
 Fluxo;
 Temperatura.
 Polpa.para.cozimento:

FatorH.no.topo;
Fator Q;
Carga.alcalina.no.topo.
Polpa.em.cozimento:
FatorH;
Carga.alcalina.no.cozimento.
Polpa.cozida.para.lavagem:
Licor.negro.forte:
Fluxo;
Porcentagem.de.sólidos.
Vapor.dos.ciclones:
Vapor.ao.cozimento:
Fluxo.
Polpa.cozida.para.lavagem:

Produtos->Lavagem

Licor.de.lavagem:
Fluxo.
Polpa.cozida.para.lavagem:
Polpa.lavada:
Fator.de.lavagem.
Licor.negro.fraco:

Produtos->Descarga

Licor.de.diluição:
Fluxo;
Fator.de.diluição.

FIM DESCRIÇÃO

DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES

*****.

* DETALHAMENTO DA TRANSFORMAÇÃO POLPA-PAPEL-CONCORRENTE

*****.

*-----

*Alimentação.de.cavacos

*-----

Medidor.de.cavacos (cavacos.no.silo) = cavacos.ao.alimentador.de.baixa

EQUIPAMENTO = medidor.de.cavacos:

Volume;

Velocidade.

FIM

Alimentador.de.baixa (cavacos.ao.alimentador.de.baixa) =
cavacos.no.vaso.de.tratamento

EQUIPAMENTO = alimentador.de.baixa:

Volume;

Velocidade;

Relação.alim.baixa.medidor.

FIM

Vaso.de.pré.tratamento
(cavacos.no.vaso.de.pré.tratamento,vapor.dos.ciclones) =
cavacos.tratados.com.vapor

Funil.de.cavacos (cavacos.tratados.com.vapor) =
cavacos.ao.alimentador.de.alta

EQUIPAMENTO = funil.de.cavacos:

Nível.

FIM

Alimentador.de.alta (cavacos.ao.alimentador.de.alta) =
cavacos.na.circulação.de.topo

EQUIPAMENTO = alimentador.de.alta:

Volume;

Velocidade;

Relação.alim.alta.medidor.

FIM

Circulação.de.topo (cavacos.na.circulação.de.topo, licor.de.transporte,
licor.do.tanque.de.nível) = cavacos.e.licor.ao.separador.de.topo

EQUIPAMENTO = circulação.de.topo:

Fluxo.

FIM

Tanque.de.nível (licor.branco.ao.topo, licor.negro.ao.topo) =
licor.tanque.de.nível

EQUIPAMENTO = tanque.de.nível

Nível.

FIM

Separador.de.topo (cavacos.e.licor.ao.separador.de.topo) =
cavacos.ao.topo.do.digestor, licor.transbordado.ao.digestor,
licor.que.fica.na.circulação.de.topo

EQUIPAMENTO = separador.de.topo:

Nível;

Velocidade.

FIM

Bomba.circulação.c4 (licor.que.fica.na.circulação.de.topo) =
licor.de.transporte

*-----

*Reação Inicial

*-----

Reação.inicial (cavacos.impregnados, vapor.ao.topo) = polpa.cdi

*-----

*Cozimento

*-----

Peneira.de.extração.cdi (polpa.cdi, licor.em.cdi) = polpa.em.cdi,
licor.extraído.em.cdi

Circulação.cdi (licor.extraído.em.cdi, licor.branco.para.cdi) =
licor.de.circulação

Trocador.de.calor 9licor.de.circulação) = licor.de.circulação.aquecido

Peneira. De.circulação.cdi (licor.de.circulação.aquecido, polpa.em.cdi) =
polpa.para.cozimento

Cozimento (polpa.para.cozimento) = polpa.em.cozimento

EQUIPAMENTO = zona.de.cozimento.do.digestor:

Volume.

FIM

Peneira.de.extração.cd2 (polpa.em.cozimento, licor.da.zona.de.lavagem) =
polpa.negro.forte, vapor.dos.ciclones

Lavagem

Lavagem (licor.de.lavagem, polpa.cozida.na.zona.de.lavagem) =
polpa.lavada, licor.da.zona.de.lavagem

*-----

*Descarga

*-----

Descarga (polpa.lavada, licor.de.diluição) = polpa.marrom.do.digestor

FIM TRANSFORMAÇÕES.

REFERÊNCIAS

ALBECHE, Kelber de Souza. **Automação de Processos na indústria de celulose**. In: CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 1º, São Paulo: Sucesu, 1983. V2.

CAUWENBERG, A. Van. **Instrumentation ad automation in paper: rubber, plastic and polimerisation industries**. In: IFAC CONFERENCE ON INSTRUMENTATION AND AUTOMATION IN THE PAPER, RUBER, PLASTICS AN POLYHERISATION INDUSTRIES. V. 4, Ghent, BE. Proceedings... Oxford Pergamon, 1980.

FADUM, O-K. **A Structured Approach to Mill Wide Automation**. Tappi Journal, Atlanta,sept, 1985 p.10 - 11.

PRESSMAN, Roger S. **Software Engineering: a prachitioner's approach**. Auckland, Mac Graw Hill.1982.352p.

SHOOMAN, Martin L. **Software Engineering: design, reliability and management**. Auckland, Mac Graw Hill. 1983. 683p.

SOMERVILLE, I. (1982). *Software Engineering*. London, Addison – Wesley. 1982. 290p.

TELICHEVISKY, Rejane Goldstein; WALTER, Claudio. *Um formalismo informativo para especificação de processos de fabricação*. In: **CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 1º**, São Paulo: Sucesu, 1983. V1, p186-191.

URONEN, P. Et alli . *Benefits and results of computer control in pulp and paper industry*. Helsink, Oulo University.1983.

WALTER, Claudio. **Manufacturing Process Control Specification with functional automated manufacturing**, Philadelfia, ASTM SPT 862.1985.