

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO ENERGÉTICO DE UMA PLANTA DE PROCESSAMENTO
DE SUCO DE LARANJA CONCENTRADO CONGELADO**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal de Santa
Catarina como parte dos requisitos à obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Química**

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

GILSON J. RODRIGUES

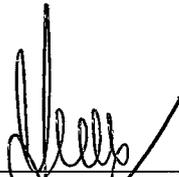
**FLORIANÓPOLIS
2001**

Estudo Energético de uma Planta de Processamento de Suco de Laranja Concentrado Congelado

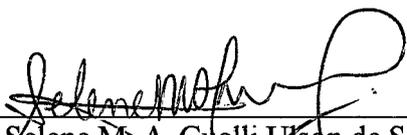
Por

Gilson José Rodrigues

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de concentração **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos** e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

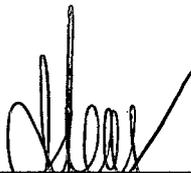


Prof. Dr. João Borges Laurindo
Orientador



Prof.ª Dr.ª Selene M. A. Guelli Uison de Souza
Coordenadora do CPGENQ

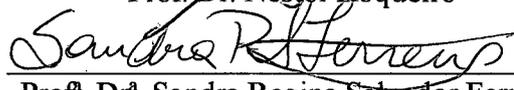
Banca Examinadora:



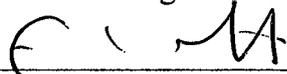
Prof. Dr. João Borges Laurindo



Prof. Dr. Nestor Roqueiro



Prof.ª Dr.ª Sandra Regina Salvador Ferreira



Prof.ª Dr.ª Edna Regina Amante

Florianópolis, 25 de Junho de 2001

AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Borges Laurindo pela orientação.

A Cooperativa Central Oeste Catarinense Ltda., por permitir a realização deste trabalho, em especial a Gerente Maria Elizabeth e aos funcionários Strapazzon e Michelle.

A

**Deus, a minha família
em especial a minha noiva
Katuscia pelo amor e paciência**

SUMÁRIO

CAPITULO 1

| | |
|---------------------|----|
| 1.0 INTRODUÇÃO..... | 13 |
|---------------------|----|

CAPITULO 2

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
|--------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 2.1 Estudo sobre o consumo de energia para produção e processamento de alimentos..... | 19 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 2.2 Estudo sobre o consumo de energia na indústria de SLCC..... | 21 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 2.3 Evaporadores para concentração de suco de laranja..... | 23 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 2.4 Estudo sobre consumo de energia térmica nos evaporadores..... | 26 |
|---|----|

CAPITULO 3

| | |
|------------------------------|----|
| 3.0 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 27 |
|------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 3.1 Unidade industrial de suco de laranja concentrado congelado estudada..... | 27 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 3.2 Descrição das fases de processamento para a produção de SLCC..... | 28 |
|---|----|

| | |
|---------------------|----|
| 3.3 Evaporador..... | 42 |
|---------------------|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| 3.3.1 Limpeza e sanitização..... | 46 |
|----------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 3.3.2 Dados de operação do evaporador..... | 47 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 3.3.3 Dados coletados no evaporador..... | 48 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| 3.4 Fonte de energia na unidade industrial de SLCC..... | 49 |
|---|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.5 Geração de energia térmica..... | 50 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 3.6 Consumo de energia para iluminação da planta de SLCC..... | 53 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 3.7 Consumo de energia elétrica na estação de tratamento de efluentes e captação de água..... | 54 |
|---|----|

CAPITULO 4

| | |
|--|----|
| 4.0 RESULTADOS..... | 56 |
| 4.1 Consumo global de energia elétrica e térmica no mês de agosto de 2000..... | 57 |
| 4.2 Relação entre produção de SLCC e consumo de energia - mês..... | 59 |
| 4.3 Relação entre produção de SLCC e consumo de energia térmica - diária..... | 60 |
| 4.4 Nível de produção de SLCC e consumo de energia térmica - diária..... | 64 |
| 4.5 Consumo de energia térmica no evaporador - diária..... | 67 |
| 4.6 Consumo de energia térmica no evaporador - mês..... | 71 |
| 4.7 Cálculo de economia de vapor no evaporador referente ao mês de agosto de 2000..... | 72 |
| 4.8 Medidas para conservação de vapor no evaporador..... | 73 |
| 4.9 Comparação dos dados de projeto e obtidos na planta de SLCC..... | 75 |

CAPITULO 5

| | |
|---|----|
| 5.0 CONCLUSÕES..... | 80 |
| REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA..... | 82 |
| ANEXO A | |
| Dados coletados na planta de SLCC..... | 84 |
| ANEXO B | |
| Cálculo da energia térmica total consumida para produção de SLCC..... | 92 |
| ANEXO C | |
| Cálculo da quantidade de água evaporada por dia..... | 93 |
| ANEXO D | |
| Economia de lenha em função da redução da umidade..... | 94 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| 1.0 Principais produtores de laranja (safra 1998/99)..... | 14 |
| 1.1 Exportação de SLCC em tonelada..... | 15 |
| 1.2 Produção de laranja no estado de São Paulo em milhões de caixas..... | 16 |
| 2.1 Consumo de energia nos EUA referente à produção, industrialização e consumo de alimentos..... | 19 |
| a.1 Consumo de energia elétrica na etapa de recepção de frutas..... | 31 |
| b.1 Consumo de energia elétrica na etapa de preparação para extração..... | 33 |
| c.1 Consumo de energia elétrica na etapa de extração..... | 35 |
| d.1 Consumo de energia elétrica na etapa de clarificação..... | 37 |
| e.1 Consumo de energia elétrica na etapa de concentração..... | 38 |
| f.1 Consumo de energia elétrica no tratamento do suco concentrado..... | 40 |
| g.1 Consumo de energia elétrica na estocagem do suco concentrado..... | 41 |
| 3.5.1 Consumo de lenha em Kg por tonelada de vapor produzido..... | 51 |
| 3.5.2 Consumo de energia elétrica na caldeira..... | 52 |
| 3.6 Consumo de energia elétrica para iluminação da planta de SLCC..... | 53 |
| 4.1 Consumo de energia elétrica na planta de SLCC..... | 58 |
| 4.2 Dados globais de produção e consumo de energia..... | 59 |
| 4.3.1 Correlação linear representando os dados experimentais da variação do consumo de energia térmica com o volume de produção..... | 60 |
| 4.3.2 Dados experimentais do consumo de energia térmica em função da produção de SLCC..... | 61 |
| 4.4 Consumo de energia por tonelada de SLCC..... | 65 |
| 4.5 Consumo de energia para evaporar 1 Kg de água..... | 68 |
| 4.9 Dados de projetos e experimentais levantados no mês de agosto de 2000..... | 75 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 3.1 Diagrama esquemático da planta de processamento de SLCC..... | 29 |
| 3.2 Diagrama esquemático de um evaporador TASTE quatro efeitos e seis estágios..... | 43 |
| 3.7 Diagrama do processo de tratamento dos efluentes industriais..... | 54 |
| 4.3 Consumo de energia por produção de SLCC..... | 62 |
| 4.4 Consumo de energia térmica por tonelada de SLCC..... | 67 |
| 4.5 Consumo de energia térmica por Kg de água evaporada..... | 69 |
| 4.9.1 Fluxograma quantitativo - projeto..... | 78 |
| 4.9.2 Fluxograma quantitativo -produção mês de agosto de 2000..... | 79 |

SIMBOLOGIA

| | |
|-----------------|---|
| b | - coeficiente linear |
| °Brix | - concentração de sólidos solúveis avaliado no refratômetro de ABBE |
| °C | - graus centígrados |
| CIP | - cleaning in place |
| cm | - centímetros |
| cm ² | - centímetros quadrados |
| J | - Joules |
| h. | - horas |
| H.P | - unidade de potência, correspondente a 0,7547 kw |
| HTST | - higt temperature short time |
| kcal | - quilocaloria |
| kg | - quilograma |
| kgf | - quilograma força |
| KKAE | - quilocaloria por quilograma de água evaporada |
| kw | - quilowatt |
| m | - coeficiente angular |
| m ² | - metros quadrados |
| m ³ | - metros cúbicos |
| min. | - minutos |
| mm | - milímetros |
| N | - número de efeitos |
| r | - coeficiente de correlação |
| RMV | - recompressão mecânica de vapor |

- r.p.m - rotações por minuto
- RTV - recompressão térmica de vapor
- Seg. - segundos
- SLCC - suco de laranja concentrado congelado
- TASTE - temperature accelerated short time evaporator
- ton. - toneladas
- U - coeficiente global de transferência de calor
- WHE - waste heat evaporator

RESUMO

No presente trabalho estudou-se o consumo global de energia para a produção de suco concentrado congelado (SLCC). Os dados experimentais foram coletados durante o acompanhamento de uma planta processadora de SLCC. O consumo de energia térmica foi muito maior do que de energia elétrica. O consumo de energia térmica em KJ por Kg de água evaporada diminuiu no evaporador por hora, atingindo um valor mínimo próximo da capacidade instalada do evaporador. Para a redução do consumo de energia térmica e elétrica por tonelada de SLCC produzida, é necessário operar a planta processadora de SLCC próxima de sua capacidade instalada.

SUMMARY

In the present work it was studied the global consumption of energy for the production of frozen concentrated juice (FCJ). The experimental data were collected during the accompaniment of a processor plant of FCJ. The consumption of thermal energy was much larger than of electric energy, The consumption of thermal energy in KJ for Kg of the evaporated water decreased in the evaporator per hour, reaching a minimum value near installed capacity of the evaporator. For the reduction of the consumption of thermal and electric energy by ton of the FCJ produced, it is necessary to operate the processor plant of the FCJ near of its installed capacity.

INTRODUÇÃO

1.0 INTRODUÇÃO

A partir de 1973, com a crise do petróleo, começou a ocorrer uma forte alta em seu preço, até então uma das mais baratas formas de energia do mundo. Os países importadores de tal matéria prima iniciaram uma conscientização para melhor utilização do petróleo, bem como das outras fontes energéticas disponíveis (GOLDEMBERG, 1981).

Em 1979, o Conselho Nacional de Petróleo adotou um sistema de racionamento de óleo combustível por cotas de fornecimento às indústrias, tentando desse modo, diminuir a dependência do petróleo importado (GOLDEMBERG, 1981).

O Brasil, graças às suas dimensões territoriais continentais, é um país que ainda pode contar com fontes alternativas renováveis de energia, principalmente biomassa, como lenha, bagaço de cana e carvão vegetal.

A indústria de suco de laranja concentrado congelado (SLCC) é grande consumidor de energia, principalmente nos processos de concentração por evaporação e secagem de sub- produtos. Deste modo, a questão energética deve ser tratada com a devida atenção, visando a diminuição dessa importante componente dos custos de produção de SLCC.

Embora o Brasil tenha firmado sua posição de principal produtor mundial de laranja (quadro 1.0), e de maior exportador de suco de laranja concentrado congelado, sua posição não é cômoda, pois enfrenta grande competição das produções domésticas dos países importadores, bem como tarifas de proteção de seus mercados, que taxam o nosso produto, além de competir pelos principais mercados com outros países exportadores.

QUADRO 1.0 – PRINCIPAIS PRODUTORES DE LARANJA (SAFRA 1998/99)

| PAISES | PERCENTAGEM DE PRODUÇÃO |
|---------------|--------------------------------|
| BRASIL | 29,66 |
| MEDITERRÂNEO | 17,97 |
| EUA | 15,74 |
| MÉXICO | 5,50 |
| ESPAÑA | 4,89 |
| CHINA | 4,46 |
| OUTROS | 21,78 |

Fonte -ABECITRUS

Nos Estados Unidos, com as mudanças dos pomares para regiões menos suscetíveis a geada, a produção de laranja e de SLCC, vem tendo aumentos significativos, tendendo para sua auto suficiência, fazendo com que o Brasil procure novos mercados para escoar sua produção. A Tabela 1.1 ilustra, com dados numéricos, os principais mercados compradores do SLCC produzido no Brasil.

**QUADRO 1.1 – EXPORTAÇÃO DE SLCC
EM TONELADA**

| ANO SAFRA | UNIÃO EUROPÉIA | NAFTA | ÁSIA | OUTROS | TOTAL |
|----------------------|---------------------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| 1990/91 | 402.000 | 303.000 | 68.000 | 12.000 | 786.000 |
| 1991/92 | 500.000 | 341.000 | 90.000 | 21.000 | 952.000 |
| 1992/93 | 608.000 | 325.000 | 84.000 | 29.000 | 1.045.000 |
| 1993/94 | 544.000 | 364.000 | 102.000 | 25.000 | 1.034.000 |
| 1994/95 | 631.000 | 216.000 | 146.000 | 31.000 | 1.024.000 |
| 1995/96 | 709.000 | 190.000 | 98.000 | 33.000 | 1.031.000 |
| 1996/97 | 789.000 | 193.000 | 125.000 | 30.000 | 1.138.000 |
| 1997/98 | 867.000 | 204.000 | 108.000 | 38.000 | 1.217.000 |
| 1998/99 | 756.000 | 210.000 | 93.000 | 37.000 | 1.096.000 |
| 1999/00 | 725.438 | 252.938 | 113.303 | 39.913 | 1.130.998 |

Fonte ABECITRUS

Essas situações se refletem na instabilidade dos preços internacionais do SLCC formado nas esteiras dos sucessos e insucessos da produção de matéria-prima dos países concorrentes. Como exemplos podemos citar, que no ano de 1999 o preço do SLCC estava próximo de 1200 dólares a tonelada e caiu para aproximadamente 700 dólares em 2000 (Preços FOB porto de São Francisco- Santa Catarina).

Surge então, a necessidade de se buscar soluções, que aumentem a liberdade da indústria, principalmente pela redução dos custos de produção, no qual o consumo de energia representa aproximadamente 10 % dos custos variáveis de produção, na indústria estudada.

O cultivo da laranja está presente em vários estados do Brasil, sendo São Paulo o maior produtor, com uma produção de 338 milhões de caixas de 40,8 Kg na safra de 1999/2000 (tabela 1.2). Estima-se que nos demais estados a produção total de laranja seja de 50 milhões de caixas.

**QUADRO 1.2 – PRODUÇÃO DE LARANJA NO
ESTADO DE SÃO PAULO
EM MILHÕES DE CAIXAS**

| ANO SAFRA | PRODUÇÃO | PROCESSAMENTO | MERCADO INTERNO |
|------------------|-----------------|----------------------|------------------------|
| 1979/80 | 155,0 | 124,0 | 31,0 |
| 1980/81 | 170,0 | 138,0 | 32,0 |
| 1981/82 | 180,0 | 155,0 | 25,0 |
| 1982/83 | 195,0 | 161,0 | 34,0 |
| 1983/84 | 200,0 | 165,0 | 35,0 |
| 1984/85 | 205,0 | 185,0 | 20,0 |
| 1985/86 | 218,0 | 195,0 | 23,0 |
| 1986/87 | 190,0 | 150,0 | 40,0 |
| 1987/88 | 234,0 | 186,0 | 48,0 |
| 1988/89 | 221,0 | 180,0 | 41,0 |
| 1989/90 | 296,0 | 252,0 | 44,0 |
| 1990/91 | 262,7 | 210,0 | 50,8 |
| 1991/92 | 285,5 | 225,0 | 57,8 |
| 1992/93 | 300,0 | 265,0 | 33,0 |
| 1993/94 | 307,0 | 240,0 | 65,0 |
| 1994/95 | 311,0 | 242,7 | 65,0 |
| 1995/96 | 357,3 | 259,1 | 95,0 |
| 1996/97 | 363,0 | 268,1 | 93,0 |
| 1997/98 | 428,0 | 318,0 | 110,0 |
| 1998/99 | 330,0 | 279,0 | 51,0 |
| 1999/00 | 388,0 | 280,0 | 108,0 |

Fonte ABECITRUS

De uma forma geral, os citros podem ser cultivados comercialmente no estado de Santa Catarina em locais com até 700 metros de altitude. Acima desta altitude, os riscos devido às geadas aumentam (ACACITROS, 1992).

Em relação aos Estados Brasileiros localizados mais ao norte, Santa Catarina leva vantagem devido ao clima. Os frutos produzidos em regiões subtropicais mais frias, como é o nosso caso, apresentam uma melhor coloração da casca e também do suco, além de uma melhor relação açúcares / acidez, resultando em frutos e sucos mais atrativos visualmente e de melhor sabor, especialmente para o paladar europeu (ACACITROS, 1992).

O Estado de Santa Catarina possui duas fábricas concentradoras de suco de laranja, uma localizada no município de Tunápolis, e a outra em Pinhalzinho. A fábrica de Pinhalzinho pertence ao grupo da Cooperativa Central Oeste Catarinense Ltda., onde foi realizado o trabalho.

O objetivo deste trabalho é o estudo do consumo de energia térmica e energia elétrica da planta de produção de suco de laranja concentrado congelado da unidade de Pinhalzinho.

Pretende-se com este estudo fazer uma comparação dos resultados obtidos na planta com os fornecidos pela empresa que realizou o projeto e, com dados de consumo de energia obtidos na literatura, bem como estudar alternativas que poderão ser implantadas para a redução do consumo de energia no processo de fabricação.

Os dados foram coletados durante o acompanhamento da produção do mês de Agosto de 2000.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria de alimentos representa um importante elo de ligação entre o setor agrícola e o consumidor final. As operações como esterilização, congelamento e secagem ajudam a minimizar perdas durante a estocagem, assegurando uma uniformidade no abastecimento, bem como o desenvolvimento de novos produtos.

A introdução crescente da mecanização do processo de fabricação para alcançar altas capacidades de produção, levou a uma dependência crescente da energia derivada de recursos não renováveis. A energia obtida principalmente de produtos de petróleo, representa um papel chave em processos que envolvam transferência de calor e de massa.

Até os anos 70 a energia era um artigo barato, o que desencorajou trabalhos com ênfase na conservação de energia nos processos de industrialização de alimentos (SINGH, 1986).

O embargo árabe em 1973 teve um impacto nas principais indústrias de manufaturados. O medo de racionamento de combustível e os altos custos do petróleo impulsionaram o sistema industrial a buscar novas tecnologias e processos com maior eficiência na utilização da energia.

2.1 ESTUDO SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA PARA PRODUÇÃO E PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

SINGH (1986) apresenta dados de consumo de energia nos EUA, desde a produção agrícola de alimentos, passando pela industrialização, comercialização, até o preparo desses alimentos pelo consumidor.

O Quadro 2.1 mostra o consumo de energia envolvido em cada etapa. Enquanto a produção agrícola consome apenas 18 % da energia, os restantes 82 % são gastos na industrialização, comercialização e preparação do alimento pelo consumidor. O processamento industrial e a preparação do alimento em casa são os principais consumidores de energia.

**QUADRO 2.1 CONSUMO DE ENERGIA NOS EUA REFERENTE À PRODUÇÃO,
INDUSTRIALIZAÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS (SINGH, 1986)**

| ITEM | PERCENTAGEM |
|--------------------------------|-------------|
| INDUSTRIALIZAÇÃO | 29,1 |
| PRODUÇÃO NA FAZENDA | 17,6 |
| PREPARAÇÃO DA COMIDA EM CASA | 26,0 |
| PREPARAÇÃO COMIDA FORA DE CASA | 17,0 |
| TRANSPORTE | 2,4 |
| COMERCIALIZAÇÃO | 7,9 |

O levantamento desses dados de consumo de energia em cada etapa é importante para direcionar estudos e políticas de conservação de energia.

Segundo SINGH (1986), pode ser estabelecida uma relação entre o consumo de energia em uma planta processadora e a atividade para qual a energia foi empregada.

A relação entre a escala de produção e o consumo de energia no processamento de alimentos pode ser dada por uma regressão linear do tipo $y = b + mx$, onde: y é quantidade de energia consumida; x é a produção do alimento por unidade de tempo; b o coeficiente linear, dado em unidade de energia, e o m coeficiente angular expresso em quantidade de energia consumida por quantidade de produto por unidade de tempo.

A regressão linear pode ser utilizada para comparar processos diferentes, para comparar o mesmo processo em períodos diferentes, e para fazer uma previsão de consumo de energia em função da produção.

Nos EUA foram feitos muitos estudos sobre o consumo de energia para processamento de alimentos enlatados. CHHINNAN et al (1980) estudaram o processamento de espinafre; SINGH *et al* (1980) estudaram o processamento de tomate e CORROAD *et al* (1980) estudaram o processamento de pêssego. Esses trabalhos mostraram claramente que o consumo de energia térmica é muito maior do que o consumo de energia elétrica no processamento de alimentos enlatados.

OKADA *et al* (1980) estudaram o consumo de energia em uma planta de processamento produzindo café solúvel ("spray dried") em São Paulo. As fontes de energia térmica contribuíram com 95 % da energia total consumida na planta. Os consumos de energia térmica para torrefação, extração, concentração e desidratação foram de 890, 2.030, 1.780 e 5.040 kcal/kg de café solúvel, respectivamente.

2.2 ESTUDO SOBRE CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE SLCC

GASPARINO, (1982) estudou a eficiência energética dos principais equipamentos utilizados no processo de produção do suco concentrado congelado de laranja e ração animal. O consumo de energia térmica envolvida nos processos de produção de SLCC e de produção de ração animal corresponderam a 84 % e 92 %, respectivamente, da energia total consumida. O autor também identificou fontes alternativas de energia capazes de atender as necessidades do processamento desses produtos.

Concluiu que medidas de economia de energia devem ser direcionadas principalmente ao óleo combustível, o qual é consumido em grande escala nas operações de evaporação do suco e na secagem de ração.

As seguintes alternativas se mostraram tecnicamente viáveis para diminuir os custos de produção: a) aumento do número de efeitos e estágios na seção de evaporação; b) introdução de uma segunda operação de prensagem do bagaço na fábrica de ração; c) utilização de bagaço de cana como o único combustível na caldeira.

ALMEIDA *et al* (1984) realizaram uma análise econômica de alternativas tecnicamente viáveis de consumo, conservação e recuperação de energia, na produção de suco de laranja concentrado congelado (SLCC) e subprodutos.

Os autores realizaram um estudo comparativo de três diferentes casos que se referem a:

- a) Processo usual de obtenção de SLCC e subprodutos;
- b) Processo de produção compreendendo modificações no evaporador e prensas, utilizando caldeira mista (óleo combustível BPF e bagaço de cana);
- c) Processo de produção empregando modificações no evaporador e prensas, utilizando caldeira movida apenas a bagaço de cana.

Os autores concluíram que o empreendimento de implantação de uma unidade industrial produtora de SLCC é economicamente viável e, dentre as alternativas propostas, a descrita no item c, mostrara-se mais atrativa devido principalmente a:

- Modificações no evaporador, prensa e utilização de caldeira movida a bagaço de cana implicaram em um rendimento superior na evaporação de água, redução da umidade do bagaço (da laranja) e economia do óleo combustível BPF, respectivamente;
- Menor necessidade no investimento total;
- Diminuição dos custos variáveis, principalmente no item combustíveis e lubrificantes, com importante repercussão na redução do custo unitário de produção;
- Maior taxa interna de retorno.

São poucos os estudos sobre o consumo de energia nas plantas de processamento de SLCC, sendo ainda, na sua grande maioria, apenas relacionados ao consumo de energia nos evaporadores.

2.3 EVAPORADORES PARA CONCENTRAÇÃO DE SUCO DE LARANJA

Alguns dos objetivos na concentração de alimentos são: reduzir o tamanho da embalagem; diminuir custos de transporte e estocagem, induzir a cristalização, reduzir atividade de água e diminuir o custo de secagem.

O evaporador é o principal equipamento na produção de SLCC e também o maior consumidor de energia térmica (GASPARINO, 1982).

Os evaporadores para alimentos como o suco de laranja trabalham com temperaturas relativamente baixas variando geralmente entre 85 °C no primeiro estágio até 40 °C no último.

A temperatura baixa na concentração se faz necessário principalmente para minimizar os danos causados na qualidade organoléptica do produto, tais como cor, sabor e perda de vitaminas.

HEID & CASTEM (1961) classificaram os evaporadores para concentração de suco de frutas e de vegetais da seguinte maneira:

- 1) Com passagem simples
- 2) De simples ou múltiplo estágio
- 3) De simples ou múltiplo efeito
- 4) Os autores acima também diferenciam o tipo de condensador de vapor, o qual pode ser de superfície ou de contato direto, que permite a mistura dos vapores produzidos com água para condensação.

A palavra efeito é usada para indicar o fluxo de vapor através de evaporador e o termo estágio é usado para indicar o escoamento do produto que passa pelo evaporador.

Também descreveram os diferentes tipos de evaporadores, conforme relação abaixo.

- 1) Calandra externa
- 2) Termossifão
- 3) Circulação forçada
- 4) Filme descendente
- 5) Filme agitado
- 6) Tipo placas.

VELDHUIS (1971) descreveu a evolução dos evaporadores usados na indústria de SLCC. A indústria de SLCC no estado da Flórida - EUA começou utilizando evaporadores de circulação forçada de operação descontínua e temperatura de evaporação de 49 °C. O consumo de vapor, nesse tipo de evaporador foi de 1.35 kg de vapor / kg de água evaporada. Posteriormente foi introduzido o evaporador tipo filme descendente de um efeito, operando com temperatura de evaporação de 10 °C, que foi considerado ineficiente em termos de consumo de vapor. Apesar da ineficiência desse evaporador, eles concluíram que a utilização do evaporador de filme descendente podia fornecer suco concentrado de boa qualidade.

Partindo-se dessa conclusão, começaram estudos para se introduzir evaporadores de múltiplos efeitos e múltiplos estágios, para se conseguir aumentar a eficiência de evaporação.

Para minimizar a atividade da enzima pectinesterase ou ácido ascórbico oxidase, introduziu-se a pasteurização do suco fresco antes da evaporação. Inicialmente, a pasteurização foi feita em trocadores de calor tubulares ou tipo placas a uma temperatura de 82 °C, num tempo de 30 a 60 segundos.

Com a idéia posta em prática de que a pasteurização do suco fresco poderia ser feita numa seção do evaporador de alta temperatura em curto tempo e nas outras seções realizar

a evaporação propriamente dita, resultou o aparecimento dos evaporadores a vácuo HTST (high temperature short time).

Segundo CHEN (1981), do total da capacidade de evaporação de água da indústria de SLCC da Flórida – EUA, 91 % são devidos aos evaporadores do tipo TASTE (temperature accelerated short-time evaporator). No Brasil, podemos dizer que a grande maioria dos evaporadores usados na produção de SLCC são do tipo TASTE.

Os evaporadores modelo TASTE utilizam tubos longos com diâmetros de 2,5 a 5,0 cm e comprimento de 3 a 18 metros, a altura total de um desses evaporadores varia de 18 a 35 metros, e a alimentação de suco fresco é feito por bomba com pressão aproximada de 30 metros de coluna de água. No primeiro estágio, a fonte de calor é o vapor à pressão de uma atmosfera. O suco aquecido desce do topo, pela superfície interna dos tubos, sob a influência da força gravitacional e da diferença de pressão.

Os vapores de água do produto e o produto parcialmente concentrado são separados num separador adequado no final dos tubos. O produto parcialmente concentrado segue para o próximo estágio, enquanto o vapor do primeiro efeito é usado como fonte de calor para o segundo efeito. O vapor separado do segundo efeito vai fornecer energia térmica para o terceiro efeito e, assim, sucessivamente.

De modo geral, os evaporadores TASTE são de alimentação paralela ou concorrente, de uma passagem (sem recirculação) e compostos de quatro a sete efeitos. Normalmente, o último efeito do evaporador é composto de um a quatro estágio, sendo essa medida adotada, devido à pouca quantidade de suco que chega ao último efeito. Desse último efeito o produto é bombeado para um “flash cooler “, resultando no produto final (GUMACO Indústria e Comércio, 1999).

2.4 ESTUDO SOBRE CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA NOS EVAPORADORES

CHEN *et al* (1981) estudaram o consumo de energia num evaporador TASTE de 5 efeitos e 8 estágio, com capacidade de evaporação de 18.141 kg de água por hora, chegando a um resultado que variava de 136 a 153 kcal por kg de água evaporada, quando o evaporador estava operando entre 90 a 100% de sua capacidade instalada.

Segundo CHEN *et al* (1981), para evaporadores do tipo TASTE, o valor considerado no projeto construtivo do equipamento, para que se tenha um valor econômico no gasto de vapor, é de $0,85 N$ (onde N é o número dos efeitos do evaporador). Como exemplo, podemos citar que para um evaporador de 4 efeitos, caso do evaporador da planta estudada, o valor econômico de trabalho corresponde a um consumo de 660 kJ por kg de água evaporada, ou ainda um Kg de vapor consegue evaporar 3,40 kg de água

GASPARINO (1982), realizou estudos de consumo de energia térmica em evaporadores de 5 efeitos e sete estágios, com uma capacidade de evaporação instalada de 27.216 Kg de água por hora (60.00 libras / hora), chegando na faixa de 125 a 158 kcal / por kg de água evaporada.

GASPARINO (1982), também realizou estudo de consumo de energia térmica num evaporador de 5 efeitos e 7 estágios, com capacidade de evaporação de 43.360 kg de água evaporada por hora (100.000 libras / hora), chegando a valores na faixa de 120 a 175 kcal por Kg de água evaporada. Os valores perto de 175 kcal por kg de água evaporada foram obtidos quando o evaporador estava trabalhando com apenas 71 % de sua capacidade instalada, ou seja com uma capacidade de evaporação de 32.080 Kg de água / hora.

MATERIAL E MÉTODOS

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – UNIDADE INDUSTRIAL DE SUCO DE LARANJA CONCENTRADO CONGELADO ESTUDADA

Este trabalho foi realizado em uma unidade industrial de SLCC, localizada na cidade de Pinhalzinho, no Estado de Santa Catarina, que ocupa uma área total de 138.114 m² de terreno e, 5.475 m² de área construída.

A fábrica pertence à Cooperativa Central Oeste Catarinense, detentora da marca AURORA para os derivados carne, e DELLIS para os sucos concentrados e reconstituído nos sabores de laranja e uva.

Atualmente a fábrica possui uma capacidade de processamento de 60.000 toneladas de laranja por ano produzindo 5.500 toneladas de SLCC, 6.000 toneladas de ração cítrica; 310 toneladas de óleo essencial e d- limoneno.

O SLCC é exportado para vários países da Europa, como a Alemanha, Holanda e Reino Unido, e para América do Norte. Também devido ao fato do suco ser mais ácido que os produzidos no Estado de São Paulo, algumas indústrias dessa região compram o suco para misturas (“blendagens”).

As frutas são provenientes principalmente dos pomares das cooperativas afiliadas da Cooperativa Central Oeste Catarinense Ltda. Atualmente estão cadastrados aproximadamente 2000 citricultores no Estado.

Os dados experimentais foram coletados no mes de agosto de 2000.

3.2 DESCRIÇÃO DAS FASES DE PROCESSAMENTO PARA A PRODUÇÃO DE SLCC

A Figura 3.1 apresenta um esquema básico de produção de SLCC estudada.

De acordo com que está ilustrado a Figura 3.1 as operações podem ser assim detalhadas:

a) recepção: As frutas à granel são transportadas do campo para a fábrica em caminhões que, previamente pesados, seguem para a rampa hidráulica, onde ocorre o processo de descarga, até a silagem. Os equipamentos e operações envolvidas são:

a.1) Rampa Hidráulica - os caminhões chegam até a rampa e são erguidos a uma altura de 4 metros com uma inclinação de 25°, descarregando as laranjas.

a.2) Esteira transportadora de fruta a granel - recebe a fruta da rampa hidráulica e transporta até o Tresch.

a.3) Tresch - equipamento constituído por roletes, onde folhas e laranjas muito pequenas caem em caixas plásticas, e posteriormente são enviadas para a fábrica de ração.

a.4) Elevador de canecos - as laranjas são elevadas a uma altura de 12 metros, no topo dos silos.

a.5) Esteira transportadora superior – coleta a laranja que sai do elevador de canecas e leva até a mesa de escolha.

a.6) Mesa de escolha – equipamento constituído de roletes onde é feita a seleção das laranjas, retirando laranjas deterioradas e rachadas. As laranjas descartadas seguem para uma balança onde são pesadas e posteriormente transportada até a fábrica de ração.

a.7) Esteira superior do silo – as frutas sadias, seguem por essa esteira até os silos.

a.8) Silos de estocagem- o sistema de silagem é formado por 6 células, construídas em forma de espiral para que as laranjas que ficarem embaixo não sofram a pressão das de cima. A estrutura e as paredes são metálicas. Cada célula tem capacidade aproximada de 28 toneladas de laranjas. As frutas permanecem no máximo 12 horas estocadas.

O processo de descarga até a silagem é efetuado no período das 8:00 horas às 24:00 horas. As laranjas estocadas nesse período são suficientes para abastecer a fábrica no turno que inicia às 0:00 horas até às 8:00 horas do dia seguinte.

O Quadro a.1 relaciona os equipamentos e o consumo de energia elétrica nessa etapa. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. O tempo médio diário de operação dos equipamentos envolvidos nessa etapa foi determinado pelo período de descarga de 16 horas (início as 8:00 horas e término as 24:00 horas) menos 3:00 horas de intervalo para almoço e jantar, período em que a descarga é interrompida.

Quadro a.1 - Consumo de energia elétrica na etapa de recepção das frutas

| Equipamentos | Motores | Potência kW | Horas de Operação por Dia | Consumo de Energia kJ /dia | KWh Por Dia |
|---|----------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Rampa hidráulica | 1 | 22,1 | 13 | 1.034,280 $\times 10^3$ | 287,3 |
| Esteira transportadora de fruta a granel | 1 | 3,7 | 13 | 173,160 $\times 10^3$ | 48,1 |
| Tresch | 1 | 3,7 | 13 | 173.160 $\times 10^3$ | 48,1 |
| Elevador de canecas | 1 | 5,5 | 13 | 257,400 $\times 10^3$ | 71,5 |
| Esteira transportadora superior | 1 | 3,7 | 13 | 173,160 $\times 10^3$ | 48,1 |
| Mesa de escolha | 1 | 2,2 | 13 | 102,960 $\times 10^3$ | 28,6 |
| Esteira transportadora superior do silo 1 | 1 | 3,7 | 13 | 173,160 $\times 10^3$ | 48,1 |
| TOTAL | 7 | 44,6 | - | 2.087,280 $\times 10^3$ | 579,8 |

b) Preparação para extração - as frutas são descarregadas por gravidade e transportadas por esteiras transportadoras e elevador de canecas até o processo de extração.

Os equipamentos de operação envolvidos nessa etapa são:

b.1) Esteira transportadora inferior do silo – destinada a descarga dos frutos das células e condução até ao elevador de canecas.

b.2) Elevador de canecas - as laranjas são transportadas até um silo que controla o fluxo de laranja para as extratoras (“surge bin”).

b.3) “Surge bin” – é um silo com estrutura e paredes metálicas, com objetivo de armazenar e controlar o fluxo de laranja para a extração. O “surge bin” possui um sensor

que desliga automaticamente a esteira transportadora inferior do silo, parando a descarga das células, quando o mesmo está cheio de frutas.

b.4) Esteira transportadora inferior do “surge bin”- transporta a laranja até a lavagem. Essa esteira tem um controle de fluxo de laranja nas extratoras.

b.5) Lavadora – Equipamento constituído de escovas e sistema de bicos de jatos de água, onde são removidas as impurezas das casca. A água usada vem do condensado vegetal do evaporador com adição de 10 ppm de hipoclorito de sódio.

b.6) Seleção – As frutas completamente limpas são transportadas por sistema de roletes, onde é feita a escolha manual para eliminar as frutas em más condições, danificadas no armazenamento. Esse roletes fazem com que a laranja gire no seu próprio eixo, facilitando a inspeção visual da mesma. As laranjas descartadas são encaminhadas para a fábrica de ração.

b.7) Classificação – Esta operação é realizada por um sistema de classificação por tamanho, o qual separa automaticamente e continuamente as frutas, com base no seu diâmetro. A finalidade dessa etapa é preparar a alimentação das extratoras, que são ajustadas para receberem frutas de tamanhos determinados. Uma classificação adequada proporcionará uma maior eficiência do equipamento de extração, bem como uma qualidade superior do suco.

O Quadro b.1 relaciona os equipamentos e o consumo de energia elétrica envolvido nessa etapa. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. O tempo médio diário de operação dos equipamentos envolvidos nessa etapa, foi determinado pelo tempo de concentração do suco no evaporador (item 3.3.3), quando o evaporador é lavado ou parado, essa etapa é interrompida.

Quadro b.1 Consumo de energia elétrica na etapa de preparação para extração

| Equipamentos | Motores | Potência kW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia KJ/Dia | KWh Por Dia |
|---|----------------|------------------------|--|--|----------------------------|
| Esteira transportadora inferior do silo | 1 | 3,7 | 20,2 | 268,920 x10 ³ | 74,7 |
| Elevador de canecas | 1 | 5,5 | 20,2 | 299,960 x10 ³ | 111,1 |
| Esteira transportadora inferior surge bim | 1 | 3,7 | 20,2 | 268,920 x10 ³ | 74,7 |
| Lavadora | 1 | 2,2 | 20,2 | 159,840 x10 ³ | 44,4 |
| Seleção | 1 | 2,2 | 20,2 | 159,840 x10 ³ | 44,4 |
| Classificadora | 3 | 2,2 | 20,2 | 196,200 x10 ³ | 54,5 |
| TOTAL | 8 | 20,0 | - | 1.453,680 x10³ | 403,8 |

c) Extração- Após a classificação, são transportadas até as extratoras, para a extração do suco. Os equipamentos e operação envolvidos nessa etapa são:

c.1) Esteira transportadora para alimentação das extratoras- as laranjas após a classificação caem na parte inferior, na esteira, que conduzirá as laranjas até as extratoras.

c.2) Extratoras – a planta estudada possui cinco extratoras da marca FMC, com cinco copos cada uma. As quatro primeiras possuem cinco copos cada, com diâmetro de 3 polegadas, e

uma velocidade de trabalho de 100 ciclos por minuto, podendo processar 500 frutas por minuto. A quinta e última extratora possui cinco copos com diâmetro de 4 polegadas, e

possui uma velocidade de 88 ciclos por minuto, podendo processar 440 frutas por minuto. O suco resultante dessa operação é recolhido em uma tubulação coletora, que segue para a clarificação.

Durante a operação de extração (desintegração das frutas), as células de óleo das cascas são liberadas e, uma emulsão de óleo passa a cobrir totalmente a superfície dos sólidos que compõem a fruta. Por meio de um jato de água, esse óleo é arrastado, juntamente com partes da casca, formando uma suspensão. Essa suspensão é transportada por meio de transportadores helicoidais para a linha de extração de óleo.

c.3) Esteira transportadora para retorno das extratoras – o excesso de laranja que não é processado pelas extratoras, retorna até o elevador de canecos, item b.2.

O Quadro c.1 relaciona os equipamentos e consumo de energia elétrica envolvidos nessa etapa. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. O tempo médio diário de operação dos equipamentos envolvidos nessa etapa foram determinados pelo tempo de concentração do suco no evaporador (item 3.3.3), quando o evaporador é lavado ou parado, essa etapa é interrompida.

Quadro c.1 Consumo de energia elétrica na etapa de extração

| Equipamentos | Motores | Potência KW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia kJ/Dia | KWh Por Dia |
|--|----------------|------------------------|--|--|----------------------------|
| Esteira transportadora para alimentação das extratoras | 1 | 5,5 | 20,2 | 399,960x10 ³ | 111,1 |
| 5 Extratoras | 5 | 55,2 | 20,2 | 4.014,000 x10 ³ | 1115,0 |
| Esteira transportadora de retorno de laranja | 1 | 2,2 | 20,2 | 159,840 x10 ³ | 44,4 |
| TOTAL | 7 | 62,9 | - | 4.573,800 x10³ | 1270,5 |

d) Clarificação- O suco de laranja extraído segue para os turbos filtros, no qual é separado o suco da polpa. O suco de laranja sai com um teor de polpa entre 8 a 12,5 % em volume (v/v). A quantidade de polpa é determinada pelo diâmetro dos furos das membranas dos turbos filtros. Os equipamentos e operações envolvidas nessa etapa são:

d.1) 1º Turbo filtro – esse equipamento tem como objetivo a separação da polpa do suco. Ele possui uma membrana cujo furos variam de 100 a 75 µm de diâmetros. A escolha do tipo de membrana está relacionada com o teor de polpa final, viscosidade do suco e teor de pectina. O suco de laranja clarificado, com brix médio de 10,2 segue para o tanque pulmão do evaporador. A polpa separada é misturada com água do condensado vegetal proveniente do evaporador, para fazer a lavagem (“ pulp wash”).

d.2) Bomba misturadora - é uma bomba de deslocamento positivo, que tem o objetivo de misturar e recalcar a polpa e a água de condensado vegetal para o segundo turbo filtro.

d.3) 2º Turbo filtro (“pony”) - esse filtro separa novamente a polpa do suco (“pulp wash”). A membrana do filtro usada é de 75 a 55 μm de diâmetro. A escolha do tipo de membrana segue os mesmos critérios do item d.1. O suco (“pulp wash”), com brix médio de 6,0 segue para o tanque pulmão do evaporador, para ser misturado com o suco proveniente da primeira filtração. A polpa nessa etapa é enviada através de bomba para a fábrica de ração.

O Quadro d.1 relaciona os equipamentos e o consumo de energia elétrica envolvidos nessa etapa. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. O tempo médio diário de operação dos equipamentos envolvidos nessa etapa, foi determinado pelo tempo de concentração do suco no evaporador (item 3.3.3), quando o evaporador é lavado ou parado, essa etapa é interrompida.

Tabela d.1 Consumo de energia elétrica na etapa de clarificação

| Equipamentos | Motores | Potência KW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia kJ/Dia | KWh Por Dia |
|-------------------------|----------------|------------------------|--|--|----------------------------|
| 1º Turbo filtro | 1 | 5,5 | 20,2 | 399,960x10 ³ | 111,1 |
| Bomba misturadora | 1 | 2,2 | 20,2 | 159,840 x10 ³ | 44,4 |
| 2º Turbo filtro (pony) | 1 | 1,5 | 20,2 | 109,840 x10 ³ | 30,5 |
| TOTAL | 3 | 9,2 | - | 669,640 x10³ | 186,0 |

e) Concentração – nesta etapa do processamento o suco a 9,0° brix é concentrado a 65,0° brix, com um gasto significativo de energia térmica e elétrica. Considerada a etapa mais importante para a obtenção do SLCC, essa etapa será discutida no item 3.3.

O Quadro e.1 relaciona os motores e consumo de energia elétrica envolvidos durante a operação de concentração. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. O tempo médio diário por dia é 24 horas, pois durante a limpeza do evaporador todos os motores permanecem ligados.

Tabela e.1 Consumo de energia elétrica na etapa de concentração

| Equipamentos | Motores | Potência KW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia KJ/Dia | kWh Por Dia |
|-------------------------------------|----------------|------------------------|--|--|----------------------------|
| Bomba Alimentadora do evaporador | 1 | 11,0 | 24 | 950,400x10 ³ | 264,0 |
| Evaporador | 9 | 97 | 24 | 8.383,680 x10 ³ | 2328,0 |
| TOTAL | 10 | 108 | | 9.334,080 x10 ³ | 2584,8 |

f) Tratamento do suco concentrado – Após a concentração, o suco é bombeado para os três tanques de homogeneização, e posteriormente envasado em tambores de 200 litros. Os equipamentos e operações envolvidas nessa etapa são:

f.1) Tanques de homogeneização- são três tanques, fabricados com camisa dupla, onde circula uma solução de água e álcool a 50% à temperatura de – 16 °C, com o objetivo de resfriar o suco de 20 °C até a 5°C aproximadamente.

Os tanques homogeneizadores possuem agitadores especialmente projetados para que incorporem o mínimo possível de ar no suco. O suco é depositado nesses tanques até atingirem a quantidade de 36 tambores (9540 Kg) aproximadamente.

Quando atingido essa quantidade, o laboratório de controle de qualidade retira amostra, para análise, antes de liberar o envase. Atualmente são usados somente 2 tanques, ficando um de reserva.

f.2) Bomba de Recalque para envase - são duas bombas de deslocamento positivo que retiram o suco dos tanques homogeneizados, até a balança para o envase. Atualmente é usado uma bomba apenas.

f.3) Envase (Entamboramento) - Nessa etapa o suco é envasado em tambores metálicos com 2 sacos plásticos de polietileno. Em cada tambor é colocado 265 Kg líquido de suco. No tambor consta o número do lote, brix, acidez, “ ratio”, peso bruto e peso líquido, conforme padrão para exportação. Com o número do lote é possível fazer rastreamento desde o fornecedor da matéria-prima, qualidade dessa matéria prima e dados de controle do processo até o consumidor final.

O Quadro f.1 relaciona os equipamentos e o consumo de energia elétrica envolvidas nessa etapa. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. Os homogeneizadores permanecem 24 horas ligados e bomba do envase permanece em média 6 horas por dia ligado.

Tabela f.1 Consumo de energia elétrica no tratamento do suco concentrado

| Equipamentos | Motores | Potência kW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia kJ/Dia | kWh Por Dia |
|---------------------|----------------|------------------------|--|--|----------------------------|
| Homogeneizadores | 2 | 4,4 | 24 | $380,160 \times 10^3$ | 105,6 |
| Bomba de Envase | 1 | 2,2 | 6 | $48,960 \times 10^3$ | 13,6 |
| TOTAL | 3 | 6,6 | | $429,120 \times 10^3$ | 119,2 |

g) Estocagem – Após o suco ser envasado, o mesmo é transportado com uma empilhadeira até a câmara fria e empilhado. A câmara fria possui uma capacidade de estocagem de 1000 toneladas de SLCC, mantida a uma temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. O suco permanece estocado até a sua venda.

O Quadro g.1 relaciona os equipamento e o consumo de energia elétrica durante a estocagem. Os dados da potência dos motores foram coletados através das fichas técnicas de cada equipamento. Os motores do sistema de geração de frio permanecem 24 horas por dia ligados.

Quadro g.1 Consumo de energia elétrica na estocagem do suco concentrado

| Equipamentos | Motores | Potência kW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia KJ/Dia | KWh Por Hora |
|-------------------------|----------------|------------------------|--|--|-----------------------------|
| Compressor de Amônia | 2 | 91,9 | 24 | 7.940,160x10 ³ | 2.205,6 |
| Condensador Evaporativo | 1 | 2,2 | 24 | 190,080 x10 ³ | 52,8 |
| Bateria de Evaporação | 6 | 18,4 | 24 | 1.589,760 x10 ³ | 441,6 |
| TOTAL | 9 | 112,5 | | 9.720,000 x10³ | 2.700,0 |

3.3 EVAPORADOR

A planta estudada possui um evaporador do tipo TASTE, de 4 efeitos e 6 estágios, com capacidade nominal de evaporação de 9072 kg de água por hora (20.000 libras/hora). O diagrama esquemático do evaporador está na Figura 3.2.

O evaporador TASTE é um evaporador de passo único, com múltiplos efeitos e estágios e resfriador "flash" (flash cooler) com condensador barométrico.

O suco de laranja é alimentado no evaporador através de pré aquecedores, colocados nos diversos efeitos. O produto é pasteurizado a 90 °C durante 15 segundos, antes de ser alimentado no primeiro efeito.

O suco alimentado, em qualquer efeito dos estágios, passa por um injetor venturi. Neste ponto, aproximadamente 2 % do suco se evapora no cone de distribuição. Essa evaporação instantânea causa expansão súbita do produto para, aproximadamente 60 vezes o seu volume original, atomizando assim, o líquido restante (98 %). Essa névoa, composta por vapor e líquido, preenche toda a área do cone de distribuição e penetra por igual nos tubos do corpo do estágio, em condição de fluxo turbulento.

A névoa é acelerada para baixo, através dos tubos, onde absorve o calor do vapor (no primeiro efeito, vapor da caldeira), que entra no corpo do estágio do lado externo dos tubos. Devido ao fluxo não ser restringido nesses tubos, e não sendo película, mas névoa, o calor adicionado ao produto não eleva sua temperatura, mas evapora a água aumentando, portanto , o seu volume.

Como a área da seção transversal dos tubos é constante, o aumento do volume resulta na aceleração do produto. A névoa é então térmicamente acelerada até atingir velocidade quase sônica na parte baixa dos tubos (GUMACO Indústria e Comércio Ltda.,1999).

O produto e os vapores de água evaporados saem do feixe tubular pela parte inferior e entram em um separador tipo ciclone, onde o produto é separado dos vapores de água. O produto continua seu percurso para baixo através de tubulações, até a bomba de transferência, que o bombeia até a parte superior do próximo estágio.

Os estágios são todos similares, de modo que o suco é alimentado pela parte superior no injetor venturi, tendo 2% de sua massa evaporada por expansão isoentálpica. A névoa formada preenche o cone de distribuição, sendo acelerada térmicamente em um fluxo de alta turbulência no interior dos tubos, até atingir velocidade quase sônica, e os vapores de água são separados do suco restante, em um separador tipo ciclone.

Cada efeito evapora, aproximadamente, a mesma quantidade de água, isto é, em um evaporador de quatro efeitos, cada um deles evapora aproximadamente 25 % do total.

Quando o suco é bombeado para um estágio do mesmo efeito, ou vai de um efeito para outro de temperatura superior (fluxo em contracorrente), passa por reaquecedores para que sua temperatura seja elevada o necessário para obtenção do “flash “ de 2 % no estágio seguinte.

O concentrado do último estágio chega até o resfriador de “flash , e penetra por meio de um bico injetor, numa atmosfera de baixa pressão absoluta, o que causa evaporação instantanea, ou “flash,” abaixando a temperatura para aproximadamente 18 °C. O resfriador é mantido em uma pressão absoluta mais baixa, por meio de um injetor a vapor.

O resfriamento ou “flash”, também representa uma considerável economia na carga térmica.

O vácuo necessário para o perfeito funcionamento do evaporador é gerado com o uso de injetores de vapor e água fria no condensador barométrico. Normalmente o vapor utilizado nos injetores tem uma pressão de 10 a 12 kgf/ cm² e o consumo é de aproximadamente 10 % do total necessário para evaporação especificamente (GASPARINO, 1982).

O vapor da caldeira entra nos corpos do último pré aquecedor e do primeiro efeito, na parte externa dos tubos. Esse vapor está à pressão de uma atmosfera. O condensado do primeiro efeito sai pela parte inferior e retorna ao tanque de alimentação da caldeira.

Os vapores obtidos no primeiro efeito aquecem o segundo efeito, e são os vapores do segundo efeito que aquecem o terceiro efeito e assim por diante, em todo o evaporador. O vapor que sai no último efeito é condensado no condensador barométrico. Os condensados dos demais estágios são bombeados pela bomba de condensado.

3.3.1 LIMPEZA E SANITIZAÇÃO

Como a operação de evaporação nos evaporadores de suco de laranja é feita à baixa temperatura, a limpeza e a sanitização são fatores importantes para a qualidade final do produto, pois baixas temperatura favorece o desenvolvimento de bactérias do tipo *leuconostoc e lactobacillus*. (GASPARINO, 1982).

Existe também o problema da presença de um flavonóide chamado hesperidina que, durante a concentração, dependendo das condições de trabalho, deposita-se incrustações nos tubos do evaporador e com o tempo se desprendem passando para o suco.

A quantidade de hesperidina presente no suco concentrado, caracteriza falta de limpeza no evaporador.

O pessoal do controle de qualidade coleta amostras regulares do suco concentrado, para verificar o aparecimento da hesperidinas. Quando isso ocorre, o funcionamento da linha é interrompido e faz-se circular uma solução de soda cáustica a 2 % a temperatura de 85 °C para a limpeza do evaporador.

3.3.2 DADOS DE OPERAÇÃO DO EVAPORADOR

- a) **Consumo de Vapor** – 1 kg de vapor evapora 3,4 kg de água
- b) **Quantidade de calor para evaporar 1 kg de água** - 158 kcal/ kg de água evaporada ou 661.07 kJ/ kg de água evaporada.
- c) **Capacidade nominal** – 20.000 libras de água evaporada/ hora ou 9072 kg de água evaporada/ hora
- d) **Vácuo de operação** – 25 polegas de Hg
- e) **Pressão de vapor da caldeira no primeiro efeito** - uma atmosfera.

3.3.3 DADOS COLETADOS NO EVAPORADOR

Foram coletados dados, para determinar os fluxos de massa, para juntamente com os dados coletados na caldeira, determinar o consumo de energia térmica consumida no evaporador.

Os dados coletados estão no anexo A, e foram :

Quadro A.2 - Dados de Produção de SLCC

Quadro A.3 – Dados de brix de entrada do suco no evaporador

Quadro A.4 – Dados do brix de saída do evaporador

Quadro A.5 – Dados das horas de concentração do evaporador

Os dados do tempo de concentração por dia no evaporador, foram coletados através da carta de registro do funcionamento do evaporador.

Os dados de produção de SLCC por dia, foi obtido da seguinte forma:

- a) Total de SLCC produzido no mês = através do somatório das planilhas diárias de produção (anexo A, Quadro A2)
- b) Kg de SLCC / hora de concentração do evaporador = Kg de SLCC produzido no mês / total de horas de concentração no evaporador (anexo A, Quadro A.5)
- c) Kg de SLCC / dia = (Kg de SLCC / hora de concentração no evaporador) x (horas de concentração no evaporador/ dia).

As leituras do grau brix do suco na entrada e saída do evaporador foram feitas em um refratômetro marca SHIBUYA modelo 20693.

3.4 FONTE DE ENERGIA NA UNIDADE INDUSTRIAL DE SLCC

As fontes de energia consumidas pela planta de SLCC, são a lenha da espécie *eucaliptos* e a energia elétrica para operar os motores e para a iluminação da planta. Os dados referente ao consumo de energia elétrica para operar os motores estão no item 3.2 (descrição das fases de processamento para a produção de SLCC). A geração de energia térmica e o consumo de energia elétrica na caldeira será discutida no item 3.5.

O consumo de energia elétrica para iluminação da planta será discutido no item 3.6, e o consumo de energia elétrica para captação de água e tratamento de efluentes será discutido no item 3.7.

As quantidades de energia térmica e elétrica foram convertidas em kJ. Essas conversões permitiram que fossem feitas as comparações da ordem de grandeza das duas fontes de energia usadas.

3.5 GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

A geração de vapor para a planta de SLCC, foi realizada por uma caldeira a lenha da marca H. BREMER LTDA.

A capacidade de produção de vapor é de 6.500 kg de vapor por hora, com uma pressão de trabalho de 15 kgf/cm² e eficiência de 82,5 %. O Quadro 3.5.1 fornecida pela H BREMER LTDA. fornece a relação entre a umidade e o consumo de lenha em kg para produzir 1 tonelada de vapor. Esse quadro e a eficiência da caldeira será usada para calcular a produção de vapor pela caldeira.

Quadro 3.5.1 Consumo de lenha em Kg por tonelada de vapor produzido

(H. BREMER LTDA.)

| PRESSÃO E TEMPERATURA | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| UMIDADE | kg/kgf / °C |
| % | 10 – 183 | 12 – 190 | 15 – 200 | 21 – 245 | 42 – 400 |
| 9 | 168 | 169 | 170 | 177 | 198 |
| 15 | 184 | 185 | 186 | 194 | 216 |
| 25 | 204 | 206 | 207 | 215 | 241 |
| 30 | 233 | 234 | 235 | 245 | 274 |
| 35 | 257 | 258 | 259 | 271 | 303 |
| 50 | 288 | 290 | 291 | 303 | 340 |
| 45 | 318 | 319 | 320 | 335 | 374 |
| 50 | 359 | 360 | 361 | 377 | 422 |
| 55 | 415 | 416 | 417 | 437 | 488 |
| 60 | 510 | 512 | 513 | 538 | 600 |
| 65 | 573 | 575 | 576 | 604 | 675 |
| 70 | 640 | 642 | 644 | 674 | 753 |

O Quadro 3.5.2 nos fornece o consumo de energia elétrica na geração de Vapor. Os dados da potência consumida foi obtida através do manual do equipamento.

Quadro 3.5.2 Consumo de energia elétrica na caldeira

| Equipamentos | Motores | Potência kW | Horas De Operação Por Dia | Consumo De Energia kJ/Dia | kWh Por Dia |
|---------------------|----------------|------------------------|--|--|----------------------------|
| Caldeira | 11 | 74,4 | 24 | 6.428,160 x10 ³ | 1.785,6 |
| TOTAL | 11 | 74,4 | 24 | 6.428,160 x10 ³ | 1.785,6 |

O consumo de energia térmica na planta de SLCC é de 84% da lenha consumida na caldeira, porque 16% do vapor e, portanto, 16% da lenha consumida na caldeira são usados na planta de ração animal (dado levantado junto a várias industrias de SLCC de laranja do Brasil e pela empresa que fez o projeto).

Esse dado foi utilizado para o cálculo do consumo de energia térmica para a produção de SLCC.

Os dados referentes ao consumo de lenha em m³ estão no anexo A.7. Esses dados foram obtidos da seguinte forma: No carrinho de alimentação de lenha da caldeira, foi confeccionado um gabarito que mede 1 m³ de lenha. Toda vez que a caldeira é alimentada, corresponde aproximadamente à 1m³ de lenha. O operador marca o número de vezes que a caldeira foi alimentada na planilha de consumo de lenha e no fim do dia é feito a soma do consumo.

3.6 CONSUMO DE ENERGIA PARA ILUMINAÇÃO DA PLANTA DE SLCC

Quadro 3.6 Consumo de energia elétrica para iluminação da planta de SLCC

| SETOR | POTÊNCIA kW | HORAS DE FUNCIONAMENTO | CONSUMO KJ / DIA |
|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| EXTERNAS | 15,200 | 10 | 547,200 x10 ³ |
| RECEPÇÃO | 4,000 | 10 | 144,000 x10 ³ |
| EXTRAÇÃO | 4,770 | 10 | 171,720 x10 ³ |
| EVAPORAÇÃO | 1,000 | 10 | 36,000 x10 ³ |
| LABORATÓRIO | 2,440 | 24 | 87,840 x10 ³ |
| ENVASE | 0,880 | 24 | 76,032 x10 ³ |
| BALANÇA RODOVIÁRIA | 0,370 | 24 | 31,968 x10 ³ |
| EXPEDIÇÃO | 7,200 | 10 | 259,200 x10 ³ |
| CÂMARA FRIA | 7,060 | 24 | 609,984 x10 ³ |
| CALDEIRA | 5,300 | 10 | 190,800 x10 ³ |
| ÁREA DE APOI | 4,30 | 10 | 156,256 x10 ³ |
| TOTAL | 49,52 | - | 2.311,000 x10³ |

3.7 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E CAPTAÇÃO DE ÁGUA

A estação de tratamento de efluentes é do tipo lodo ativado. A figura 3.7 mostra o esquema de funcionamento da estação

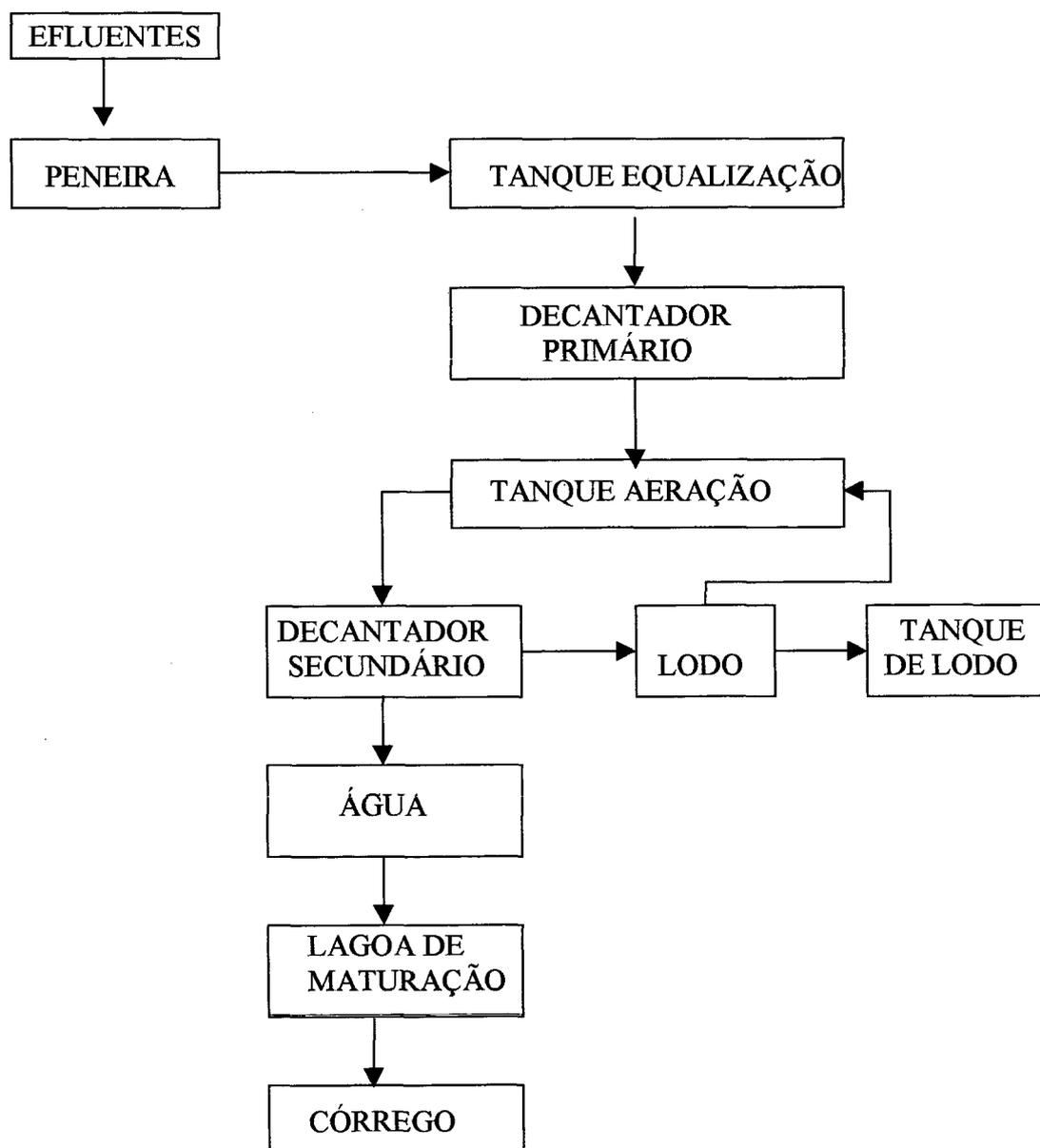


Figura 3.7 Diagrama do processo de tratamento dos efluentes industriais.

A energia elétrica é usada para o funcionamento de motores dos equipamentos, como bombas, misturadores e aeradores. O consumo por dia de energia elétrica é de aproximadamente de 3.590,800 kJ.

A Captação de água é feita em um poço artesiano, por meio de uma bomba de potência de 29,42 kW, com capacidade de recalque de 35.000 l/h. O consumo de energia elétrica é aproximadamente $1.059,120 \times 10^3$ kJ dia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.0 RESULTADOS

Primeiramente, foram analisados os dados globais sobre o consumo de energia elétrica e lenha para geração de vapor, para se determinar a maior forma de energia consumida na planta. Uma vez que a forma mais importante para o funcionamento da planta foi determinada, podemos estudar com mais detalhes o seu uso.

4.1 CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA ELÉTRICA E TÉRMICA NO MÊS DE AGOSTO DE 2000

O consumo de energia elétrica e de energia térmica para a produção de SLCC foi de $1.041,398 \times 10^6$ kJ e $3.011,136 \times 10^6$ kJ respectivamente.

Acrescenta-se aqui que, no consumo de energia elétrica, já estão incluídos os gastos com estocagem de SLCC. No período de coleta de dados estudado, referente a 25 dias de produção, a energia elétrica representou 25,70% do total de energia consumida no processo. A distribuição do consumo por setor é mostrada na tabela 4.1.

O consumo de energia elétrica total foi obtida somando os consumos obtidos nos itens 3.2, 3.5, 3.6, e 3.7. O consumo de energia térmica foi calculado no anexo B.

O custo da energia elétrica e de energia térmica para a produção de uma tonelada de SLCC foi de R\$ 32,00 e R\$ 23,00 respectivamente.

A participação dos custos energético para a produção de uma tonelada de SLCC no mês de agosto de 2000 foi de aproximadamente 7,0% dos custos variáveis.

Quadro 4.1 Consumo de energia elétrica na planta de SLCC

| ETAPA | CONSUMO | |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------|
| | kJ | POCENTAGEM |
| PROCESSAMENTO DE SUCO | 463,671 x10 ⁶ | 44,52 |
| ESTOCAGEM | 243,000 x10 ⁶ | 23,33 |
| GERAÇÃO DE VAPOR | 160,704 x10 ⁶ | 15,43 |
| CAPTAÇÃO DE ÁGUA | 26,478 x10 ⁶ | 2,54 |
| TRATAMENTO DE EFLUENTES | 89,770 x10 ⁶ | 8,62 |
| ILUMINAÇÃO | 57,775 x10 ⁶ | 5,56 |
| TOTAL | 1.041,398 x10⁶ | 100 |

GASPARINO (1982), obteve o valor de 13 % para a contribuição de energia elétrica sobre o total , para a produção de SLCC.

O principal motivo da porcentagem de energia elétrica (25,70%) ser maior na unidade de processamento estudada é o fato de a mesma estar trabalhando abaixo da capacidade instalada. A recepção trabalha com 25 % de sua capacidade. Na clarificação, os turbos filtros trabalham com 50 % de sua capacidade. Também a caldeira e câmara de estocagem de SLCC estão trabalhando com uma capacidade de 50 %.

Esses equipamentos foram projetados para um incremento na produção de 100% com a ampliação para 10 extratoras. No caso da recepção e instalações prediais uma ampliação para até 20 extratoras.

4.2 RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE SLCC E CONSUMO DE ENERGIA – MÊS

A produção total de SLCC na unidade industrial referente ao mês de agosto de 2000 foi de 728.750 kg. Na tabela 4.2 são apresentados dados globais referentes a produção de SLCC com o consumo de energia térmica e elétrica.

Quadro 4.2 Dados globais de produção e consumo de energia

| DENOMINAÇÃO | SLCC |
|--|-------------------------|
| PRODUÇÃO DE SUCO CONCENTRADO 65° Brix (kg) | 728.750 |
| ENERGIA TÉRMICA (kJ) | $3.011,136 \times 10^6$ |
| ENERGIA ELÉTRICA (kJ) | $1.041,398 \times 10^6$ |
| ENERGIA TOTAL = ENERGIA ELÉTRICA + ENERGIA TÉRMICA (kJ) | $4.052,534 \times 10^6$ |
| ENERGIA ELÉTRICA / ENERGIA TOTAL | 0,2570 |
| ENERGIA TÉRMICA (kJ) / PRODUÇÃO DE SUCO (TON) | $4,13 \times 10^6$ |
| ENERGIA ELÉTRICA (kJ) / PRODUÇÃO DE SUCO (TON) | $1,43 \times 10^6$ |
| ENERGIA TOTAL (KJ) / PRODUÇÃO DE SUCO (TON) | $5,56 \times 10^6$ |

4.3 RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE SLCC E CONSUMO DE ENERGIA

TÉRMICA – DIÁRIA

As relações entre a produção de SLCC e o consumo de energia térmica para os dias de produção são apresentados no Quadro 4.3.2. O cálculo do consumo térmico segue o esquema do anexo B, para cada dia de produção

Os dados do Quadro 4.3.2 são plotados na Figura 4.3. Como pode ser observado nessa tabela, uma correlação linear pode ser utilizada para descrever a relação entre a produção de SLCC e o consumo de energia térmica. Realizando uma regressão linear dos pontos experimentais, foram calculados os valores dos coeficientes angular (m), do coeficiente linear (b) e do coeficiente de correlação (r), cujos resultados são mostrados no Quadro 4.3.1.

Quadro 4.3.1 – Correlação linear representando os dados experimentais da variação do consumo de energia térmica com o volume de produção

| COEFICIENTES | RESULTADO |
|--|------------------------|
| ANGULAR (m) (kJ / PRODUÇÃO DIA (Ton)) | $3.264,14 \times 10^6$ |
| LINEAR (b) (kJ) | $2,47 \times 10^6$ |
| CORRELAÇÃO (r) | 0,7861 |

Quadro 4.3.2 Dados experimentais do consumo de energia térmica em função da produção de SLCC

| DATA | PRODUÇÃO DE SLCC (TON) | CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA (kJ) |
|----------------------|-------------------------------------|--|
| 2 | 30,98 | 142,863 x 10 ⁶ |
| 3 | 29,53 | 117,702 x 10 ⁶ |
| 4 | 30,73 | 125,280 x 10 ⁶ |
| 5 | 23,62 | 112,093 x 10 ⁶ |
| 7 | 30,73 | 139,042 x 10 ⁶ |
| 8 | 30,00 | 116,489 x 10 ⁶ |
| 9 | 30,73 | 123,084 x 10 ⁶ |
| 10 | 30,37 | 120,887 x 10 ⁶ |
| 11 | 30,73 | 123,084 x 10 ⁶ |
| 12 | 26,87 | 101,103 x 10 ⁶ |
| 14 | 29,28 | 120,887 x 10 ⁶ |
| 15 | 30,37 | 116,489 x 10 ⁶ |
| 16 | 30,62 | 120,887 x 10 ⁶ |
| 17 | 26,03 | 109,896 x 10 ⁶ |
| 18 | 30,62 | 127,479 x 10 ⁶ |
| 19 | 20,72 | 92,314 x 10 ⁶ |
| 21 | 31,70 | 127,476 x 10 ⁶ |
| 22 | 30,98 | 123,083 x 10 ⁶ |
| 23 | 30,64 | 131,875 x 10 ⁶ |
| 24 | 30,62 | 131,875 x 10 ⁶ |
| 25 | 31,58 | 119,522 x 10 ⁶ |
| 26 | 26,28 | 101,103 x 10 ⁶ |
| 28 | 28,68 | 116,489 x 10 ⁶ |
| 29 | 30,01 | 127,477 x 10 ⁶ |
| 30 | 26,70 | 116,489 x 10 ⁶ |
| DESVIO PADRÃO | | 11,123 X 10⁶ |

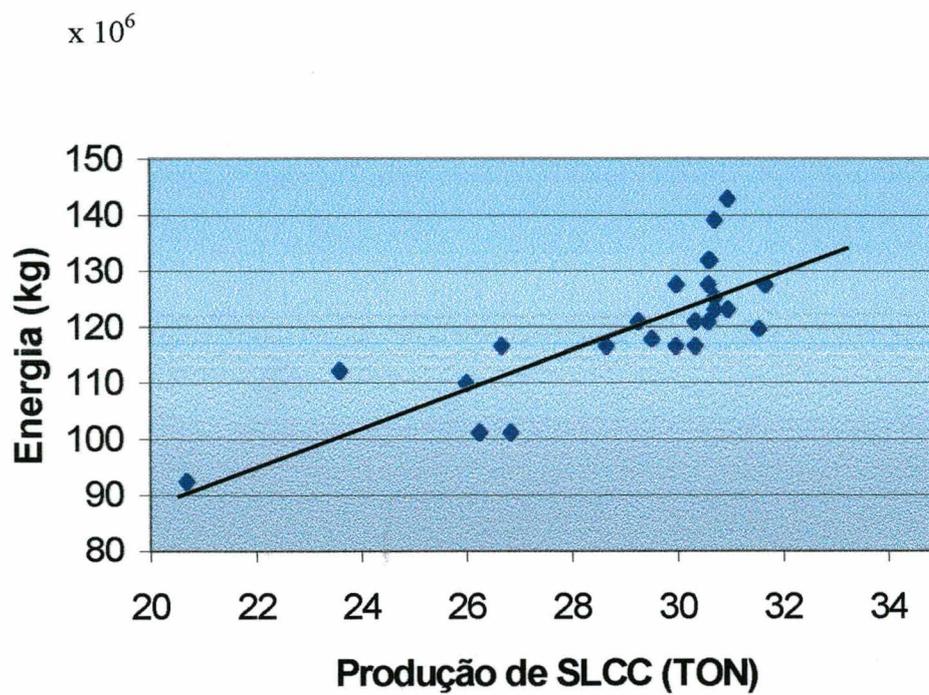


Figura 4.3 – Consumo de Energia por Produção SLCC

Regressão Linear para os Dados B:

$$Y = A + B \cdot X$$

| Parâmetro | Valor | Erro |
|-----------|------------|----------|
| A | 2,47149E7 | 1,5991E7 |
| B | 3264,13879 | 547,1582 |

R coeficiente de correlação Linear – 0,78612

É importante esclarecer que as correlações lineares consideradas são apenas aproximações das relações entre as produções de SLCC e seus respectivos consumo de energia térmica

Essa regressão linear pode ser utilizada para se fazer comparações sobre dados obtidos em períodos diferentes bem como fazer uma previsão de consumo de combustível (lenha) para uma safra inteira.

4.4 VOLUME DE PRODUÇÃO DE SLCC E CONSUMO DE ENERGIA

TÉRMICA - DIÁRIA

O efeito causado pelo volume de produção da unidade industrial em relação ao consumo de energia térmica foi estudado procurando comparar os valores do consumo de energia térmica por tonelada de SLCC, para diferentes volume de produção. O Quadro 4.4 e a Figura 4.4 mostram a relação entre a produção de SLCC e o consumo de energia térmica para a produção de uma tonelada de SLCC, no período de 2 a 30 de agosto de 2000. O cálculo do consumo de energia térmica segue o esquema do anexo B, calculando o consumo diário.

A existência de um valor mínimo no consumo de energia térmica por tonelada de produto produzido, indica que é desejável operar a planta de SLCC perto de sua capacidade instalada fato esse que muitas vezes não ocorre, pois o fornecimento de matéria prima (laranja) não é constante durante a safra.

Quadro 4.4 Consumo de energia térmica por tonelada de SLCC

| DATA | PRODUÇÃO DE SLCC (TON) | kJ/ TON |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 2 | 30,98 | 4,61 x 10 ⁶ |
| 3 | 29,53 | 3,99 x 10 ⁶ |
| 4 | 30,73 | 4,08 x 10 ⁶ |
| 5 | 23,62 | 4,74 x 10 ⁶ |
| 7 | 30,73 | 4,52 x 10 ⁶ |
| 8 | 30,00 | 3,89 x 10 ⁶ |
| 9 | 30,73 | 4,00 x 10 ⁶ |
| 10 | 30,37 | 3,98 x 10 ⁶ |
| 11 | 30,73 | 4,05 x 10 ⁶ |
| 12 | 26,87 | 3,76 x 10 ⁶ |
| 14 | 29,28 | 4,13 x 10 ⁶ |
| 15 | 30,37 | 3,84 x 10 ⁶ |
| 16 | 30,62 | 3,95 x 10 ⁶ |
| 17 | 26,03 | 4,22 x 10 ⁶ |
| 18 | 30,62 | 4,16 x 10 ⁶ |
| 19 | 20,72 | 4,45 x 10 ⁶ |
| 21 | 31,70 | 4,02 x 10 ⁶ |
| 22 | 30,98 | 4,00 x 10 ⁶ |
| 23 | 30,64 | 3,97 x 10 ⁶ |
| 24 | 30,62 | 4,31 x 10 ⁶ |
| 25 | 31,58 | 3,78 x 10 ⁶ |
| 26 | 26,28 | 3,85 x 10 ⁶ |
| 28 | 28,68 | 4,06 x 10 ⁶ |
| 29 | 30,01 | 4,25 x 10 ⁶ |
| 30 | 26,70 | 4,37 x 10 ⁶ |
| DESVIO PADRÃO | | 0.25 X 10⁶ |

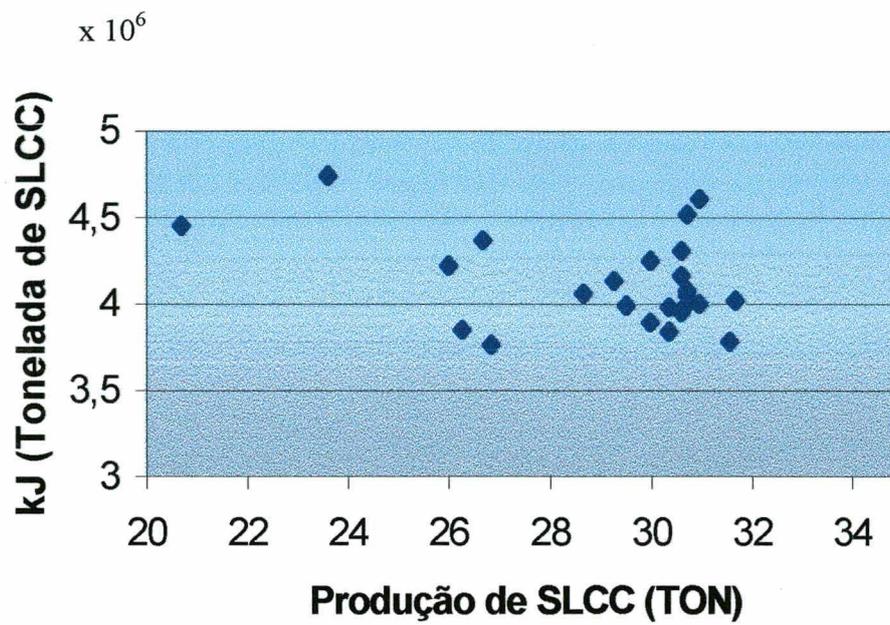


Figura 4.4 – Consumo de Energia Térmica por Tonelada de SLCC

4.5 CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA NO EVAPORADOR - DIÁRIA

O consumo de energia para evaporação de suco de laranja em kJ por kg de água evaporada foi calculado, baseado no consumo de lenha por dia, que nos fornece a produção de vapor consumido pelo evaporador. O cálculo do vapor e da energia em kJ consumida em cada dia, segue o esquema apresentado no anexo B.

O cálculo da quantidade de água evaporada está no anexo C, e a quantidade de água evaporada por hora foi determinada dividindo a quantidade de água evaporada por dia pelas horas de concentração do evaporador, que consta no anexo A, item A. 5.

O Quadro 4.5 nos mostra a relação entre produção de SLCC e a quantidade de água evaporada por hora e a quantidade de energia em kJ para evaporar um kg de água. A Figura 4.5 mostra a relação entre a produção de SLCC e consumo de energia em kJ para evaporar um kg de água.

Quadro 4.5 Consumo de energia para evaporar 1 Kg de Água

| DATA | PRODUÇÃO SLCC (TON) | kJ /kKg DE ÁGUA EVAPORADA | Kg de água evaporada/hora |
|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 2 | 30,98 | 727,67 | 9,145 x 10 ³ |
| 3 | 29,53 | 694,22 | 8,296 x 10 ³ |
| 4 | 30,73 | 694,21 | 8,487 x 10 ³ |
| 5 | 23,62 | 849,95 | 8,097 x 10 ³ |
| 7 | 30,73 | 807,13 | 8,116 x 10 ³ |
| 8 | 30,00 | 618,94 | 9,058 x 10 ³ |
| 9 | 30,73 | 543,66 | 10,658 x 10 ³ |
| 10 | 30,37 | 664,94 | 8,630 x 10 ³ |
| 11 | 30,73 | 7744,40 | 7,849 x 10 ³ |
| 12 | 26,87 | 658,85 | 7,906 x 10 ³ |
| 14 | 29,28 | 773,67 | 7,727 x 10 ³ |
| 15 | 30,37 | 723,49 | 7,645 x 10 ³ |
| 16 | 30,62 | 698,39 | 8,161 x 10 ³ |
| 17 | 26,03 | 756,94 | 8,053 x 10 ³ |
| 18 | 30,62 | 802,94 | 7,485 x 10 ³ |
| 19 | 20,72 | 853,13 | 7,567 x 10 ³ |
| 21 | 31,70 | 773,67 | 7,516 x 10 ³ |
| 22 | 30,98 | 656,57 | 8,763 x 10 ³ |
| 23 | 30,64 | 752,76 | 8,270 x 10 ³ |
| 24 | 30,62 | 777,85 | 8,009 x 10 ³ |
| 25 | 31,58 | 681,67 | 7,969 x 10 ³ |
| 26 | 26,28 | 731,85 | 7,579 x 10 ³ |
| 28 | 28,68 | 736,03 | 7,972 x 10 ³ |
| 29 | 30,01 | 773,67 | 7,927 x 10 ³ |
| 30 | 26,70 | 815,49 | 7,741 x 10 ³ |
| DESVIO PADRÃO | | 71,20 | |

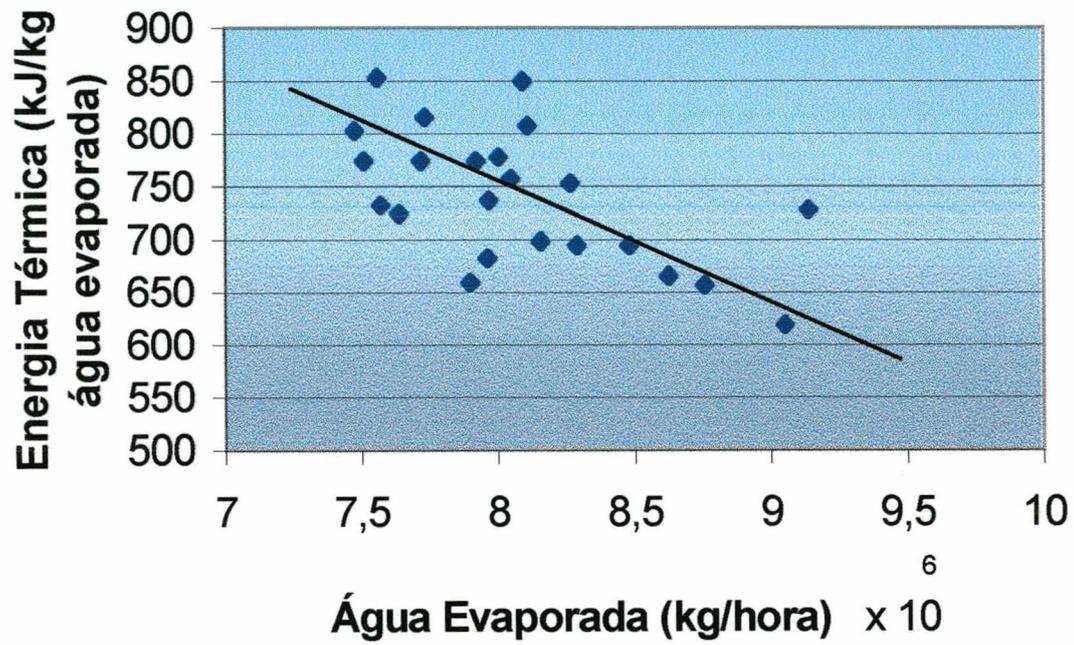


Figura 4.5 – Consumo de Energia Térmica por kg de água evaporada

Podemos observar no Quadro 4.5 e na Figura 4.5 que o valor da energia em kJ para evaporar um kg de água diminui, quando a quantidade de água evaporada aumenta, sendo que a faixa de consumo do evaporador é da ordem de 543,66 kJ (130 kcal) a 853,13 kJ (204 kcal) para cada kg de água evaporada.

Levando em conta possíveis erros cometidos para determinar a quantidades de lenha consumidas, as variações do teor de umidade dessa lenha, ainda assim acreditamos estar próximo da realidade.

Segundo a GUMACO Industria e Comércio Ltda., fornecedor do evaporador o consumo de energia térmica para esse evaporador, que possui quatro efeitos e seis estágios, com a capacidade instalada de 9.072 kg de água evaporada por hora, é aproximadamente 661.07 kJ / Kg água evaporada (158 kcal).

Verificando o Quadro 4. 5 observamos que quando o evaporador operar próximo de sua capacidade instalada, o consumo de energia térmica se aproxima do fornecido pelo fabricante.

Quanto aos valores maiores de consumo são tomados como exemplo, 853 kJ / kg de água evaporada, referente ao dia 19 de agosto, observa que o evaporador estava operando com aproximadamente 83 % de sua capacidade instalada.

Com esse resultado obtido podemos afirmar que quando o evaporador esta operando próximo de sua capacidade instalada, maior será a economia de energia térmica.

O fornecimento de laranja não é constate durante todos os dias de processamento devido a vários fatores como início da safra e condições climáticas, mas há a necessidade de se fazer um estudo para estipular uma quantidade mínima de laranja para que a planta de processamento seja operada.

4.6 CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA NO EVAPORADOR / MÊS

4.6.1 Cálculo do consumo de energia térmica no evaporador (Anexo B) =

$3.011,136 \times 10^6$ kJ.

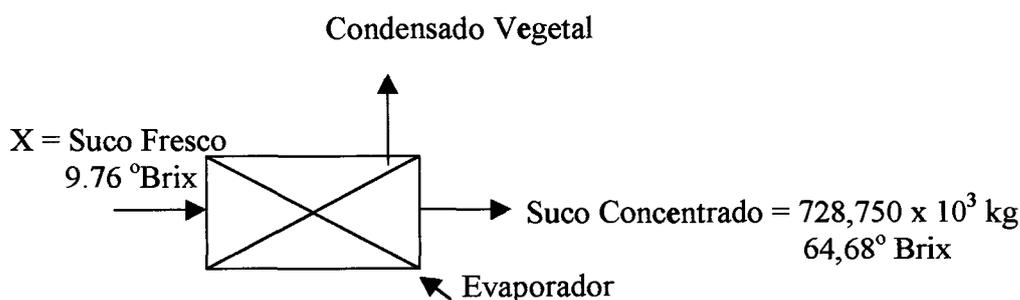
4.6.2 Cálculo da quantidade de água evaporada.

Brix médio entrada evaporador = Σ Brix médio do dia / 25 = 9,76

Brix médio saída evaporador = Σ Brix médio do dia / 25 = 64,68

Quantidade de suco produzido mês = $728,750 \times 10^3$ kg

Quantidade de suco entrada do evaporador = x



Balço Massa de Sólidos Solúveis

Entra = Sai

$$X \cdot 9,76 = \underline{728,750 \times 10^3 \times 64,68}$$

$$X = \frac{47.135,550 \times 10^3}{9,76} = 4.829,462 \times 10^3 \text{ kg de Suco Entrada Evaporador}$$

4.6.3 Cálculo de quantidade de água evaporada

$$4.829,463 \times 10^6 - 728,750 \times 10^6 = 4.100,712 \times 10^3 \text{ kg}$$

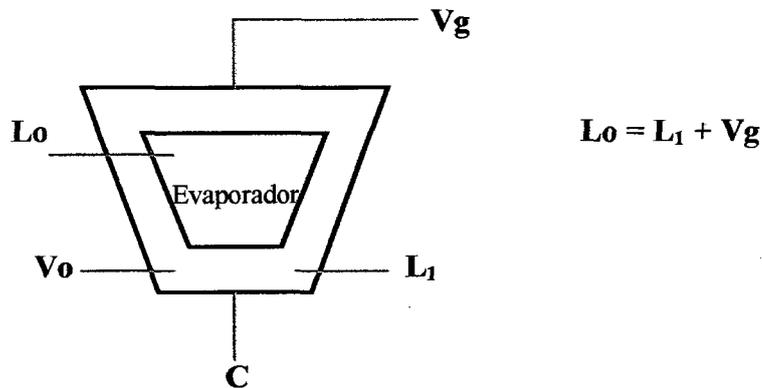
4.6.4 Cálculo do consumo de energia térmica para evaporar um Kg de água

KJ/ Kg evaporada = consumo de energia térmica/ Kg de água evaporada = 734,29 KJ/

Kg de água evaporada.

4.7 CÁLCULO DE ECONOMIA DE VAPOR NO EVAPORADOR REFERENTE

AO MÊS DE AGOSTO DE 2000



L_0 = Quantidade de suco a 9,76 °Brix = $4.829,462 \times 10^3$ kg

L_1 = Quantidade de suco a 64,68 °Brix = $728,750 \times 10^3$ kg

V_g = Quantidade de água evaporada $L_0 - L_1 = 4.100,712 \times 10^3$ kg

V_0 = Consumo de vapor no evaporador = 1.335,108 kg (Apêndice B)

Economia de vapor = $V_g / V_0 = 3,07$ (1 kg de vapor evapora 3,07 kg de água)

A economia de vapor fornecida pela GUMACO Industria e Comércio Ltda. é de 3,40 (1kg de vapor evapora 3,40 kg de água) quando o evaporador está operando com sua capacidade instalada. A planta estudada operou no mês de agosto de 2000 com 89,5 de sua capacidade instalada, em média.

4.8 MEDIDAS PARA CONSERVAÇÃO DE VAPOR NO EVAPORADOR

O consumo de vapor na planta de SLCC, na operação de concentração, deve ser reduzido sem trazer prejuízos, tanto no nível de produção do suco concentrado, quanto na sua qualidade. As medidas disponíveis para reduzir o consumo de vapor nos evaporadores são :

- a) Aumento do número de efeitos;
 - b) Controle automático do fluxo do suco fresco e de vapor pelo uso do controle automático do processo;
 - c) Recompressão de vapor do último efeito, usando recompressão mecânica de vapor (RMV) ou recompressão térmica de vapor (RTV).
- a) Com o aumento de número de efeitos nos evaporadores, a área de transferência de calor também aumenta e, conseqüentemente, a economia de vapor também aumenta.

Existem poucos trabalhos publicados que fornecem a economia de consumo de vapor para os evaporadores TASTE; contudo, usando-se o valor estabelecido no projeto construtivo de evaporadores de $0,85 N$ de eficiência (onde N é o número de efeitos), a economia no consumo de vapor para um evaporador de quatro efeitos é de 3,40, passando para 4,25 Kg de água evaporada / Kg de vapor, para um evaporador de cinco efeitos, trazendo com isso uma substancial economia .

b) CHEN et al, (1981) utilizando um microcomputador para efetuar o controle automático de um evaporador tipo TASTE de seis efeitos e oito estágios, conseguiram diminuir o consumo de energia em aproximadamente 6,7 %. Esse melhoramento em termos de consumo de energia é pequeno quando se comparando a grande economia no consumo de energia que pode ser conseguido com o aumento do número de efeitos nos evaporadores.

c) A recompressão do vapor é freqüentemente utilizada com a finalidade de conservação de energia nos sistemas de evaporação. A recompressão de vapor que sai do último efeito pode ser feita com o uso de energia térmica e é denominada de recompressão térmica de vapor (RTV) ou então com o uso de energia elétrica onde recebe o nome de recompressão mecânica de vapor (RMV).

4.9 COMPARAÇÃO DOS DADOS DE PROJETO COM OS OBTIDOS NA PLANTA DE SLCC.

As figuras 4.9.1 e 4.9.2 representam os fluxogramas de produção e consumo de energia. O primeiro fornecidos pela empresa GUMACO Indústria e Comércio Ltda., que realizou o projeto, e o segundo obtidos durante o estudo e acompanhamento da produção do mês de agosto, respectivamente. O Quadro 4. 9 mostra as principais diferenças verificadas entre os fluxogramas.

Quadro 4.9 Dados de projeto e levantados no mês de agosto de 2000

| ITEM | DADOS PROJETOS | DADOS LEVANTADOS |
|---|-----------------------|----------------------|
| ECONOMIA DE VAPOR | 3,40 | 3,07 |
| kJ/ kg DE ÁGUA EVAPORADA | 661,07 | 734,29 |
| HORAS DE CONCENTRAÇÃO | 550 | 505 |
| PRODUÇÃO DE SLCC kg | $849,867 \times 10^3$ | $728,75 \times 10^3$ |
| CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA (kJ) POR TONELADA DE SLCC | $3,89 \times 10^6$ | $4,13 \times 10^6$ |
| QUANTIDADE DE ÁGUA EVAPORADA POR HORA (kg) | 9.072 | 8.120 |

Com relação às principais diferenças entre o projetado e o verificado no mês de agosto de 2000 temos os seguintes comentários:

O número de 22 horas trabalhadas por dia na operação de concentração, considerado no projeto, é um dado típico das indústrias do estado de São Paulo. Com um número menor de horas de concentração, de aproximadamente 20,20 horas verificado durante esse trabalho, a quantidade de suco produzido no mesmo período foi menor que o projetado e também a quantidade de laranja processada foi menor.

Essa diferença verificada, salvo os problemas como queda de energia e quebra de equipamentos, é devido principalmente ao processo de lavagem do evaporador.

Nas indústrias de São Paulo os evaporadores são lavados três vezes ao dia. Na planta estudada o número de lavagem foi de seis vezes ao dia.

O número de limpeza do evaporador da planta estudada é maior principalmente pelas diferenças físico-químicas da laranja produzidas em São Paulo e Santa Catarina. As laranjas produzidas em Santa Catarina apresentam uma espessura de casca entre 4,0 a 8,0 mm, em quanto no estado de São Paulo a espessura da casca varia entre 2,0 a 3,0 mm

Quanto maior a espessura da casca, maiores são as quantidades de pectina e hesperidinas no suco. Com isso, o aparecimento de hesperidina no suco concentrado ocorre mais frequentemente, sendo necessário um maior número de interrupções para limpeza.

Durante a limpeza, o consumo de vapor é praticamente o mesmo que durante a concentração, contribuindo para que a relação quantidade de água evaporada por Kg de vapor diminua. Lembrando também que durante a lavagem o consumo de energia elétrica continua constante.

O resultado maior também na quantidade de energia térmica para evaporar um Kg de água é decorrente do fato de o evaporador operar com 89,5 % de sua capacidade instalada em média.

No projeto a quantidade de suco fresco considerado foi de 265 Kg / h, enquanto que o resultado obtido foi de 239 Kg / h.

4.9.1 FLUXOGRAMA QUANTITATIVO - PROJETO

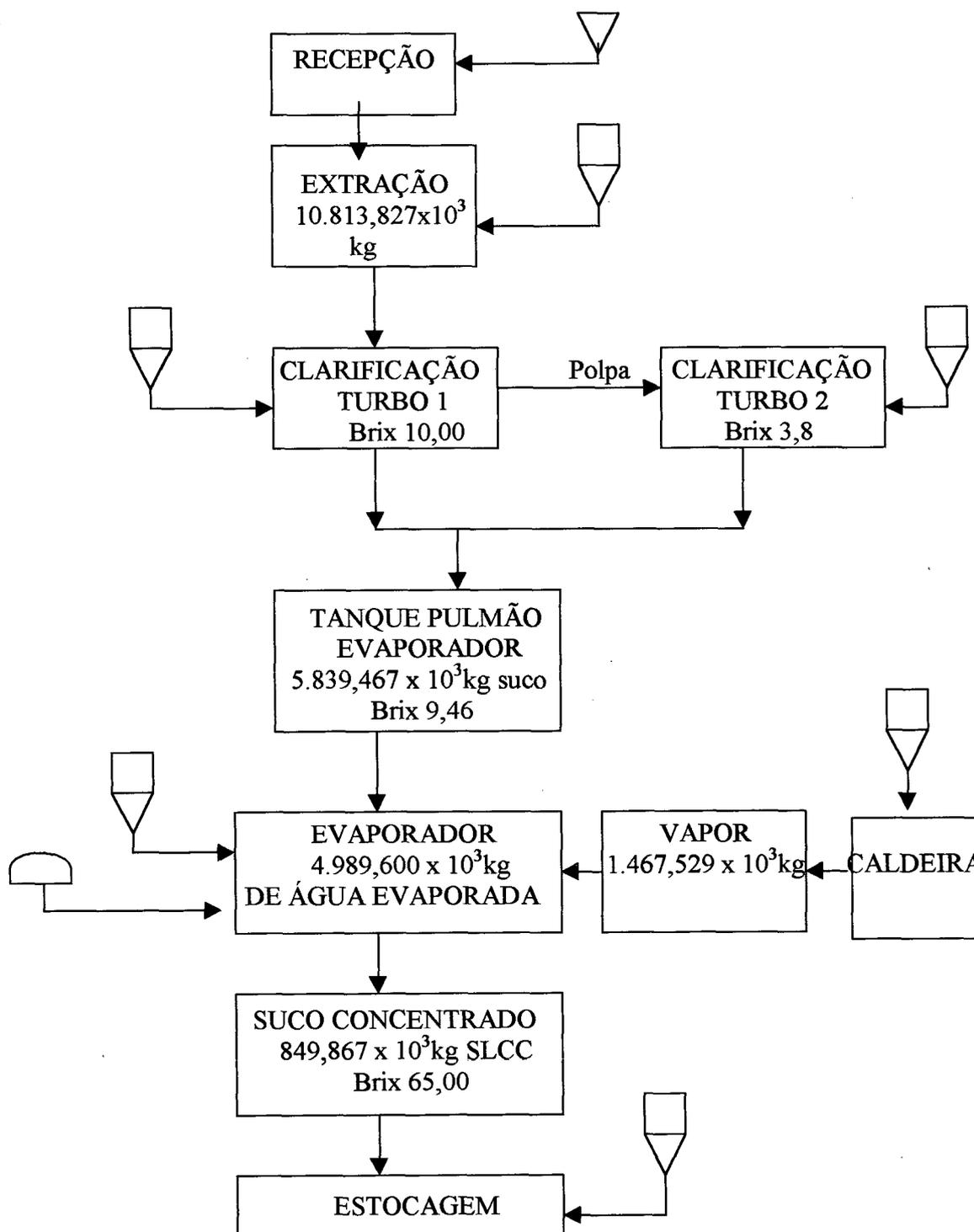


Figura 4.9.1 Fluxograma quantitativo do projeto

4.9.2 FLUXOGRAMA QUANTITATIVO LEVANTADO MÊS AGOSTO

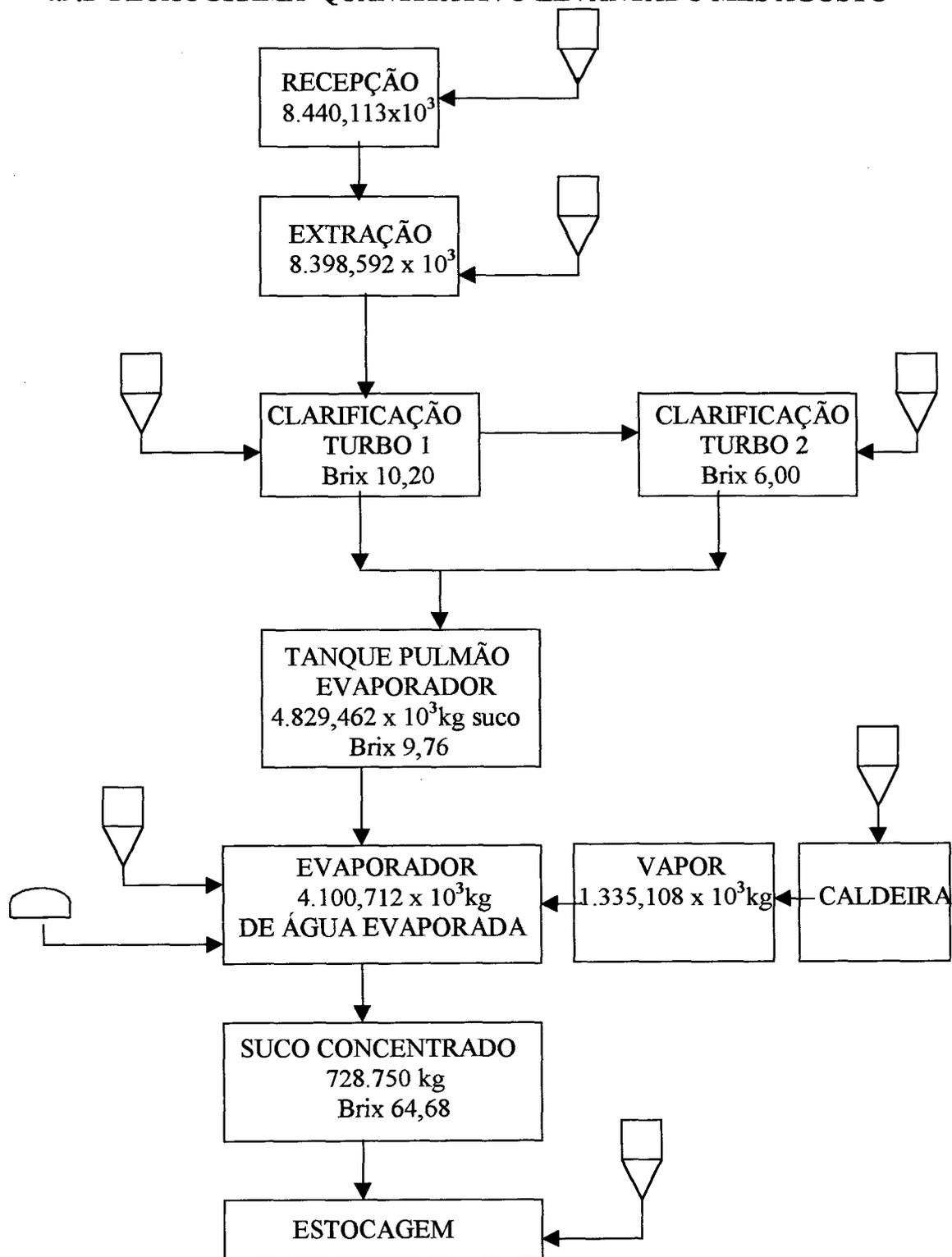


Figura 4.9.2 Fluxograma quantitativo produção mês de agosto 2000

CONCLUSÃO

5.0 CONCLUSÕES

Durante os 25 dias de acompanhamento da planta, a produção de SLCC não foi constante, devido a alguns problemas, como parada por quebra de equipamentos ou falta de matéria-prima.

A fonte de energia térmica para produção do vapor que alimenta a planta de SLCC é lenha, no qual foi estipulado uma umidade uniforme de 45 %. Sabemos no entanto que essa umidade não é constante, devido ao fato de o depósito estar a céu aberto. Além disso foi queimado lenha verde.

O consumo de energia elétrica em relação ao consumo total, foi maior que os verificados na literatura (GASPARINO, 1982), porque muitos equipamentos estão trabalhando abaixo de suas capacidades nominais, prevendo uma futura ampliação.

O consumo de energia térmica acompanha os níveis de produção de SLCC.

Podemos usar equações lineares para descrever a correlação existente entre as produções de SLCC e o consumo de energia térmica.

O consumo de energia térmica no evaporador em kJ por kg de água evaporada, diminui com o aumento da quantidade de água evaporada por hora, atingindo valor mínimo próximo da capacidade instalada do evaporador

As principais sugestões são:

- 1) Aumentar de quatro para cinco o número de efeitos do evaporador
- 2) Também para melhorar a eficiência em kJ por kg de água evaporada, foi proposto um estudo para a substituição de turbo filtro número 1, por outro equipamento de filtragem, para tentar diminuir as concentrações de hesperidinas e pectina do suco, com isso diminuir o número de lavagens, aumentando o número de horas de concentração, bem

como a possibilidade de se fazer uma melhor lavagem de polpa no segundo turbo filtro, aumentando assim a vazão em kg/ h de entrada de suco fresco no evaporador.

3) Evitar a queima de lenha verde, e fazer uma cobertura para a lenha perto da caldeira com a capacidade de aproximadamente 5 dias de produção.

4) Com relação a energia elétrica, seria importante fazer um estudo para verificar a possibilidade de desligar alguns equipamentos, durante horário de ponta (18:30 às 21:30). Com isso será possível reduzir a demanda contratada junto a empresa distribuidora de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ABECITRUS, Associação Brasileira de Exportadores de Citrus. www.abcitrus.com.br, 2000.
2. ACACITRUS, Associação Catarinense de Citricultores, Chapecó, p. 15-16, 1992.
3. ALMEIDA, L. S. B. ; GASPARINO, F. J. ; MORETTI, V. A. ; CANTO, W. L. Estudo econômico alimentos processados : Economia de energia e redução de custos na indústria de suco de laranja, São Paulo – ITAL, 98 p, 1984
4. CORROAD, P. A. ; SINGH, R. P. ; CHHINNAN, M. S. ; JACOB, N. L. & ROSE, W. W. Energy use quantification in the canning of clingstone peaches. **Journal of Food Science**, Chicago, **45** : 723-725, 1980.
5. CHEN, C. S. Evaporator technology for citrus. Paper nº 81-6014 presented at the 1981 Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers, Orlando, Florida, EUA.
6. CHEN, C.S. ; CARTER, R. D.; DEIMLING, C. J. & MOISA, E. S. Microcomputer control of commercial citrus TASTE evaporators. Transactions of 1981 Citrus Engineering Conference, Florida Section of American Society of Mechanical Engineers, Lakeland, Florida. 58 – 80.
7. CHHINNAN, M. S. ; SINGH, R. P. ; PEDERSEN, L. D. ; CARDOSO, P. A. ; ROSE, W. W. & JACOB, N. L. Analysis of energy utilization in spinach processing. **Transactions of the American Society Agricultural Engineers**, Saint Joseph, Michigan, **23** (2) : 503-507, 1980.
8. GASPARINO, F. J. Estudo do consumo e conservação de energia em uma unidade industrial de suco de laranja concentrado congelado, São Paulo, USP, 118 p. , 1982

9. GOLDEMBERG, J. Economia de energia no setor industrial, Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo (PROMOCET), São Paulo, 1981.
10. GUMACO Indústria e Comércio Ltda., Manual de Operação para Evaporador TASTE 20.000 lb/h, 18p, 1999.
11. H. BREMER & FILHOS LTDA. Prontuário da Caldeira, 22p, 1999.
12. HEID, J. L. & CAS TEN, J. W. Vacuum concentration of fruit and vegetable juice. In : **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology**, 1st edition, p. 278-313, eds. D. K. Tressler and M. A. Joslyn. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, U. S. A. , 1961.
13. OKADA, M. ; RAO, M. A. ; LIMA, J. E. & TORLONI, M. Energy consumption and the potential for conservation in a spray – dried coffee. **Journal of Science**, Chicago, **45** : 685-688, 1980.
14. RAO, M. A. ; KATZ, J. ; KENNY, J. F. & DOWNING, D. L. Thermal energy losses in vegetable canning plants. **Food Technology** , Chicago, **30** (12) : 44 – 52, 1976.
15. SINGH, R. P. ; CARROAD, P. A. ; CHINNAN, M. S. ; W. W. & JACOB, N. L. Energy accounting in canning tomato products. **Journal of Food Science**, Chicago, **45**: 735-739, 1980.
16. SINGH, R. P. Energy in food Processing, Vol 1, Edited by R. P Singh. Editora Elsevier. 1986.
17. VELDHUIS, M. K. Orange and tangerine juice. In: **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology** 2nd edition, p. 81-91, eds. D. K. Tressler and M. A. Joslyn, The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, U. S. A. , 1971.

ANEXOS

ANEXO A**DADOS COLETADOS NA PLANTA DE SLCC**

QUADRO A1 – DADOS DE RECEBIMENTO DE FRUTA

| DATA AGOSTO/ 2000 | MATÉRIA PRIMA RECEBIDA (kg) | MATÉRIA PRIMA PROCESSADA (kg) | PORCENTAGEM DESCARTE |
|------------------------------|---|---|---------------------------------|
| 2 | 347.983 | 344.896 | 0,89 |
| 3 | 370.775 | 368.082 | 0,73 |
| 4 | 362.169 | 360.508 | 0,46 |
| 5 | 362.169 | 360.507 | 0,46 |
| 7 | 183.812 | 180.542 | 1,78 |
| 8 | 287.042 | 285.661 | 0,48 |
| 9 | 303.202 | 301.605 | 0,53 |
| 10 | 297.212 | 295.936 | 0,43 |
| 11 | 332.718 | 330.734 | 0,60 |
| 12 | 332.719 | 330.734 | 0,60 |
| 14 | 375.917 | 373.971 | 0,52 |
| 15 | 353.017 | 352.397 | 0,18 |
| 16 | 337.878 | 336.487 | 0,41 |
| 17 | 339.126 | 337.928 | 0,35 |
| 18 | 303.575 | 301.650 | 0,63 |
| 19 | 302.575 | 301.650 | 0,31 |
| 21 | 356.940 | 355.535 | 0,39 |
| 22 | 383.622 | 382.292 | 0,35 |
| 23 | 416.230 | 414.075 | 0,52 |
| 24 | 338.530 | 336.550 | 0,42 |
| 25 | 384.190 | 382.565 | 0,42 |
| 26 | 344.790 | 343.395 | 0,40 |
| 28 | 215.335 | 213.975 | 0,63 |
| 29 | 370.707 | 368.997 | 0,46 |
| 30 | 438.980 | 437.800 | 0,27 |
| TOTAL | 8.440.113 | 8.398.592 | 0,49 |

QUADRO A.2 - DADOS DE PRODUÇÃO DE SLCC

| DATA MÊS DE AGOSTO/2000 | PRODUÇÃO DE SLCC (kg) |
|--|--|
| 2 | 33.997 |
| 3 | 29.531 |
| 4 | 30.731 |
| 5 | 23.616 |
| 7 | 30.731 |
| 8 | 30.008 |
| 9 | 30.731 |
| 10 | 30.370 |
| 11 | 30.370 |
| 12 | 26.870 |
| 14 | 29.285 |
| 15 | 30.370 |
| 16 | 30.616 |
| 17 | 26.031 |
| 18 | 30.616 |
| 19 | 20.723 |
| 21 | 31.700 |
| 22 | 30.977 |
| 23 | 30.645 |
| 24 | 30.616 |
| 25 | 31.577 |
| 26 | 26.277 |
| 28 | 28.678 |
| 29 | 30.008 |
| 30 | 26.696 |
| TOTAL | 728.750 |

QUADRO A.3 - DADOS DE BRIX DE ENTRADA DO SUCO NO EVAPORADOR

| DATA AGOSTO | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura 3 | Leitura 4 | Leitura 5 | MÉDIA |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| 2 | 9,50 | 8,40 | 8,60 | - | - | 8,83 |
| 3 | 10,50 | 10,20 | 9,20 | 9,40 | 8,70 | 9,60 |
| 4 | 10,20 | 8,60 | 9,40 | - | - | 9,40 |
| 5 | 10,40 | 9,20 | 9,80 | - | - | 9,80 |
| 7 | 9,80 | 9,90 | 9,70 | - | - | 9,80 |
| 8 | 9,60 | 7,70 | 9,40 | - | - | 8,90 |
| 9 | 10,40 | 6,10 | 6,70 | - | - | 7,73 |
| 10 | 10,20 | 9,80 | 8,90 | 9,20 | 8,30 | 9,29 |
| 11 | 9,90 | 9,80 | 10,20 | 10,30 | - | 10,05 |
| 12 | 10,40 | 9,60 | 10,00 | - | - | 10,00 |
| 14 | 10,40 | 10,00 | 9,90 | 10,50 | - | 10,20 |
| 15 | 10,40 | 10,20 | 10,30 | - | - | 10,30 |
| 16 | 10,50 | 10,20 | 9,60 | 8,60 | - | 9,72 |
| 17 | 10,20 | 9,70 | 10,20 | 9,30 | - | 9,85 |
| 18 | 10,50 | 10,40 | 10,50 | - | - | 10,47 |
| 19 | 10,40 | 10,20 | 10,50 | - | - | 10,37 |
| 21 | 10,40 | 10,20 | 10,50 | - | - | 10,44 |
| 22 | 9,0 | 8,60 | 9,50 | 9,80 | - | 9,15 |
| 23 | 10,50 | 9,90 | 9,20 | 8,90 | - | 9,63 |
| 24 | 10,00 | 9,90 | 9,80 | - | - | 9,90 |
| 25 | 10,40 | 9,80 | 9,20 | 10,40 | - | 9,95 |
| 26 | 10,00 | 10,50 | 10,50 | 10,50 | - | 10,37 |
| 28 | 9,90 | 10,0 | 9,80 | 10,10 | - | 9,95 |
| 29 | 10,40 | 9,50 | 10,10 | - | - | 10,00 |
| 30 | 10,30 | 10,10 | 10,20 | - | - | |
| MÉDIA | - | - | - | - | - | 9,76 |

QUADRO A. 4 – DADOS DO BRIX DE SAÍDA DO EVAPORADOR

| Data Mês | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura 3 | Leitura 4 | Leitura 5 | MÉDIA |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| Agosto | | | | | | |
| 2 | 64,50 | 64,90 | 64,70 | 64,60 | - | 64,67 |
| 3 | 64,70 | 64,70 | 64,60 | - | - | 64,67 |
| 4 | 64,60 | 64,50 | 64,60 | - | - | 64,57 |
| 5 | 64,60 | 64,60 | 64,70 | 64,70 | 64,80 | 64,67 |
| 7 | 64,80 | - | - | - | - | 64,80 |
| 8 | 64,60 | 64,70 | - | - | - | 64,65 |
| 9 | 64,80 | 64,60 | 64,70 | - | - | 64,70 |
| 10 | 64,80 | 64,70 | 64,70 | - | - | 64,73 |
| 11 | 64,60 | 64,60 | - | - | - | 64,60 |
| 12 | 64,80 | 64,50 | 64,70 | 64,70 | - | 64,67 |
| 14 | 64,80 | 64,60 | 64,70 | - | - | 64,70 |
| 15 | 64,80 | 64,80 | 64,80 | 64,60 | - | 64,75 |
| 16 | 64,70 | 64,50 | 64,50 | - | - | 64,57 |
| 17 | 64,80 | 64,70 | 64,60 | - | - | 64,70 |
| 18 | 64,70 | 64,70 | 64,60 | - | - | 64,67 |
| 19 | 64,50 | 64,60 | 64,70 | 64,60 | 64,70 | 64,63 |
| 21 | 64,80 | 64,70 | - | - | - | 64,75 |
| 22 | 64,70 | 64,50 | 64,60 | - | - | 64,60 |
| 23 | 64,70 | 64,80 | 64,70 | 64,60 | - | 64,70 |
| 24 | 64,60 | 64,90 | 64,70 | - | - | 64,73 |
| 25 | 64,80 | 64,80 | 64,70 | - | - | 64,77 |
| 26 | 64,60 | 64,60 | 64,60 | 64,80 | 64,90 | 64,75 |
| 28 | 64,80 | - | - | - | - | 64,80 |
| 29 | 64,90 | 64,70 | 64,90 | 64,80 | - | 64,82 |
| 30 | 64,90 | 64,70 | - | - | - | 64,80 |
| MEDIA | | | | | | 64,68 |

QUADRO A.5 – DADOS DAS HORAS DE CONCENTRAÇÃO DO EVAPORADOR

| DATA AGOSTO 2000 | HORAS DE CONCENTRAÇÃO DO EVAPORADOR (H) |
|-----------------------------|--|
| 2 | 21,42 |
| 3 | 20,42 |
| 4 | 21,25 |
| 5 | 16,33 |
| 7 | 21,25 |
| 8 | 20,75 |
| 9 | 21,25 |
| 10 | 21,00 |
| 11 | 21,00 |
| 12 | 18,58 |
| 14 | 20,25 |
| 15 | 21,00 |
| 16 | 21,17 |
| 17 | 18,00 |
| 18 | 21,17 |
| 19 | 14,33 |
| 21 | 21,92 |
| 22 | 21,42 |
| 23 | 21,19 |
| 24 | 21,17 |
| 25 | 21,83 |
| 26 | 18,17 |
| 28 | 19,83 |
| 29 | 20,75 |
| 30 | 18,46 |
| TOTAL | 503,91 |

QUADRO A.7 – CONSUMO DE LENHA NA CALDEIRA

| DATA AGOSTO / 2000 | CONSUMO DE LENHA (m³) |
|-------------------------------|---|
| 2 | 65 |
| 3 | 57 |
| 4 | 57 |
| 5 | 51 |
| 7 | 63 |
| 8 | 53 |
| 9 | 56 |
| 10 | 55 |
| 11 | 56 |
| 12 | 46 |
| 14 | 55 |
| 15 | 53 |
| 16 | 55 |
| 17 | 50 |
| 18 | 58 |
| 19 | 42 |
| 21 | 58 |
| 22 | 56 |
| 23 | 60 |
| 24 | 60 |
| 25 | 54 |
| 26 | 46 |
| 28 | 53 |
| 29 | 58 |
| 30 | 53 |
| TOTAL | 1.370 |

ANEXO B

CÁLCULO DA ENERGIA TÉRMICA TOTAL CONSUMIDA PARA PRODUÇÃO DE SLCC

Para o cálculo em kKJ de energia térmica consumida pelo evaporador foram usados os seguinte dados:

- 1) Umidade da lenha – 45 %
 - 2) Peso específico da lenha = 450 kg / m³
 - 3) Quantidade de lenha para produzir 1000 kg de vapor = 320 kg
 - 4) Eficiência da caldeira = 82,50 %
 - 5) $\Delta H = H_g - H_l = 2255,35 \text{ kJ/kg}$
 - 6) Total de lenha consumida no mês de agosto = 1370 m³
 - 7) Consumo de vapor pelo evaporado = 84 % do produzido pela caldeira.
-
- a) total de lenha consumida = $1370 \text{ m}^3 \times 450 \text{ kg / m}^3 = 616.500 \text{ kg}$
 - b) total de vapor gerado teórico = $616.500 \text{ kg} \times 1000 \text{ kg / 320 kg} = 1.926.562 \text{ kg}$
 - c) total de vapor gerado = $1.926.562 \text{ kg} \times 0,825 = 1.589.414 \text{ kg}$
 - d) total de vapor consumido pelo evaporador = $1.589.414 \text{ kg} \times 0,84 = 1.335.108 \text{ kg}$
 - d) total de energia térmica consumida no evaporador = $1.335108 \text{ kg} \times 2255,35 \text{ kJ/kg} = 3.011,136 \times 10^6 \text{ kJ}$

ANEXO C**CÁLCULO DA QUANTIDADE DE ÁGUA EVAPORADA POR DIA**

- a) $\text{kg de suco na entrada do evaporador} = \text{kg suco na saída do evaporador} \times \text{Brix médio saída} / \text{Brix médio entrada}$.
- b) $\text{kg de água evaporada} = \text{kg de suco na entrada} - \text{kg de suco na saída do evaporador}$.
- c) $\text{Brix médio entrada} = \Sigma \text{Brix entrada} / \text{número de leituras}$
- d) $\text{Brix médio saída} = \Sigma \text{Brix saída} / \text{número de leituras}$

ANEXO D**ECONOMIA DE LENHA EM FUNÇÃO DA REDUÇÃO DA UMIDADE**

A) Consumo de lenha com umidade de 45 %:

Densidade – 450 kg / m³

Consumo em kg por tonelada de vapor produzido – 320 kg

Consumo em m³ por tonelada de vapor produzido – 0,71 m³

B) Consumo de lenha com umidade de 30 %

Densidade – 360 kg / m³

Consumo em kg por tonelada de vapor produzido – 235 Kg

Consumo em m³ por tonelada de vapor produzido – 0,65 m³

Com a redução de 45% a 30% na umidade, haverá uma economia de aproximadamente 10% no consumo de lenha.