

**Balancos energéticos para uma fábrica de celulose e papel -
substituição de óleo combustível com engenharia especializada**

MFN -0769

N CHAMADA:

TITULO: Balancos energéticos para uma fábrica de celulose e
papel - substituição de óleo combustível com engenharia especializada

AUTOR(ES): STEFANGO, D.G.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO:

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 15

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 22-26.11.1982

IMPRESSA: Sao Paulo, 1982, ABTCP

PAG/VOLUME: p.403-419, v.2

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 15, 1982, São Paulo, v.2,
p.403-419

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR:

RESUMO:

BALANÇOS ENERGÉTICOS PARA UMA FÁBRICA DE CELULOSE E PAPEL -
SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL COM ENGENHARIA ESPECIALIZADA

DENIS G. STEFANGO

Jaakko Pöyry Engenharia Ltda., São Paulo, Brasil



Introdução

Há cerca de uma década que o mundo está vivendo uma crise energética. Com certo atraso, esta crise chegou ao Brasil. A ênfase quase sempre foi na substituição de óleo combustível por um combustível alternativo - casca, resíduos florestais, biomassa, carvão mineral, energia elétrica, turfa, etanol, etc. No setor de papel e celulose, muitas fábricas instalaram, ou estão instalando, novas caldeiras que usam um ou mais destes combustíveis alternativos. Em muitos casos, esta decisão não levou em consideração melhorias no balanço energético da fábrica, antes da definição da capacidade da nova caldeira. Em termos gerais, o consumo específico de calor nas fábricas brasileiras é alto. Existe tecnologia que permite reduções significativas nestes consumos. Um programa de substituição de óleo combustível junto com uma análise profunda dos processos usados na fábrica, pode trazer mais benefícios para a fábrica. Com uma redução no consumo de calor é possível não só reduzir o custo energético, mas também reduzir a capacidade e o investimento na nova caldeira de força. A redução no nível de investimento deixará mais capital disponível para investir em melhorias operacionais.

Muitas decisões de investimentos são feitas baseadas na disponibilidade e custo dos combustíveis alternativos da época. Com os acréscimos nas demandas de combustíveis alternativos, aumentos nos custos de produção, escassez e, em alguns casos, reduções nos subsídios governamentais, o custo energético na produção de papel e celulose tende a aumentar a longo prazo. Aquelas fábricas que reduzem o consumo específico de calor, vão ter melhores condições de competir no mercado.

Neste trabalho, mostramos brevemente uma metodologia para: primeiro, identificar e classificar melhorias nos vários processos que englobam uma fábrica integrada de papel; segundo, calcular o efeito no balanço e no consumo energético da fábrica. Não será tratada aqui a terceira etapa que é quantificar os investimentos necessários e a taxa de retorno

Trabalho apresentado no XV Congresso Anual da ABCP - Semana do Papel - em São Paulo - Brasil - de 22 a 26 de novembro de 1982.

do capital da empresa. Esta conclusão depende de fatores muito variáveis e cada empresa deve analisar dentro de critérios próprios.

Usamos como modelo uma fábrica integrada de papel branqueado, de processo kraft, com uma capacidade de 500 T/D. Uma fábrica integrada de papel é um conjunto de cerca de vinte departamentos principais. Estes departamentos são interligados entre si de maneira, às vezes, muito complexa. O produto de um departamento é o insumo do outro. A água introduzida na lavagem de celulose escura deve ser evaporada no sistema de evaporação. O condensado recuperado é, em parte, devolvido à lavagem e a outra parte para o departamento de caustificação. Os componentes da madeira dissolvidos no processo de cozimento vão, principalmente, para a recuperação, mas também há as perdas na lavagem que passam para frente com a celulose. Muitos departamentos têm fluxos de recirculação internos e/ou que retornam para um outro departamento. Acima de tudo isto, existe uma matriz de utilidades que fornece vapor (calor), energia elétrica, água de processo e de resfriamento, águas mornas e quentes e retorno de condensados para as caldeiras.

Para caracterizar uma fábrica é necessário definir para cada departamento a capacidade, o rendimento, as qualidades dos insumos, produtos e sub-produtos, e outros parâmetros de processo. A partir destes, podem ser definidos os balanços gerais da fábrica para fibras, químicos, águas, calor, energia elétrica, etc. Devemos salientar que quase qualquer mudança em um ou mais parâmetros de processo implica em sensíveis variações no desempenho de vários outros departamentos. Por exemplo, com um melhor fechamento dos circuitos de água de processo, além do óbvio efeito no consumo de água fresca e na quantidade e qualidade do efluente aquoso, é comum observar reduções significativas nas perdas de químicos para o cozimento, consumo de calor e consumo de energia elétrica.

É errado, quando se está considerando alternativas para reduzir o consumo energético da fábrica, analisar-se somente um departamento isoladamente. Muitas vezes, um melhoramento feito em um departamento pode ter um efeito negativo em um ou mais dos outros departamentos. Uma fábrica, mesmo com um nível de instrumentação muito alto, não pode ser considerada como um experimento feito em laboratório. Muitas vezes o efeito obtido quando se muda um parâmetro de processo é mascarado ou intensificado devido a mudança de outros parâmetros não controláveis, o longo tempo necessário para a fábrica chegar ao novo equilíbrio, etc.

Porém, com a metodologia da engenharia é possível definir modelos matemáticos dos processos que permitem uma boa análise e/ou aproximação destes efeitos. Isto ajudaria a evitar conclusões errôneas e investimentos que prejudicariam a empresa. Para facilitar em parte a análise dos balanços da fábrica, a Jaakko Pöyry Engenharia Ltda. desenvolveu um programa de computador chamado "Heat Balance". Este programa permite o cálculo rápido e de maneira consistente, do balanço

de calor, fluxos de vapor, condensado e reposição de água, em talpias e geração de energia elétrica. Os resultados expostos neste trabalho são baseados no uso deste programa de computador. Um segundo objetivo deste trabalho é mostrar a capacidade e as limitações deste programa de computador.

Identificação e Classificação das Melhorias

Antes de identificar e classificar as melhorias a serem estudadas, a empresa deve definir algumas premissas básicas. Normalmente estas são englobadas em um plano master da empresa, que define para um prazo longo os seguintes critérios:

- Capacidade máxima futura da fábrica
- Produto(s) e qualidade(s) (estudo de mercado)
- Matéria-prima e disponibilidade
- Vida útil dos equipamentos principais
- Limites eventuais para água, energia elétrica, emissões ambientais, terreno, etc.
- Cronograma previsto

Com estes critérios bem definidos, a empresa pode definir soluções e investimentos que não só atenderão às necessidades de hoje, mas também as do futuro. Assim, por exemplo, pode-se decidir se novos equipamentos devem ser projetados com capacidade ociosa ou com sobrecarga inicial até uma próxima etapa, ou só com reserva de espaço para capacidade futura.

Classificamos as melhorias em três categorias, ou seja:

1. Melhoramentos operacionais
2. Investimentos a médio prazo
3. Investimentos a longo prazo

A categoria 1 inclui itens que podem ser implementados a curto prazo (um dia a três meses) e com o custo baixo ou nulo. Os resultados são atingidos através de treinamento de pessoal; programação de produção; operação mais estável; otimização baseada em testes controlados de itens como o programa de sopragem das caldeiras, lavagem dos evaporadores, etc.; calibração dos instrumentos; coleta de dados e emissão de relatórios que permitem uma análise crítica e construtiva da operação em tempo hábil; etc. Enfim, estes resultados se realizam, em grande parte, quando a equipe da fábrica resolve "operar a fábrica da maneira que foi projetada".

A categoria 2 inclui os itens que podem ser implementados a médio prazo (quatro meses a um ano) e com um investimento moderado. Aqui inclui-se itens como mais um estágio de lavagem, melhorias no sistema de calor secundário, aumento do retorno de condensado, eliminar gargalos na produção, etc.

A categoria 3 consiste dos itens de grande investimento e que requerem um longo prazo (um a dois anos) para implementação. Alguns exemplos são: reforma extensiva da máquina de papel, converter a caldeira de recuperação de tipo convencional (cascata) para tipo baixo odor, adicionar mais um efeito ao sistema de evaporação, etc.

Além do critério de prazo e nível de investimento, cada melhoramento e grupo de melhoramentos devem ser classificados com base na taxa de retorno e no tempo máximo para implementação, se for o caso. Com estes dados, o empresário pode definir um programa final dentro dos limites do plano master e das condições financeiras da empresa.

Como exemplo, definimos quatro casos para analisar. Estes casos e as suas melhorias estão indicados na Tabela Nº 1. Aqui estamos considerando melhorias do ponto de vista energético. Excluimos os efeitos diretos ou colaterais nos consumos de químicos, matéria-prima, aumento de produção e qualidade do produto. Estes efeitos também são importantes e devem ser considerados na análise final. Consideramos que já foi feita uma pré-seleção de melhorias, seguindo a mesma metodologia exposta neste trabalho. Agora queremos ver os resultados do conjunto de melhorias selecionado. Esta é uma fase importante porque, em muitos casos, o efeito de um conjunto de melhorias não será a soma dos efeitos individuais.

Parâmetros de Operação da Fábrica

Antes de fazer o balanço de calor da fábrica, devem ser definidos os novos parâmetros processuais de operação. Com estes parâmetros, os novos balanços de fibra, químicos, sólidos, água, etc., para a fábrica são feitos e/ou aproximados, dependendo da influência que podem ter no resultado do balanço de calor. Aqui entra a experiência dos engenheiros especializados para definir o grau de precisão necessário para obter resultados confiáveis e coerentes com os possíveis benefícios monetários.

Não é objetivo deste trabalho mostrar estes balanços detalhados de fibra, químicos, etc. Porém, na Tabela Nº 2 mostramos alguns parâmetros de operação que caracterizam cada caso a ser analisado. Alguns destes parâmetros são premissas do caso, por ex., rendimento e carga alcalina, e outros são os resultados dos balanços mássicos, por ex., teor de sólidos e concentração de lixívia fraca.

Em todos os casos mantemos como base uma produção líquida da máquina de papel de 500 T/D. Os principais parâmetros processuais que variamos entre um caso e outro e que têm um impacto significativo no balanço energético são:

- Reduzir a produção bruta da máquina de papel
- Reduzir as perdas de fibra no branqueamento e na depuração
- Aumentar o rendimento do digestor e reduzir a carga alcalina
- Reduzir o fator de diluição na lavagem de celulose escura
- Aumentar a eficiência da caustificação e redução de sulfato na caldeira de recuperação
- Concentração de lixívia preta para a caldeira de recuperação

Consumo de Energia do Processo

Para calcular o balanço energético global da fábrica é necessário definir primeiro os consumos de calor e energia elétrica dos vários departamentos de processo. Com os balanços mássicos e mais as temperaturas, entalpias e características físicas, o balanço de calor é feito para cada departamento. Com estes balanços fixamos o consumo de calor e os fluxos

TABELA N.º 1

CASOS ANALISADOS

CASO A - OPERAÇÃO ATUAL

- FÁBRICA INTEGRADA DE PAPEL BRANQUEADO
- COZIMENTO CONTÍNUO, BRANQUEAMENTO, MÁQUINA DE PAPEL DE 500 T/D
- RECUPERAÇÃO CONVENCIONAL, EVAPORADOR DE CINCO EFEITOS
- OPERAÇÃO FORA DOS PARÂMETROS DO PROJETO
- PRODUÇÃO IRREGULAR DOS DEPARTAMENTOS

CASO B - MELHORAMENTOS OPERACIONAIS

- REDUZIR O CONSUMO DE ÁGUA COM REAPROVEITAMENTO DAS ÁGUAS DA MÁQUINA E DO BRANQUEAMENTO, CONDENSADOS E ÁGUA MORNIA
- MINIMIZAR VAPOR PARA SOPRAGEM DE FULIGEM
- AUMENTAR AS EFICIÊNCIAS DA CAUSTIFICAÇÃO E REDUÇÃO DE SULFATO
- AUMENTAR RENDIMENTO DO DIGESTOR E TEMPERATURAS DA LIXÍVIA BRANCA E ÁGUA DE LAVAGEM DE CELULOSE E REDUZIR A ÁGUA DE LAVAGEM
- OTIMIZAR O PROGRAMA DE LAVAGEM DOS EVAPORADORES
- ATRAVÉS DE TREINAMENTO DOS OPERADORES E MELHORIAS NA MANUTENÇÃO, REDUZIR AS HORAS PERDIDAS DE PRODUÇÃO E MANTER A OPERAÇÃO MAIS ESTÁVEL
- REDUZIR O EXCESSO DE AR NAS CALDEIRAS

CASO C - INVESTIMENTOS A MÉDIO PRAZO

- MELHORIAS NO SISTEMA DE CALOR SECUNDÁRIO QUE ELIMINA O USO DE VAPOR VIVO PARA GERAR ÁGUA QUENTE
- MELHORIAS NO ISOLAMENTO DOS EQUIPAMENTOS, TANQUES, ETC.
- MELHORIAS NA RECUPERAÇÃO DOS CONDENSADOS
- MELHORIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DE REPOSIÇÃO DAS CALDEIRAS
- INSTALAR MAIS UM ESTÁGIO DE LAVAGEM PARA REDUZIR O FATOR DE DILUIÇÃO

CASO D - INVESTIMENTOS A LONGO PRAZO

- MODIFICAÇÕES NAS PRENSAS DA MÁQUINA PARA AUMENTAR A CONSISTÊNCIA ENTRANDO NA BATERIA DE SECAGEM
- INSTALAR CAPOTA FECHADA NA MÁQUINA DE PAPEL COM RECUPERAÇÃO DE CALOR
- MODIFICAR A CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO DE TIPO CONVENCIONAL (CASCATA) PARA TIPO BAIXO ODOR (ECONOMIZADOR)
- ADICIONAR NA EVAPORAÇÃO UM SEXTO EFEITO E CONCENTRADORES

NOTA: Combustível para o forno de cal excluído.

O cloro, o clorato e a soda cáustica são comprados.

TABELA Nº 2
PARÂMETROS DE OPERAÇÃO

ITEM	CASO				
	A	B	C	D	
1. PRODUÇÃO					
- CELULOSE NÃO BRANQUEADA	ADT/D	579	555	555	555
- CELULOSE BRANQUEADA	ADTB/D	517	517	517	517
- PAPEL, BRUTO	T/D	550	530	530	515
, LÍQUIDO	T/D	500	500	500	500
2. RENDIMENTO					
- COZIMENTO	%	50,0	51	51	51
- DEPURAÇÃO, ETC.	%	97	99	99	99
- BRANQUEAMENTO	%	92	94	94	94
- TOTAL	%	44,6	47,5	47,5	47,5
3. MADEIRA					
	BDT/D	1 042	979	979	979
4. RECUPERAÇÃO					
- SULFIDEZ	%	30	30	30	30
- EFICIÊNCIA NA CAUSTIFICAÇÃO	%	78	82	82	82
- REDUÇÃO DE SULFATO	%	87	90	90	90
- SÓLIDOS SECOS					
. TEOR	KGSS/ADT	1 344	1 267	1 267	1 267
. PERDAS (COZIM. E LAVAGEM)	KGSS/ADT	36	34	34	34
. P/RECUPERAÇÃO	KGSS/ADT	1 308	1 233	1 233	1 233
	TSS/D	757	684	684	684
. PCS	KCAL/KGSS	3 330	3 400	3 400	3 400
. CALOR EFETIVO	KCAL/KGSS	1 841	1 921	1 921	2 251
- LIXÍVIA PRETA					
. FATOR DE DILUIÇÃO	T/ADT	2,8	2,5	1,5	1,5
. FLUXO DE LAVAGEM	T/ADT	8,62	7,89	7,03	7,03
. FRACA	% ST	15,2	15,6	17,5	17,5
. FORTE	% ST	48	48	48	64
- LICOR BRANCO					
. AA	G NaOH/L	130	130	130	130
. AT	G NaOH/L	161,5	154,2	154,2	154,2
. CARGA AA	% NaOH/BDT	18,5	18,0	18,0	18,0
. CONSUMO	m ³ /D	1 483	1 356	1 356	1 356

de vapor e retorno de condensado. Os resultados estão tabelados conforme indicado na Tabela Nº 3. Neste exemplo, mostramos os valores para o Caso C - Investimentos a Médio Prazo. Para cada nível de pressão de vapor são somados os consumos de calor e vapor e retorno de condensado.

Na Tabela Nº 4 estão apresentados os consumos específicos totais e por departamento em todos os Casos, de A a D. O consumo específico total por tonelada de papel é 5 343 Mcal/T no Caso A e chega a 3 095 Mcal/T no Caso D. Isto representa uma redução de mais de 40% no consumo de calor de processo. O consumo de calor obtido no Caso D pode ser considerado como representativo de uma fábrica moderna projetada com tecnologia da década de 70.

Em nosso exemplo consideramos que a fábrica tem 2 turbinas de extração e contrapressão operando em paralelo com a rede externa. Assim, é necessário quantificar a demanda de energia elétrica antes de fazer o balanço de calor da fábrica. Baseado nos conceitos processuais, dados de operação, se houver, e na definição das melhorias a serem consideradas, a demanda de energia elétrica por departamento é quantificada. Na Tabela Nº 5 mostramos o resumo da demanda específica de energia elétrica por departamento e o total da fábrica. O consumo de energia elétrica para o Caso B é menor do que para o Caso A devido as melhorias operacionais. Porém, os consumos de energia elétrica para os Casos C e D vão aumentar ligeiramente devido a instalação de novos equipamentos e/ou soluções mais sofisticadas.

Programa do Computador "HEAT BALANCE"

A primeira etapa para executar um balanço de calor da fábrica é definir, em forma de fluxograma simplificado, o sistema de distribuição de vapor, água de alimentação e retorno de condensado. A Figura Nº 1 mostra este fluxograma válido para nosso exemplo. O fluxograma deve representar os geradores de calor (caldeiras), consumidores de calor (processo, turbogeradores, turbinas de acionamento), aquecedores, dessuperaquecedores, manifoldes, etc. Para caracterizar este fluxograma no programa de computador "HEAT BALANCE", cada unidade de operação recebe um número consecutivo de ÁREA e um número de TIPO. Este último número identifica a sub-rotina usada para o cálculo. Os insumos e saídas denominados CONEXÕES de cada ÁREA recebem um número consecutivo. Assim, as ÁREAS são interligadas, por ex., ÁREA "0", CONEXÃO "0" (0-0) é ligada a ÁREA "3", CONEXÃO "1" (3-1). O usuário pode designar um nome para qualquer ÁREA e CONEXÃO que facilite a interpretação dos relatórios feitos pelo computador.

Para executar o programa, o usuário deve definir alguns parâmetros adicionais. Estes são os mesmos que devem ser definidos se o cálculo for feito a mão. Os parâmetros que fixamos em nosso caso são:

- Fluxos e entalpias dos consumos de vapor e retornos de condensado para o processo
- Entalpia da água de reposição e da água saindo do tanque de alimentação

TABELA Nº 3

DEMANDA DE CALOR E VAPOR PARA O PROCESSO

CASO: C - INVESTIMENTOS A MÉDIO PRAZO

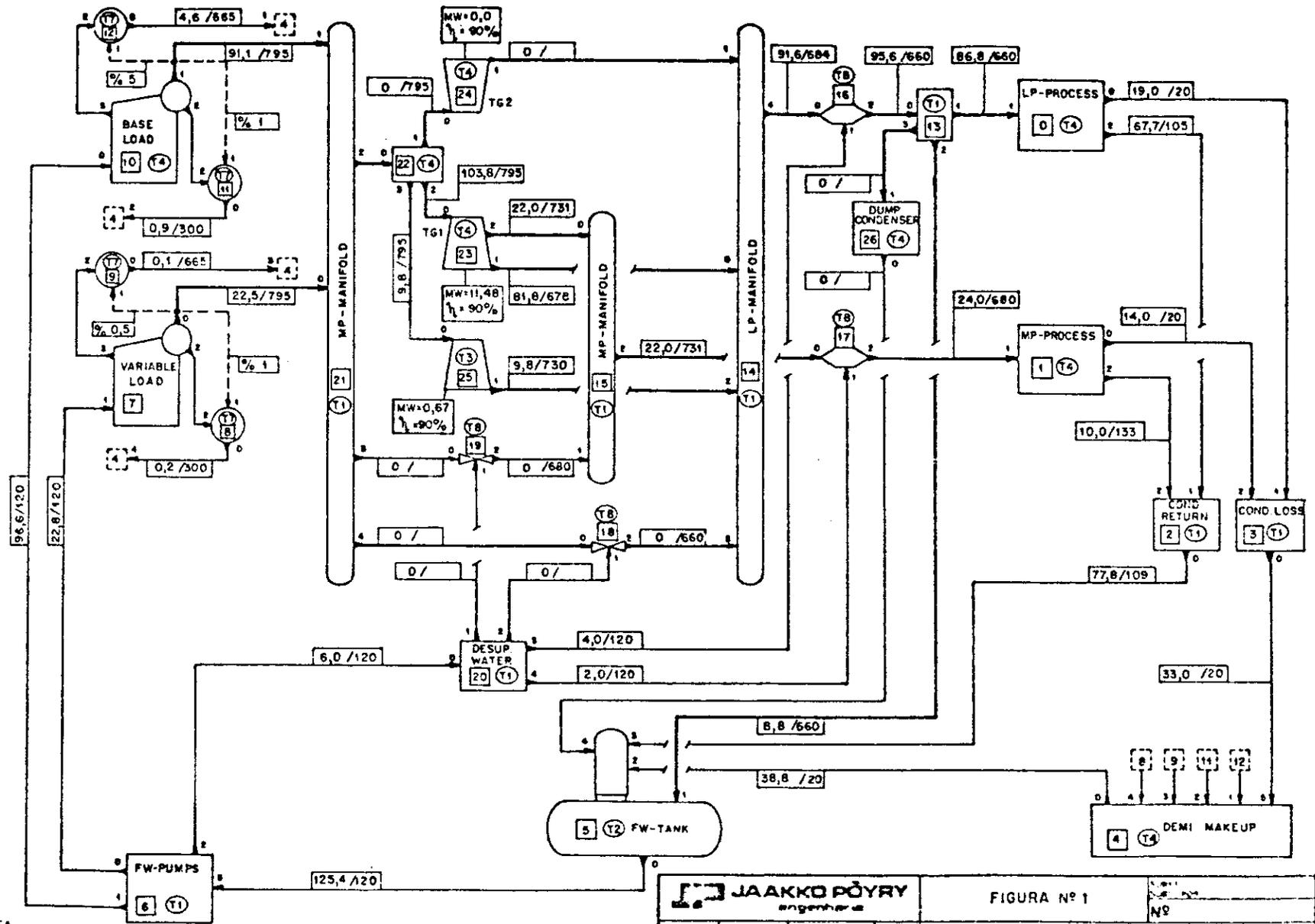
ITEM	DEPARTAMENTO	UNIDADE DE PRODUÇÃO	PRODUÇÃO	VAPOR		TEMPERATURA DE RETORNO DE CONDENSADO (°C)	DIFERENÇA DE ENTALPIA (kcal/kg)	CONSUMO ESPECÍFICO DE CALOR (Mcal/Un. Prod.)	FLUXO LÍQUIDO DE CALOR (Gcal/h)	FLUXO DE VAPOR		RETORNO DE CONDENSADO (t/h)	OBSERVAÇÕES
				PRESSÃO (bar abs)	ENTALPIA (kcal/kg)					MP (t/h)	BP (t/h)		
1.	Cozimento	ADT/D	555	13	680	130	617	450	10,406	16,87	-	6,58	Contínuo
				4	660	(20)	640	70	1,619	-	2,53	-	
2.	Branqueamento	ADTB/D	517	4	660	(20)	640	200	4,308	-	6,73	-	C/DEDED Água quente
				4	660	-	-	-	-	-	-	-	
3.	Prep. Química para o branqueamento	ADTB/D	517	4	660	80	616	150	3,231	-	5,25	2,10	
4.	Máquina de Papel	T/D bruto	530	4	660	95	575	1 437	31,728	-	55,20	48,00	
5.	Evaporação	t H ₂ O/h	109	13	680	(20)	660	6	0,660	1,00	-	-	Ejetores 5 efeitos
				4	660	118	547	130	14,170	-	25,90	24,61	
6.	Caldeira de Recuperação	tss/D	684	13	680	140	584	112	3,180	5,45	-	3,47	
				4	660	120	545	80	2,280	-	4,18	3,97	
7.	Caustificação/Forno de Cal	m ³ /D	1 356	4	660	(20)	640	6	0,320	-	0,50	-	
8.	Miscelânea	T/D líq.	500	13	680	(20)	660	22	0,462	0,70	-	-	
				4	660	(20)	640	92	1,926	-	3,01	-	
SUBTOTALS		T/D líq.	500	13	680	133	613	706	14,718	24,02	-	10,05	
				4	660	103	577	2 860	59,582	-	103,30	78,68	
TOTAL		T/D líq.	500			106		3 566	74,300		127,32	88,73	

TABELA N° 4
CONSUMO DE CALOR DO PROCESSO

DEPARTAMENTO	PRESSÃO DO VAPOR	A		B		C		D	
		PRODUÇÃO	<u>Mcal</u> UNID. PROD.						
1. COZIMENTO	MP	579 ADT/D	602	555 ADT/D	485	555 ADT/D	450	555 ADT/D	450
	BP		80		75		70		70
			682		560		520		520
2. BRANQUEAMENTO ÁGUA QUENTE	BP	517 ADTB/D	300	517 ADTB/D	200	517 ADTB/D	200	517 ADTB/D	200
	BP		400		400		-		
3. PREP. QUÍMICA	BP	517 ADTB/D	156	517 ADTB/D	156	517 ADTB/D	150	517 ADTB/D	150
4. MÁQUINA DE PAPEL	BP	550 T/D BRUTA	1 800	530 T/D BRUTA	1 575	530 T/D BRUTA	1 437	515 T/D BRUTA	1 025
5. EVAPORAÇÃO	MP	150 T H ₂ O/H	4	128 T H ₂ O/H	5	109 T H ₂ O/H	6	125 T H ₂ O/H	5
	BP		140		135		130		115
6. CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO	MP	757 TSS/D	125	684 TSS/D	117	684 TSS/D	112	684 TSS/D	112
	BP		90		85		80		80
7. CAUSTIFICAÇÃO E Forno de Cal	BP	1 483 M ³ /D LIX. BRANCA	16	1 356 M ³ /D LIX. BRANCA	17	1 356 M ³ /D LIX. BRANCA	6	1 356 M ³ /H LIX. BRANCA	6
8. MISCELÂNEA	MP	500 T/D	48	500 T/D	39	500 T/D	22	500 T/D	22
	BP		227		195		92		78
SUBTOTALS	MP	500 T/D	968	500 T/D	769	500 T/D	706	500 T/D	706
	BP		4 375		3 724		2 860		2 389
TOTALS		500 T/D	5 343	500 T/D	4 493	500 T/D	3 566	500 T/D	3 095
% RELATIVO			100		84		67		58

TABELA N° 5
BALANÇO DE ENERGIA ELÉTRICA

DEPARTAMENTO	CASO			
	A (KWH/T)	B (KWH/T)	C (KWH/T)	D (KWH/T)
DEMANDA				
1. MADEIRA, COZIMENTO, DEPURAÇÃO, BRANQ., PREP. DE QUÍMICOS	334	313	323	323
2. RECUPERAÇÃO	81	74	84	94
3. UTILIDADES, MISCE- LÂNEA	153	127	126	125
4. PREP. DE MASSA, MÁ- QUINA DE PAPEL	535	500	500	510
DEMANDA TOTAL	1 103	1 014	1 033	1 052
SUPRIMENTO				
- GERAÇÃO PRÓPRIA	1 025	849	679	551
- COMPRADA	78	165	354	501



LEGENDA

$t/h / Mcol/h$

"N" Nº de ÁREA

"T" Nº de TIPO

		FIGURA Nº 1	
		Nº	
DESENHADO		ESCALA --- Nº 1 Nº 2	BALANÇO DE VAPOR 500 Tpopel/D
VERIFICADO			CASO - D-INVESTIMENTOS A LONGO PRAZO
APROVADO			
AUTORIZADO			

- Geração de vapor na caldeira de recuperação (carga base)
- Entalpias e porcentagens do vapor gerado em cada caldeira, usado para sopragem e descarga
- Entalpias do vapor saindo das caldeiras, das turbinas e dos dessuperaquecedores
- Fluxos ou potência e eficiência das turbinas de carga fixa
- Eficiência das turbinas de carga variável (a ser calculada)

O número de dados necessários a serem fixados é mínimo. O computador leva para frente automaticamente, os valores. Por exemplo, o computador vai pegar a temperatura da água de alimentação dada para o tanque de alimentação e a leva até as bombas, até as caldeiras e para todos os dessuperaquecedores. Se o usuário quer estudar um balanço alternativo com uma nova temperatura de água, é necessário trocar um só número e não, como neste exemplo, em 16 posições. Também, definindo somente as entalpias do vapor gerado, o computador leva este valor (ou a média se forem diferentes) às saídas do manifolde de alta pressão e às entradas das turbinas e válvulas redutoras.

Todos estes dados que caracterizam o sistema de vapor e condensado são registrados em um arquivo que fica armazenado no disco do computador. Para montar pela primeira vez este arquivo, leva-se de 30 a 60 minutos no terminal do computador. De fato, isto não ocorre frequentemente. Temos cerca de dez arquivos permanentes que definem sistemas de complexidade variada. Se um destes não serve para o caso a ser estudado, podemos mandar o computador escrever um arquivo idêntico, mas com o nome diferente. Neste novo arquivo podemos modificar o sistema tirando ou adicionando novas ÁREAS e CONEXÕES e redesignando o TIPO. Deste modo leva-se somente 10 - 15 minutos no terminal para se preparar um novo sistema.

Para executar no computador um novo balanço de calor, basta mudar neste exemplo de 6 - 8 valores dos parâmetros básicos, por ex., fluxo de vapor para o processo, potência das turbinas de acionamento, etc. Isto é rápido e normalmente leva de 5 a 10 minutos no terminal para cada caso a ser estudado.

O programa do computador interage com o usuário. O programa faz perguntas às quais o usuário deve dar respostas. Assim, é fácil para o novo pessoal usar e não precisa nenhum conhecimento do funcionamento interno do computador.

O cálculo do balanço é iterativo. O teste de convergência é feito numa interconexão designada pelo usuário. Normalmente usa-se o valor de vapor gerado na caldeira de força (carga variável) comparado com a demanda de vapor requerida no manifolde de alta pressão. O número de iterações requerido depende da complexidade do sistema, mas normalmente varia entre 10 - 18 iterações.

O programa tem capacidade para até 30 ÁREAS ou unidades de operação. Cada ÁREA pode ter até 10 CONEXÕES. O usuário pode escolher o sistema de unidades a ser usado entre inglês, métrico ou sistema internacional. A limitação princí

pal do programa é que o usuário deve definir as entalpias nas saídas das turbinas. Quando estes valores dependem da carga que é calculada pelo computador, o usuário deve chutar uma carga e o valor correspondente da entalpia. Se a carga da turbina calculada pelo computador não é semelhante a carga estimada, o usuário deve re-estimar a entalpia e executar o programa de novo. Normalmente, com duas execuções, chega-se à precisão necessária. No futuro esperamos incorporar uma rotina ao programa para fazer este ajuste internamente.

Os resultados do cálculo do balanço de calor podem ser apresentados em relatórios variados, através da impressora do computador. O usuário pode pedir uma cópia completa do arquivo de resultados onde todos os fluxos, entalpias, consumos ou geração de calor, etc., são dados. Também pode imprimir um balanço de calor em forma de tabela, onde o computador lista o número e o nome de todas as ÁREAS que consomem e geram calor e inclui o fluxo de calor e totais. Uma terceira opção é um arquivo abreviado onde o usuário pode escolher as ÁREAS a serem listadas. Esta forma condensada (ver Figura Nº 2) é utilizada para incluir em relatórios e/ou para fins comparativos entre vários casos.

Balanço de Calor da Fábrica

Baseado nos parâmetros e premissas expostos acima, é executado no computador o cálculo do balanço de calor para os quatro Casos. As Figuras Nºs 1 e 2 já citadas, mostram como exemplo, os resultados para o Caso D.

Em todos os Casos, a geração de energia elétrica com as turbinas de contrapressão é insuficiente para suprir a demanda total de energia elétrica da fábrica. A Tabela Nº 5, já citada, mostra o suprimento de energia elétrica através dos turbogeradores e a parcela comprada. Para o Caso A, a energia elétrica comprada é 7% do total. Com as melhorias, a demanda de vapor do processo vai diminuindo, reduzindo também a quantidade de energia elétrica de contrapressão gerada. Este déficit de energia elétrica comprada cresce até 48% no Caso D. Em parte, este aumento na energia elétrica comprada é compensado por uma redução no calor gerado na caldeira de força e na demanda consequente de combustível.

O consumo específico de calor total (excluindo o forno de cal) está representado graficamente na Figura Nº 3. O consumo de calor total em Mcal/T de papel é 6 670, 5 533, / 4 390 e 3 813 para os Casos A, B, C e D, respectivamente. O consumo de calor total para o Caso D é 43% menor do que para o Caso A. A maioria desta redução é devida as melhorias no consumo de calor do processo. Como consequência destas reduções do processo, observam-se também reduções no calor consumido para geração de energia elétrica de contrapressão e energia mecânica através de turbinas de acionamento.

A geração deste calor é obtida da caldeira de recuperação onde se queima o licor preto e, a parte restante, da caldeira de força. A Figura Nº 4 mostra em forma de gráfico a contribuição de calor de cada caldeira. A geração específica de calor na caldeira de recuperação nos Casos B e C é menor



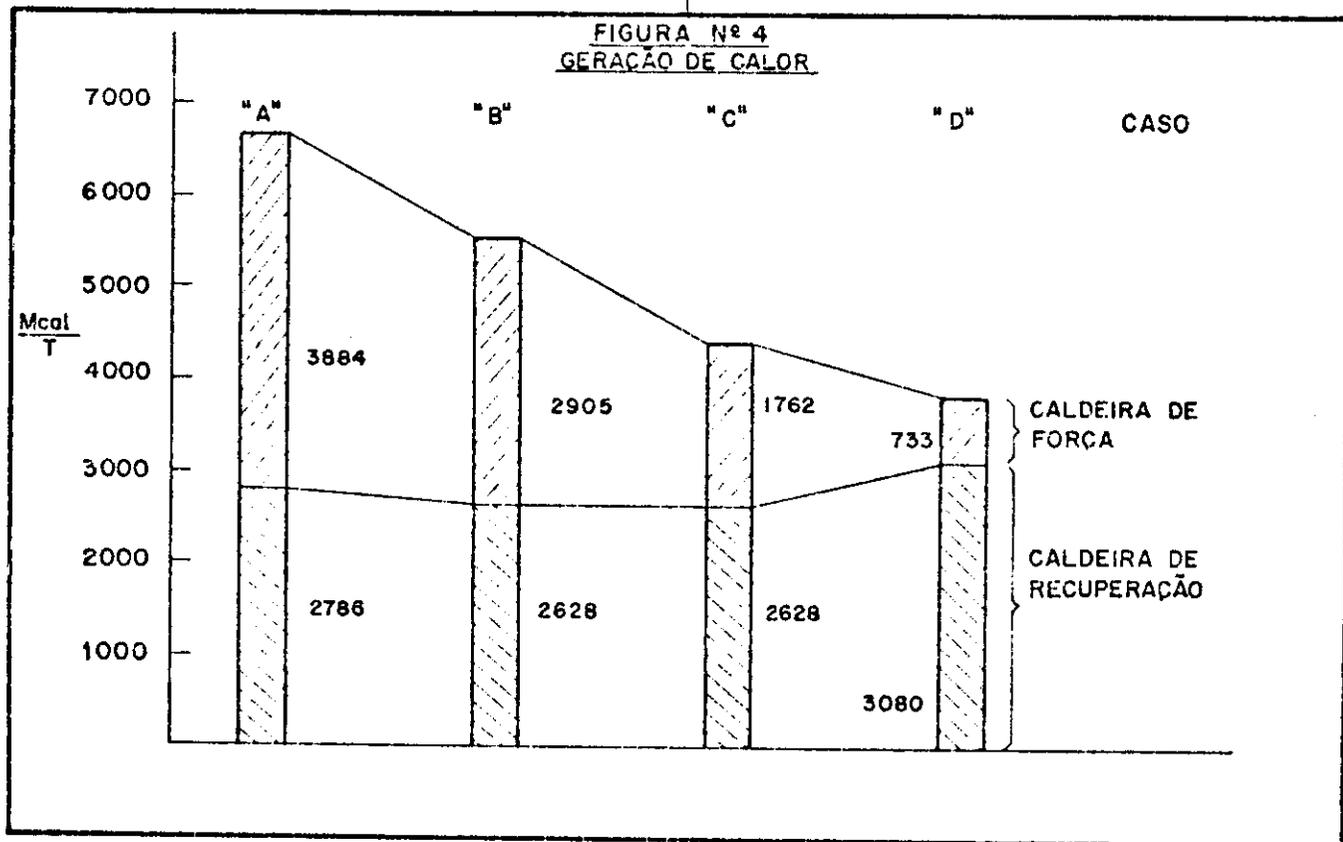
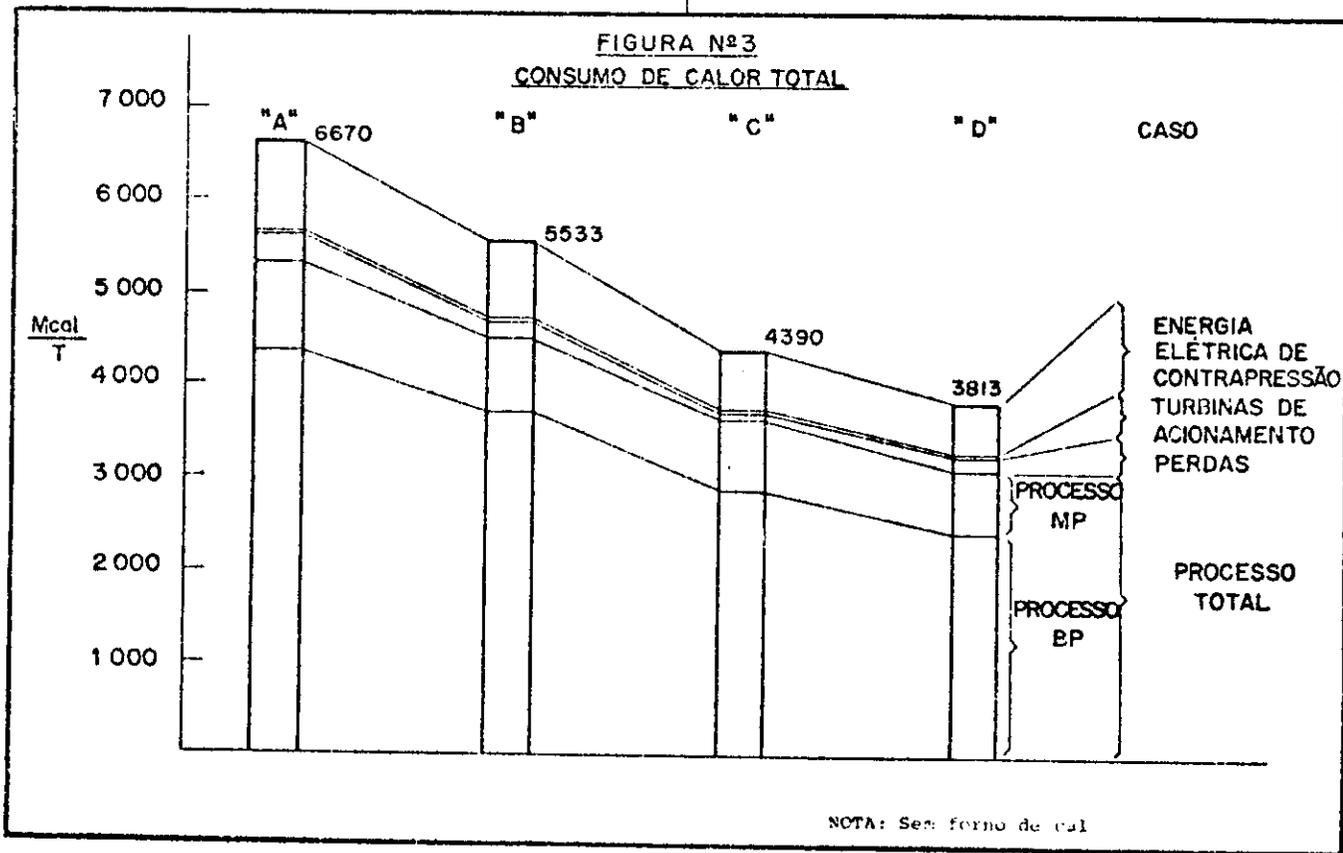
FIGURA Nº 2
ARQUIVO ABREVIADO DOS RESULTADOS

Project number: 9000
Identification: CASE D

Source file name: ABCPSID

Result file name: ABCPRFD

Unit	Flow connection	Enthalpy	Flow		
		kcal/kg	t/h		
0 LP-PROCESS	0	20	-19,03	Heat consumption: 47770 Mcal/h (57,89 MW)	
	1 lp steam	660	06,77		
	2 cond ret	105	-67,74		
1 HP PROCESS	0 cond loss	20	-13,97	Heat consumption: 14720 Mcal/h (17,12 MW)	
	1 hp steam	680	24,02		
	2 cond ret	133	-10,05		
4 HEAT SINK	0 demi makeup	20	-38,8	Heat consumption: 3329 Mcal/h (3,872 MW)	
	1	665	4,556		
	2	300	,9112		
	3	665	,1124		
	4	300	,2248		
5	20	33			
7 VAR LOAD BLR	0 hp steam	795	-22,49	Heat generation: 15280 Mcal/h (17,77 MW)	
	1 fw	120	22,02		
	2 blowdown	300	-2249		
	3 sootblowing	665	-1125		
10 BASE LOAD BLR	0 fw	120	96,59	Heat generation: 64150 Mcal/h (74,61 MW)	
	1 steam	795	-91,12		
	2 blowdown	300	-9112		
	3 sootblowing	665	-4,556		
23 T/G 1	0 steam inlet	795	103,8	Heat consumption: 10970 Mcal/h	Generator Output.....MW 11,48 Efficiency % 90
	1 exhaust	678	-81,75		
	2 extraction	731	-22,01		
24 T/G 2	0 steam inlet	795	0	Heat generation: 0 Mcal/h	Generator Output.....MW 0
	1 exhaust	679	0		
25 DRIVE TURBINES	0 steam inlet	795	9,847	Heat consumption: 640,1 Mcal/h	Generator Output.....MW ,67
	1 exhaust	730	-9,847		



do que no Caso A devido a melhoria no rendimento do digestor. Em compensação, o consumo específico e o custo da madeira por tonelada de papel é reduzido.

No Caso D a geração específica de calor na caldeira de recuperação aumenta 17%, o que corresponde a um valor de 3 080 Mcal/T de papel devido a instalação de um economizador adicional e concentradores.

A redução de geração de calor requerida na caldeira de força é dramática. No Caso A, a geração específica de calor é 3 884 Mcal/T de papel. No Caso D, este valor cai para somente 733 Mcal/T de papel. A redução é de 81%. Para as condições consideradas em nosso exemplo, a geração média de vapor e a capacidade máxima da caldeira de força seriam:

<u>Caso</u>	<u>Geração Média (t/h)</u>	<u>Capacidade Máxima (t/h)</u>
A	118	200
B	89	160
C	54	110
D	23	60

A capacidade máxima da caldeira depende do critério de demanda máxima normal de vapor para a fábrica, picos para o processo e reduções temporárias na caldeira de recuperação. Por isto, a capacidade máxima (MCR) da caldeira de força não diminui em proporção direta a demanda média de vapor. Se o empresário define simultaneamente um plano de racionalização de energia e uma nova caldeira de força com combustível alternativo, a capacidade da nova caldeira pode ser cerca de 30% da capacidade requerida sem um programa de racionalização de energia. O nível de investimento para a nova caldeira seria reduzido em cerca de 50%. Este dinheiro estaria disponível para promover a substituição do óleo combustível com engenharia especializada.

Custo Energético

Os dois resultados principais do balanço de calor da fábrica são a geração do calor requerido na caldeira de força e a geração de energia elétrica de contrapressão no turbogerador. Com a definição das características do combustível e os parâmetros de desempenho da caldeira de força (excesso de ar, temperatura dos gases, não queimados, etc.) é calculado o consumo de combustível e o custo para cada caso. O custo de energia elétrica a ser comprada é calculado. Com estes dois custos, combustível para a caldeira de força e energia elétrica comprada, temos o custo energético de produção para cada caso.

Para nosso exemplo, consideramos custos típicos de US\$ 25/MWh e US\$ 120/TOE de combustível. Na Tabela Nº 6 mostramos os custos energéticos para os quatro casos considerados. O custo energético específico total em US\$/T de papel para os Casos A, B, C e D são 57, 45, 34 e 23, respectivamente. O custo energético para o Caso D, uma fábrica moderna e bem operada, é 40% do custo energético da fábrica caracterizada no Caso A. Para a produção de 500 T/D de papel considera

da aqui, isto representa uma redução de US\$ 5,8 milhões por ano em custos operacionais energéticos. Além disto, existem reduções no custo operacional devido ao menor consumo de madeira, água quimicamente tratada, reposição de sulfato de sódio e cal que não são considerados aqui.

TABELA N° 6
CUSTO ENERGÉTICO

ITEM	CASO			
	A	B	C	D
CALOR GERADO (CALD. DE FORÇA)				
- Mcal/T	3 384	2 905	1 762	733
- US\$/T	54,90	41,10	24,90	10,40
ENERGIA ELÉTRICA COMPRADA				
- kWh/T	78	165	354	501
- US\$/T	2,00	4,10	8,90	12,50
CUSTO ENERGÉTICO TOTAL				
- US\$/T	56,90	45,20	33,80	22,90
CUSTO RELATIVO (%)	100	79	59	40
REDUÇÃO INCREMENTAL (US\$/A) NO CUSTO ENERGÉTICO	-	1 989 000	1 938 000	1 853 000

BASE: US\$ 25/MWh
US\$ 120/TOE, EFICIÊNCIA 84%
500 T/D, 340 D/A

COMBUSTÍVEL PARA FORNO DE CAL EXCLUÍDO.
PLANTAS QUÍMICAS ELETROLÍTICAS EXCLUÍDAS.

Conclusões

Muitas fábricas estão reduzindo o custo energético com substituição de óleo combustível por combustíveis alternativos. Ainda falta muito a fazer para reduzir o consumo energético numa fábrica de celulose ou papel integrada. Existe hoje a tecnologia necessária em termos de equipamentos e engenharia especializada. Mostramos aqui, usando como exemplo uma fábrica integrada de 500 T/D de papel branqueado, uma metodologia para analisar o impacto das melhorias no balanço e custo energéticos da fábrica. A metodologia deve incluir um plano master da fábrica, identificação e classificação das melhorias e, muito importante, a influência destas melhorias nos balanços mássicos e energéticos de fibra, água, químicos, etc.

Baseado nestas premissas, o balanço de calor da fábrica é feito e os consumos de combustíveis e energia elétrica comprada estão calculados. O uso de um programa de computador facilita estes cálculos e permite a análise comparativa de muitas alternativas em menos tempo.

Complementando esta metodologia com um orçamento a nível de investimento, cálculo de retorno de investimento e o prazo de implementação, o empresário tem melhores condições para definir o rumo da empresa.