



**Universidade Federal da Paraíba**  
**Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR**  
**Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS**



## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

### **AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AÇÚCAR DA USINA MONTE ALEGRE**

**Tatiana Gomes de Pontes**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Erika Adriana de  
Santana Gomes**

**Fevereiro de 2014**



**Universidade Federal da Paraíba**

**Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR**

**Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS**



## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

### **AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AÇÚCAR DA USINA MONTE ALEGRE**

**Tatiana Gomes de Pontes**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia Sucroalcooleira no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a Graduação em Tecnologia Sucroalcooleira.

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Erika Adriana de Santana Gomes**

**Fevereiro de 2014**

P814a Pontes, Tatiana Gomes de.

Avaliação do sistema de secagem do açúcar da Usina Monte Alegre. [recurso eletrônico] / Tatiana Gomes de Pontes. -- 2014.

37 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Erika Adriana de Santana Gomes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia em Produção Sucoalcooleira) – CTRD/UFPB.

1. Secagem industrial. 2. Açúcar. 3. Usina Monte Alegre. I. Gomes, Erika Adriana de Santana. II. Título.

CDU: 66.047

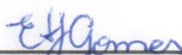
Catálogo na Publicação (CIP)  
Biblioteca Setorial do CTRD/UFPB, PB, Brasil  
Maria José Rodrigues Paiva – CRB 15/387

**TATIANA GOMES DE PONTES**

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AÇÚCAR, DA  
USINA MONTE ALEGRE**

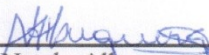
TCC aprovado em 24 de fevereiro de 2014, como requisito para a conclusão do curso de tecnologia em produção sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

**BANCA EXAMINADORA:**



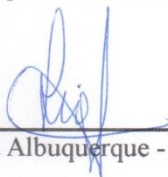
---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Erika Adriana Santana Gomes - (UFPB -Orientador)



---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Nataly Albuquerque dos Santos - (UFPB – Membro Interno)



---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Liana Filgueira Albuquerque - (UFPB – Membro interno)

João Pessoa – Paraíba

*Dedico a Deus, aos meus pais José de Pontes Neto e Tânia Gomes de Pontes, a Prof.<sup>a</sup> Erika Santana e a todos que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por tudo que acontece na minha vida e por sua presença constante no meu cotidiano.

Aos meus pais José e Tânia e a minha irmã Mariana por tudo que sou. Pelos valores e princípios que me ensinaram ao longo dos anos e por todo esforço que fizeram e fazem por mim, além da imensa força e amor transmitido.

Aos meus avós paternos Júlio (in memoriam) e Ana (in memoriam) e aos meus avós maternos Severino e Maria, tios, tias, primos e primas pelo que representam para mim.

Aos meus professores amigos pelo grandioso conhecimento adquirido, compreensão e auxílio durante os três anos, em especial a Prof. Dr<sup>a</sup>. Erika Santana pela imensa ajuda para conclusão deste trabalho.

A Prof. Dr<sup>a</sup>. Nataly Albuquerque e a Prof. Dr<sup>a</sup>. Liana Filgueira por aceitarem participar da banca mesmo em um curto período de tempo.

A todos os meus amigos em especial a Valdir, Samara, Hugo, Thiago e Felipe pelos momentos que passamos. Todos os sorrisos e gargalhadas, ajuda, compartilhamento de conhecimentos e companheirismo prestados durante todo o curso.

A todos os colaboradores da Usina Monte Alegre pelo acolhimento, aprendizado, compreensão, conselhos, confiança depositada em mim e amizade construída que sempre levarei comigo. Em especial a Jailson Alexandre pela ajuda e colaboração com dados para realização deste trabalho.

A Dra. Marlene de Oliveira pela pessoa amiga e compreensiva que é, agradeço pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho na empresa e pelos conhecimentos transmitidos, conhecimentos profissionais e pessoais que levarei comigo sempre. Levarei seu profissionalismo e ética como exemplo de vida.

A todos que contribuíram de forma direta e indireta para realização deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

## RESUMO

A secagem é a operação unitária final na produção de açúcar bruto que envolve a remoção de umidade dos cristais de açúcar após a centrifugação, varia de acordo com o produto, propriedades do ar e como acontece o contato do ar com o produto. A transferência de calor ocorre pela diferença de temperatura do contato do produto com o ar, conseqüentemente, a transferência de massa ocorre pela diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície de contato. A umidade presente nos cristais de açúcar pode ser interna, oclusa e livre, esta deve ser removida totalmente, para preservar a qualidade do produto final durante o armazenamento. A partir do levantamento de dados do Secador-resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL e do Secador-resfriador de Leito Fluidizado Piratininga presentes na Usina Monte Alegre, o sistema de secagem foi avaliado através dos respectivos balanços de massa e energia, mostrando a maior eficiência e melhor qualidade do açúcar no Secador-resfriador de Leito Fluidizado Piratininga.

Palavras chave: secador, transferência de massa, transferência de energia, umidade, qualidade.

## ABSTRACT

The drying unit is the final operation in the production of raw sugar which involves the removal of moisture from the sugar crystals after centrifugation varies according to the product properties of air as it is and the air contact with the product. The heat transfer occurs by the temperature difference of the product contact with the air , therefore, the mass transfer occurs by the difference in partial pressure of water vapor existing between the contact surface and air . The moisture present in the sugar crystals can be internal , occluded free and this should be completely removed to maintain the quality of the final product during storage. From the survey data Cooler rotary drum dryer BSH - Codistil cooler and dryer Fluidized Bed Piratininga Usina Monte Alegre present in the drying system was evaluated through the respective balances of mass and energy , showing the greater efficiency and better quality sugar Dryer Fluidized Bed Cooler Piratininga

Keywords: dryer, mass transfer, energy transfer, humidity, quality.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO GERAL .....	3
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1. SECAGEM .....	4
3.2. CURVA TÍPICA DE SECAGEM.....	9
3.3. TEOR DE UMIDADE .....	11
3.4. CARTA PSICOMÉTRICA .....	12
3.5. SECADORES ROTATIVOS .....	13
4. METODOLOGIA .....	14
4.1. SECADOR -RESFRIADOR DE TAMBOR ROTATIVO BSH-CODISTIL .....	14
4.2. SECADOR-RESFRIADOR DE LEITO FLUIDIZADO PIRATININGA .....	16
4.3. BALANÇO DE MASSA.....	18
4.4. BALANÇO DE ENERGIA .....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
6. CONCLUSÃO .....	26
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	26
8. REFERÊNCIAS.....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Usina Monte Alegre.....	1
Figura 2- Tipos de açúcares produzidos na Usina Monte Alegre.....	2
Figura 3- Curva típica de secagem em condições de secagem; teor de umidade em função do tempo. ....	7
Figura 4- Curva de secagem exemplificada. ....	10
Figura 5- Carta Psicométrica .....	13
Figura 6- Secador de tambor rotativo BSH-CODISTIL.....	15
Figura 7- Superfície interna do secador.....	16
Figura 8- Secador-resfriador de leito fluidizado Piratininga .....	16
Figura 9- Secador/Resfriador Roto-Louvre .....	18
Figura 10- Representação do Balanço de massa .....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados de projeto do secador de tambor rotativo BSH-CODISTIL.....	14
Tabela 2-Dados de projeto do Secador-Resfriador de leite fluidizado Piratininga.....	17
Tabela 3-Dados reais da Usina Monte Alegre.....	22
Tabela 4-Resultados dos Secadores.....	23
Tabela 5-Eficiência (%) dos secadores.....	24

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido na Usina Monte Alegre S/A (Figura 1), está localizada na cidade de Mamanguape - PB, a 50 km da capital. Foi fundada em 1940, pela família Fernandes de Lima, que passou da condição de engenho para a fabricação do açúcar. Em 1990, foi adquirida pelo Grupo Soares de Oliveira, cujas instalações e áreas de cultivo foram ampliadas e modernizadas.



**Figura 1- Usina Monte Alegre**

Sua área agrícola é responsável pelo plantio, cultivo e colheita da cana-de-açúcar para produção, gerando anualmente cerca de 2000 empregos diretos no período da safra. A usina atua no segmento de varejo com a marca açúcar Alegre (Figura 2). Seus principais produtos são: açúcar cristal, triturado (sem a utilização de enxofre), demerara (em embalagens de 1 kg ou 2kg) e VHP (tipo exportação a granel) (Figura 3). Além da produção de etanol.



**Figura 2- Tipos de açúcares produzidos na Usina Monte Alegre**

A Usina Monte Alegre é pioneira no Brasil na fabricação do açúcar sem a utilização do enxofre, devido o mesmo causar danos à saúde e ao meio ambiente. O novo processo consiste na utilização do ozônio no tratamento do caldo e consiste em produzir oxigênio na unidade industrial, provocando a formação do gás ozônio em ampolas específicas, essa tecnologia foi desenvolvida pela Gasil. Sua instabilidade decorre do terceiro átomo de oxigênio, que pode desligar-se facilmente da molécula de ozônio, para se ligar a outras substâncias, oxidando-as e alternando sua composição química. O gás ozônio produzido é misturado ao caldo com o objetivo de oxidar os compostos que alteram a cor.

Visando relacionar os conceitos e quantificações abordados durante o curso com os dados obtidos pelo acompanhamento do processo de produção do açúcar da empresa. Foi feita uma avaliação do sistema de secagem aplicando-se os balanços de massa e energia na verificação da quantidade de energia envolvida no processo, eficiência operacional os quais interferem diretamente nos custos e na preservação da qualidade final do açúcar. O sistema estudado possui dois tipos de secadores, o secador-resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL e o secador-resfriador leito fluidizado Piratininga os quais foram avaliados e comparados de acordo com suas especificações.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar o sistema de secagem da Usina Monte Alegre utilizando os princípios de balanço de massa e energia.

### **2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Acompanhar o sistema de secagem no secador-resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL;
- Acompanhar o sistema de secagem no secador-resfriador de leito fluidizado Piratininga;
  - Coletar os dados dos dois secadores;
  - Analisar os dados obtidos;
  - Aplicar os balanços de massa e energia;
  - Avaliar os dados técnicos dos secadores com relação aos dados operacionais;
  - Comparar os resultados dos secadores;
  - Identificar a influência e a eficiência da secagem na qualidade do produto final.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. SECAGEM**

A secagem é uma das mais antigas e usuais operações unitárias encontradas em diversos processos usados em indústrias agrícolas, cerâmicas, químicas, alimentícias, farmacêuticas, de papel e celulose, mineral e de polímeros. É também uma das operações mais complexas e menos entendida, devido à dificuldade e deficiência da descrição matemática dos fenômenos envolvidos na transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento para os sólidos, baseado em extensiva observação experimental e operacional (MENON; MUJUMDAR, 1987).

Na fabricação do açúcar, a secagem é a última operação unitária e ocorre após a remoção do excesso de umidade dos cristais na centrifugação e está diretamente relacionada com a preservação da qualidade durante o armazenamento. Porém, nem sempre tem a devida atenção no processo produtivo do açúcar, podendo causar perdas na qualidade do produto final que vai para o mercado como o empedramento e formação de cor no seu armazenamento.

A qualidade do produto seco, a quantidade de energia gasta e o tempo utilizado no processo de secagem são parâmetros primordiais para a rentabilidade do bem submetido a esta operação. Os fenômenos de transferência de calor, remoção de umidade e alterações de dimensões, cor, sabor, resistência mecânica e outros, envolvidos em uma operação de secagem são complexos (PACHECO, 2010).

De acordo com Merheb (2009) o resfriamento e a secagem do açúcar são realizados em um secador, um tambor metálico através do qual passa, em contracorrente, um fluxo de ar succionado por um exaustor. O açúcar deve sair do secador com temperatura entre 30° e 40 °C e umidade na faixa de 0,03 a 0,04 %, o açúcar está pronto para ser enviado ao ensacamento. O ar que passa pelo secador arrasta consigo uma pequena quantidade de pó de açúcar, sendo, portanto necessária à lavagem desse ar para recuperação do açúcar arrastado, retornando-o posteriormente para o processo.

De acordo com Rein ( 2013 ) a secagem é a operação unitária final na produção de açúcar bruto. Ela envolve o processo aparentemente simples no qual o excesso de

umidade é removido dos cristais de açúcar após a centrifugação. Porém esta simplicidade aparente é enganosa – o processo de secagem de açúcar combina simultaneamente transferência de calor e massa com alterações químicas de fase.

É importante considerar que a cana-de-açúcar é o principal fator para produção de um açúcar de qualidade, assim como as etapas antecedentes a secagem. A qualidade do açúcar não é estabelecida na etapa final do processo, a secagem apenas preserva as características e boa estabilidade do produto no armazenamento, onde a umidade e temperatura tem papel importante.

A secagem consiste na remoção de uma substância volátil (comumente, mas não exclusivamente, água) de um produto sólido. E a quantidade de água presente no sólido é chamada de umidade. Esta definição de secagem caracteriza-a, diferenciando-a da concentração de uma solução, remoção mecânica de água por filtração ou centrifugação e também dos métodos térmicos relacionados à destilação (PARK, *et al*, 2007).

A secagem de um sólido úmido é feita mediante passagem de uma corrente de ar atmosférico aquecido pelo sólido úmido a uma temperatura e umidade fixas, por uma combinação de transferências de calor (para evaporar o líquido) e massa (para remover a umidade de dentro do sólido), reduzindo a quantidade de água presente no corpo-sólido (FOUST, 2006).

Dessa forma, observa-se que dois fenômenos ocorrem simultaneamente quando um sólido úmido é submetido à secagem (PARK, *et al*, 2007):

Ainda na segunda metade do século XVIII, Lavoisier demonstrou que a matéria poderia ser transformada, mas nunca criada e nem destruída. Ele descobriu que, invariavelmente, a massa das substâncias que participam de uma reação química era igual à soma das massas dos produtos gerados nesta reação. Esta descoberta deu origem à conhecida lei da conservação da massa, que na indústria química foi abreviada para “balanço de massa” ou “balanço material”. Um balanço de massa de um processo contínuo é a soma exata de todos os materiais que entram, saem, acumulam ou são transformados no decorrer de um dado intervalo de tempo de operação (BRASIL, 2004).

Quando o balanço de massa envolve o ar, didaticamente, ele é dividido em duas frações: vapor de água e ar seco. A fração vapor de água pode aumentar ou diminuir. Aumenta, por exemplo, na secagem do açúcar, em que a água removida do produto é



repassada ao ar. E diminui quando ocorre o reumedecimento de produtos ou da condensação de vapor de água sobre superfícies (SILVA, 2013).

Os cristais de açúcar têm capacidade de ceder ou receber água na forma de vapor do ar, devido sua higroscopicidade. O vapor será transferido do ambiente com maior umidade relativa para o de menor, ou seja, por transferência de massa até acontecer o equilíbrio.

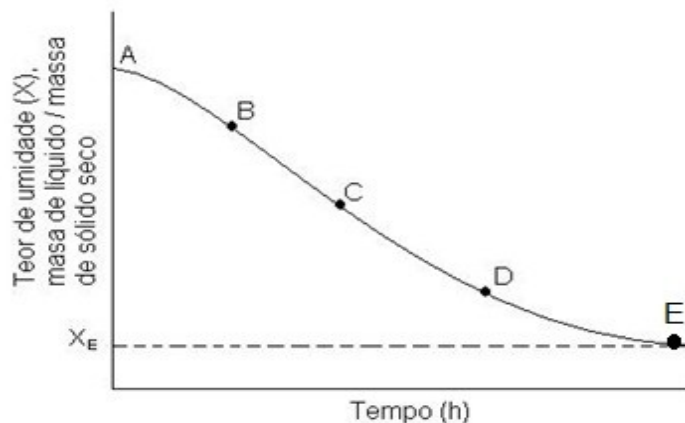
A eficiência da transferência de energia (calor) do ambiente para evaporar a umidade superficial depende das condições externas, temperatura, umidade do ar, fluxo e direção de ar, área de exposição do sólido (forma física) e da pressão. A transferência de massa (umidade) do interior para a superfície do material e sua subsequente evaporação ocorre em decorrência do primeiro processo. O movimento interno da umidade no material sólido é função da natureza física do sólido, sua temperatura e conteúdo de umidade.

A troca de calor ocorre quando o ar é aquecido ou resfriado. Ao receber calor, a entalpia do ar aumenta, a temperatura se eleva e a umidade relativa reduz, pois quanto maior o aporte de calor do ar, maior será capacidade em conter água na forma de vapor. É por isso que na maioria dos secadores, parte do ar de secagem deve passar pela fornalha. No caso do resfriamento do ar empregam-se geradores de frio para remover calor do ar. Com isso, a temperatura do ar diminui e a umidade relativa aumenta, pois o ar perde capacidade de reter água na forma de vapor. E se a quantidade de calor removida for demasiada, parte do vapor de água condensa (SILVA, 2013).

A energia envolvida no balanço pode ser de várias formas entre elas: potencial (devido à atração da massa do sistema por um campo gravitacional); cinética (devido ao movimento relativo das partes componentes do sistema); molecular (devido a translação, rotação ou vibração das espécies moleculares de que o sistema é composto); química (devido às forças de ligação que mantêm os átomos unidos para formar as moléculas); atômicas (responsável por manter intacta a complexa estrutura atômica) e outras. Se qualquer mudança ocorrer na forma de energia dentro do sistema (por exemplo, mudança de energia potencial em cinética), as vizinhanças não serão afetadas (BRASIL, 2004).

O processo de transferência de calor e massa do sólido manifesta-se sob um comportamento típico, que pode ser observado na curva de secagem. Cada sólido possui uma curva característica (PARK, *et al*, 2007). Entretanto, em geral, possuem uma curva

de secagem bem definida, decrescente ao longo do período da secagem, como o ilustrado na Figura 3.



**Figura 3- Curva típica de secagem em condições de secagem; teor de umidade em função do tempo.**

Pode ser observado que no:

**Trecho AB:** onde a umidade do sólido é maior que a umidade do ar contido no sistema de secagem, possibilitando o início da transferência da água que está contida no sólido. No caso do açúcar o calor que proporciona a evaporação da água contida no sólido é proveniente do açúcar que sai da centrífuga com uma temperatura (75 – 70 °C) o qual é suficiente para provocar a evaporação da água do sólido;

**Trecho BC:** é o período de taxa constante onde a temperatura do sólido é igual a ambiente sendo caracterizado pela velocidade de secagem inalterada com a diminuição do teor de umidade. O calor é transferido para a superfície de secagem do sólido basicamente por convecção.

Em linhas gerais, a temperatura do sólido e a velocidade de secagem podem aumentar ou diminuir para chegarem às condições de regime permanente. Nesse regime, as temperaturas no interior do sólido tendem a ser iguais à temperatura de bulbo úmido do gás, permanecendo estáveis e a taxa de secagem também permanece constante (FOUST, *et al*, 2006).

**Trecho CDE:** período de taxa decrescente a taxa de secagem dependente das características de difusão e capilaridade do sólido. Inicia-se quando a umidade do sólido atinge a umidade crítica, que corresponde à umidade possível de ser removida sem alterar a estrutura do sólido.

Este trecho pode ser dividido em duas zonas: zona de secagem não-saturada e zona em que o fluxo interno de água controla o processo. Além desse ponto, a temperatura da superfície eleva-se e a taxa de secagem cai rapidamente (FOUST, *et al*, 2006).

O ponto  $X_E$  (**Ponto E**) é chamado de umidade de equilíbrio a qual garante a preservação das características do sólido seco durante o armazenamento. A taxa de secagem aproxima-se de zero, num certo teor de umidade de equilíbrio, que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem.

Para os trechos CD e DE Podemos salientar:

**Zona de superfície de secagem não saturada (trecho CD):** Neste estágio, a superfície do sólido apresenta áreas secas que se ampliam na proporção em que a secagem prossegue. Consequentemente a taxa de secagem diminui uma vez que a mesma é relativa a toda a área do sólido em contato com o ar. A evaporação ocorre na superfície do sólido e a resistência à difusão interna do líquido é pequena comparada com a resistência para remover o vapor da superfície. A temperatura do sólido aumenta, pois recebe do ar a mesma quantidade de calor que corresponderia ao período de taxa constante, sem, no entanto, ocorrer igual evaporação. Em outras palavras, parte da energia que era utilizada para a evaporação na fase anterior, acaba sendo utilizada para elevar a temperatura do sólido (FOUST, *et al*, 2006). No caso do açúcar esta etapa pode interferir negativamente na cor do açúcar.

**Zona em que o fluxo interno de água controla a operação (Trecho DE):** Caracteriza-se pelo fato de que o fluxo interno de água controla a taxa de secagem. Os fatores que influenciam a taxa de secagem são os mesmo que afetam a difusão da água através de sólidos. Observa-se que a umidade do ar não tem efeito na taxa de secagem, mostrando que esta depende da resistência a difusão da água (FOUST, *et al*, 2006).

Cada sólido possui uma curva característica de secagem que se manifesta sob um comportamento típico (PARK, *et al*, 2007).

A secagem de açúcar bruto é necessária na maioria dos casos por duas razões (REIN, 2013):

- Obter um açúcar com características necessárias ao manejo, ou seja, assegurar que ele se torne e permaneça com fluidez adequada livre e tenha as qualidades físicas e estéticas demandadas pelo mercado.
- Reduzir a probabilidade de perda de sacarose ou formação de cor via degradação química ou microbiológica.

Como orientação na prevenção da deterioração o açúcar este deve ser seco abaixo da umidade limite, determinado pelo fator de segurança  $f$  de acordo com a Equação 1.

$$f = \frac{\text{água \%}}{100 - \text{polarização}} \quad (\text{Equação 1})$$

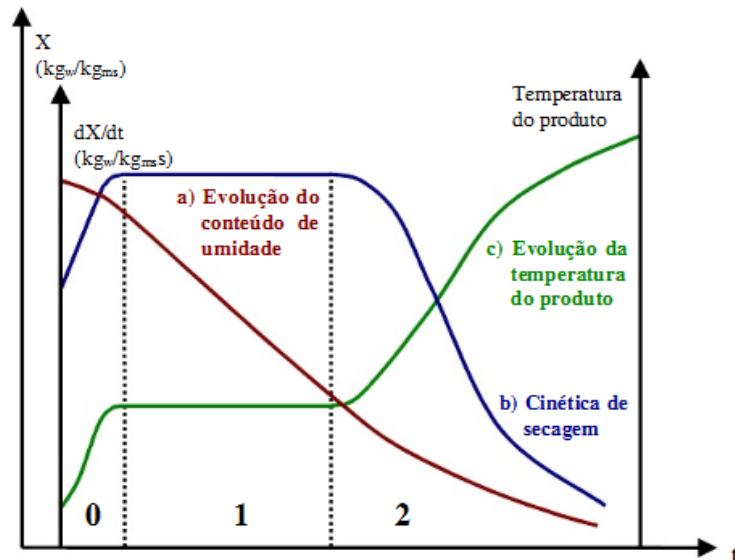
Hugot (1969) afirma que se o  $f$  for maior do que 0,3 o açúcar se deteriorará rapidamente e sugere que o fator de segurança do açúcar seja mantido abaixo de 0,3 para caso exista, a deterioração ocorra lentamente. Porém, o valor do fator de segurança varia conforme alguns países na Índia, um valor de 0,22 é usado para açucares brancos ou refinados, enquanto 0,20 é recomendado para açúcar bruto. A prática na África do Sul é empregar 0,23 para todos os tipos de açúcar.

### **3.2. CURVA TÍPICA DE SECAGEM**

As condições de secagem são diferentes de acordo com o produto, propriedades do ar e como acontece o contato do ar com o produto. A transferência de calor ocorre pela diferença de temperatura do contato do produto com o ar quente. Simultaneamente, a transferência de massa ocorre pela diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície de contato.

A evolução da transferência simultânea de calor e de massa no transcorrer da operação unitária da secagem é dividida em três períodos que será demonstrada a seguir de acordo com Park, *et al*, (2007).

Na Figura 4 são mostradas as curva de evolução do teor de água do produto ( $X$ ), curva de sua temperatura ( $T$ ) e curva da velocidade de secagem ( $dX/dt$ ), também chamada de taxa de secagem, ao longo do tempo, para um experimento, utilizando ar de propriedades constantes (PARK, *et al*, 2007).



**Figura 4- Curva de secagem exemplificada.**

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem. A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto (variação do conteúdo de umidade do produto por tempo,  $dX/dt$  em relação à evolução do tempo  $t$ ), isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (PARK, *et. al*, 2007).

Descrevendo os três períodos de acordo com PARK, *et al*, 2007 temos:

**Período 0:** Período de indução caracterizado por entrar em regime operacional. No começo, o produto é geralmente mais frio do que ar, a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto ( $p$ ) é débil e, por consequência, a transferência de massa e a velocidade de secagem também são débeis. O calor chegando em excesso acarreta uma elevação da temperatura do produto ocorrendo um aumento de pressão e da velocidade de secagem. Este fenômeno continua até que a Transferência de Calor compense exatamente a Transferência de Massa. Se a temperatura do ar for inferior àquela do

produto, esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio. A duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem (PARK, *et al*, 2007).

**Período 1:** A velocidade de secagem é, por conseguinte, constante. Durante este período, como no anterior, a quantidade de água disponível dentro do produto é grande. A água evapora-se como água livre. A pressão de vapor de água na superfície é constante e é igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto. As transferências de calor e de massa se compensam. Nos materiais granulares este período continua enquanto ocorre a evaporação da água da superfície, porém nos materiais biológicos é mais difícil, pois a transferência de massa encontra-se essencialmente no interior do produto (PARK, *et al*, 2007).

**Período 2:** Consiste no período de velocidade (taxa) decrescente de secagem, quando a água começa a ser deficiente na superfície, a velocidade de secagem diminui. Apesar de ser considerado como um ponto de inflexão da taxa constante não se caracteriza como uma propriedade física do material, pois depende inclusive das condições operacionais de secagem. Durante todo este período o fator limitante é a migração interna de água. Esta redução da taxa de secagem pode ser devido a diminuição da superfície molhada no período 2 ou também pelo abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície. No final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar e a velocidade de secagem é nula (PARK, *et al*, 2007). Este procedimento assegura a qualidade do produto seco durante o armazenamento.

### 3.3. TEOR DE UMIDADE

Para remoção da umidade do açúcar é necessário uma quantidade de calor suficiente a fim de transformar o líquido em vapor, através da evaporação. A evaporação da água acontece à pressão atmosférica por secagem convectiva, o ar absorve a umidade e o calor contidos no açúcar na secagem e no resfriamento, respectivamente.

Geralmente, não há necessidade de pré-aquecer o ar, pois o próprio açúcar úmido que o secador recebe das centrífugas é quente (70 °C) contém uma quantidade de calor suficiente para evaporar a água, além de aquecer o fluxo de ar no interior do

secador, aumentando assim a capacidade de absorção de umidade, reduzindo os custos com energia. O conteúdo de umidade de um produto é a proporção direta entre a massa de água no material e a massa de matéria seca, ou seja, quantidade de água, que pode ser removida do material sem alteração da estrutura molecular do sólido, e pode ser expressa de duas maneiras:

**Base Seca ( $X_{bs}$ ):** relação com a massa seca do produto.

**Base Úmida ( $X_{bu}$ ):** relação com a massa total do produto.

Podemos considerar três tipos de umidade presente nos sólido:

**Umidade livre:** envolve os cristais de açúcar externamente podendo ser removida em secadores até a umidade de 0,03 a 0,05 %. No caso do açúcar esta umidade deve ser removida na sua totalidade, pois as demais comprometem as características dos cristais.

**Umidade interna:** incorporada dentro dos cristais de açúcar. O excesso dessa umidade migra entre as moléculas até atingir o equilíbrio com a umidade do ar ambiente.

**Umidade oclusa:** contida no interior do cristal na forma de oclusões em forma de “bolsas de mel” que somente poderão ser removidas ou por moagem ou por dissolução.

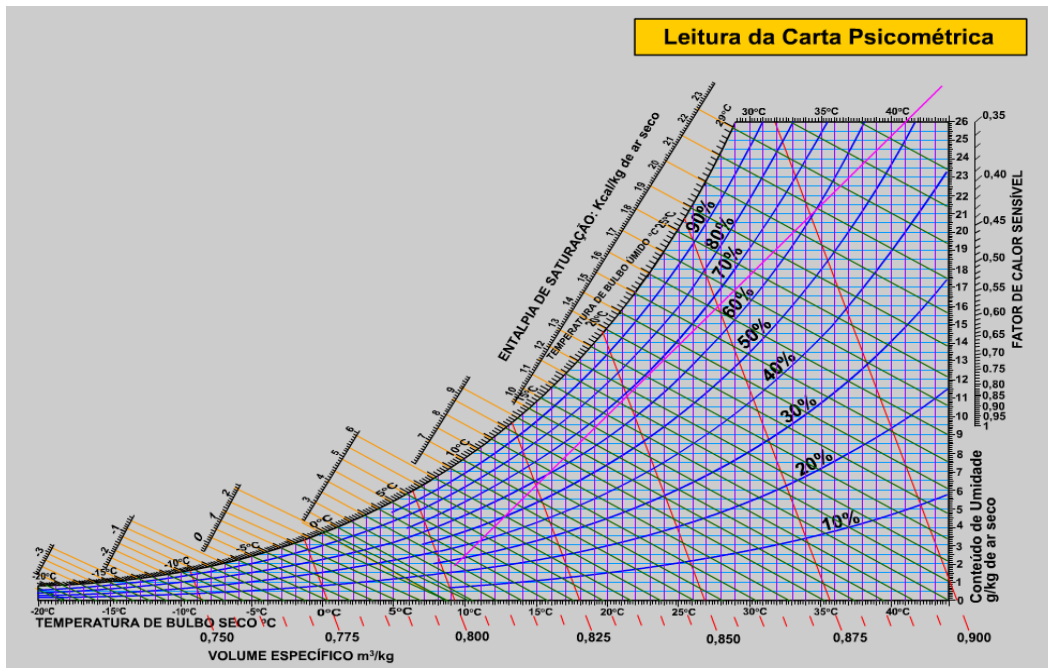
A remoção do teor e do tipo de umidade vai depender das características do produto, custos, detalhes operacionais, mas principalmente da preservação das características do sólido.

### 3.4. CARTA PSICOMÉTRICA

A psicrometria é o estudo das propriedades termodinâmicas de misturas de ar seco (vapor de água que constituem o ar atmosférico) e da sua utilização para analisar os processos que envolvem ar úmido. São construídos para determinada pressão atmosférica.

Fornece informações sobre: umidade, saturação relativa, volume úmido, calor úmido, entalpia total a partir da temperatura do bulbo seco e da temperatura do bulbo úmido.

A partir dos dados de entalpia e umidade absoluta do ar podemos localizar no gráfico (Figura 5) as respectivas temperatura e umidade relativa que representam os dados aproximados do final do processo de secagem.



**Figura 5- Carta Psicométrica**

### 3.5. SECADORES ROTATIVOS

De acordo com Resende (2012) os secadores térmicos ou convectivos são dispositivos onde o material sólido entra, de forma contínua ou descontínua, juntamente com um caudal de gases quentes com maior ou menor velocidade o qual será responsável pelo processo de secagem. Estes dispositivos podem ter dimensões muito variáveis, podendo ir desde a pequena escala até grandes secadores industriais.

São equipamentos utilizados mundialmente nas indústrias por destacar-se pelo baixo custo de operação, simplicidade e versatilidade comparada com outros tipos de secadores.

A Usina Monte Alegre apresenta no seu processo de fabricação do açúcar dois tipos de secadores rotativos que são o secador-resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL e o secador-resfriador de leito fluidizante Piratininga, ambos serão explanados a seguir.



## 4. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foi feita inicialmente uma revisão bibliográfica dos conceitos e fundamentação da operação unitária da secagem descrita anteriormente, assim como o acompanhamento e levantamento dos dados operacionais dos dois secadores presentes na Usina Monte Alegre, que são o Secador-resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL e o Secador-resfriador de leite fluidizado Piratininga.

Posteriormente o balanço de massa e energia foi realizado em ambos os secadores e comparado seus resultados. Conseqüentemente estes foram relacionados com a influência da secagem na qualidade do produto final obtido, o açúcar.

### 4.1. SECADOR -RESFRIADOR DE TAMBOR ROTATIVO BSH-CODISTIL

O Secador-resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL fabricado sob licença da BSH-Buettner Schilde-Haas, Alemanha (Figura 6) é composto por um tambor rotativo dividido em duas zonas (zona de secagem e zona de resfriamento), com pás elevadoras internamente separadas, de transferência do produto de uma câmara a outra. O acionamento é dado por motor elétrico fechado com ventilação externa. O movimento é transmitido ao tambor por meio de correntes, aro dentado e rodête.

Está dimensionado para produzir 10.000 sacos de açúcar de 50 kg em 24hrs e os dados de projeto estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1- Dados de projeto do secador de tambor rotativo BSH-CODISTIL**

Capacidade	10.000 sacos/24 h
Umidade inicial	1 %
Umidade final	0,03/0,05 %
Umidade relativa do ar	60/65 %
Temperatura de entrada	60 °C
Temperatura final	15°C acima da temperatura ambiente
Medida do tambor	Ø 2,4 x 10 m
Volume de ar frio	15.900 m <sup>3</sup> /h a 15/20 °C
Volume de ar servido	54.600m <sup>3</sup> /h a 50 °C

A Figura 6 ilustra o secador de tambor rotativo BSH-CODISTIL.



**Figura 6- Secador de tambor rotativo BSH-CODISTIL**

O açúcar úmido descarregado das turbinas é introduzido no tambor rotativo, por meio de uma rosca sem fim de alimentação. Na primeira zona do tambor o açúcar é secado e na segunda zona é resfriado.

A superfície interna do tambor é composta por aletas (Figura 7) que são distribuidoras do açúcar dentro do secador, elevam-no e despejam conforme o tambor roda. Como o tambor é inclinado na direção da extremidade de descarga, o açúcar se movimenta em subidas e descidas em direção à descarga. O ar é soprado ou aspirado axialmente através do tambor, passando pela cortina de açúcar em queda para permitir contato do ar com o açúcar (REIN, 2013).

O ciclo de ascensão e queda do material proporciona a mistura das partículas e uma elevada taxa de transferência de calor e de massa, boa uniformização, mas este fenômeno deve ser adequado ao tipo de produto para que não cause quebra dos cristais ou grãos ou a desintegração das partículas.



**Figura 7- Superfície interna do secador**

#### **4.2. SECADOR-RESFRIADOR DE LEITO FLUIDIZADO PIRATININGA**

O Secador-resfriador de leito fluidizado da marca Piratininga (Figura 8) foi avaliado e comparado quanto aos dados operacionais do secador BSH CODISTIL. A parte principal deste secador consiste em um cilindro rotativo que gira num eixo horizontal e contém uma série de venezianas tangenciais sobrepostas denominadas de “louvres” sobrepostas que se estendem por todo seu comprimento, formando uma estrutura interna cônica cujo diâmetro maior está no lado de descarga. Os suportes dos “louvres” são compartimentos radiais contínuos que formam passagens longitudinais ao longo do comprimento do cilindro e proporcionam a homogeneização do açúcar.



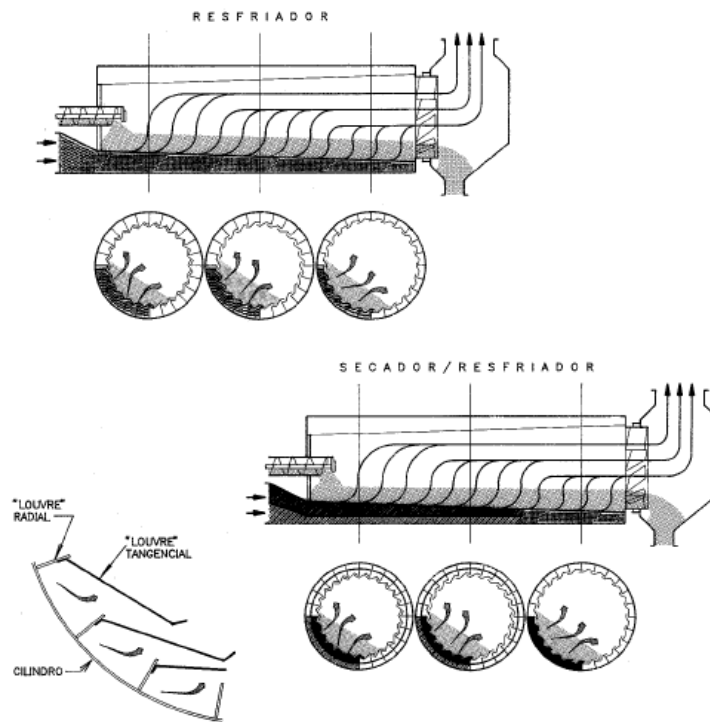
**Figura 8- Secador-resfriador de leito fluidizado Piratininga**

Este secador tem capacidade para produzir 30.000 sacos de açúcar de 50 kg em 24hrs e os seus dados de projeto estão apresentados na Tabela 2

**Tabela 2-Dados de projeto do Secador-Resfriador de leito fluidizado Piratininga**

<b>Sistema do Secador/Resfriador</b>	
Vazão (t/d)	1500
Temperatura: entrada do açúcar (°C)	75/80
Temperatura: saída do açúcar (°C)	38
Umidade do ar entrada (%)	65
Umidade do açúcar entrada (%)	1,25
Umidade do açúcar saída (%)	0,03
<b>Sistema de Aquecimento</b>	
Temperatura de trabalho (°C)	120
Fluxo de vapor (kg/h)	3.310
Pressão de trabalho (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,5
Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /h)	32.400
<b>Sistema de Resfriamento</b>	
Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /h)	39.000
<b>Sistema de Exaustão</b>	
Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /h)	76.500
<b>Rosca alimentadora</b>	
Capacidade (m <sup>3</sup> /h)	1500
<b>Bombeamento de água</b>	
Capacidade (m <sup>3</sup> /h)	57
Pressão de trabalho (m.c.a)	35

O diâmetro do casco interno de venezianas aumenta gradualmente em direção à extremidade de descarga. Isto faz com que a camada de açúcar que se forma nas venezianas, se mova em direção à saída na medida em que ela escorrega ou rola sobre as venezianas com a rotação do tambor. Não há, portanto necessidade de inclinar o tambor (PETER, 2013). A Figura 9 ilustra o funcionamento das venezianas no secador.



**Figura 9- Secador/Resfriador Roto-Louvre**

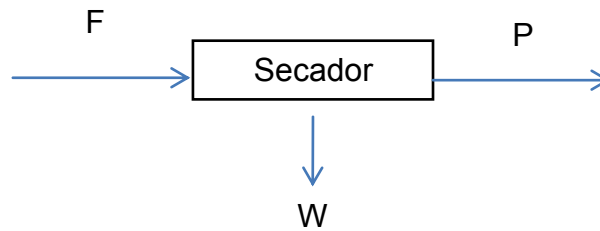
O equipamento pode operar como secador (com ar quente), resfriador (ar frio) ou secador/resfriador, quando é subdividido em duas zonas distintas. A movimentação do açúcar é suave reduzindo a quebra de cristais. Os fabricantes deste equipamento garantem uma eficiência duas a três vezes superiores ao secador rotativo convencional.

#### **4.3. BALANÇO DE MASSA**

Segue as equações utilizadas para calcular o balanço de massa dos secadores os quais serão avaliados quanto à eficiência operacional.

A alimentação do secador (F) foi obtida através da produção total (kg) de um dia de funcionamento de cada secador, considerando o tempo (h) de funcionamento. Dessa forma foi determinada a vazão de alimentação do sólido no secador.

De acordo com os princípios de balanço de massa, avaliando o sistema da Figura 10.



Logo:

$$\text{massa que entra} = \text{massa que sai}$$

**Figura 10- Representação do Balanço de massa**

Ou representar pela Equação 2:

$$F = W + P \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde: F - entrada do produto;

W- saída da água;

P - produto seco

Considerando a temperatura de entrada ( $T_E$ ), temperatura de saída ( $T_S$ ), Umidade de entrada ( $U_E$ ), Umidade de saída ( $U_S$ ).

I) Quantidade de água no açúcar na entrada do secador ( $W_{Aç}$ ):

$$W_{Aç} = F * U_E \quad \text{Equação (3)}$$

II) Quantidade de água na saída do secador ( $W_S$ ):

$$W_S = F * U_S \quad \text{Equação (4)}$$

III) Água evaporada na secagem ( $W_{evap}$ ):

$$W_{evap} = W_{Aç} - W_S \quad \text{Equação (5)}$$

IV) Quantidade de açúcar na saída ( $A_s$ ):

$$A_s = F - W_{evap} \quad \text{Equação (6)}$$

V) Rendimento (R):

$$R = \frac{W_{evap}}{A_s} \quad \text{Equação (7)}$$

V) Vazão de açúcar na saída a 0% de umidade ( $q_{aç}^{0\%}$ ):

$$q_{aç}^{0\%} = q_{aç}^s - (q_{aç}^s \cdot U_s) \quad \text{Equação (8)}$$

Considerando a razão açúcar/ ar (1:2) (Hugot, 1969).

A vazão de ar seco ( $q_{ar\ seco}$ ) é de aproximadamente 20.000 kg/h e de acordo com a carta psicométrica é de 220 Kg/h, considerando o ar a 25 °C, 60 % de umidade e 700 mmHg.

Rendimento de ar seco na entrada:

$$R_{ar\ seco}^E = q_{ar\ seco}^E / q_{ar\ seco} \quad \text{Equação (9)}$$

Vazão de ar seco na saída:

$$q_{ar\ seco}^s = 220 \frac{Kg}{h} (\text{carta psicométrica}) + W_{evap} \quad \text{Equação (10)}$$

Rendimento de ar seco na saída:

$$R_{ar\ seco}^s = q_{ar\ seco}^s / q_{ar\ seco} \quad \text{Equação (11)}$$

#### 4.4. BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia térmica envolvido no processo de secagem foi realizado nos secadores avaliados entre os dois instantes que caracterizam o início e o fim do processo.

A quantidade de calor ( $Q$  - Kcal/h) envolvida nas etapas do processo foi quantificada, utilizando a Equação (12).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{Equação (12)}$$

Onde: m- massa (kg)

c - capacidade calorífica (Kcal/Kg °C)

$\Delta T$  - temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

A capacidade calorífica quantifica o calor recebido por um corpo em relação a temperatura fornecida, portanto, a quantidade de calor envolvida no processo de secagem de açúcar foi realizada separadamente para a água e o açúcar, respectivamente.

I) Quantidade calor no açúcar:

Na entrada:

$$Q_E = m_{a\grave{c}} \cdot c_{a\grave{c}} \cdot \Delta T_{a\grave{c}}^E + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}^E \quad \text{Equação (13)}$$

Na saída:

$$Q_S = m_{a\grave{c}} \cdot c_{a\grave{c}} \cdot \Delta T_{a\grave{c}}^S + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T_{H_2O}^S \quad \text{Equação (14)}$$

Calor latente de evaporação ( $L_{evap}$ )

$$L_{evap} = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O}^{evap} \quad \text{Equação (15)}$$

Quantidade de calor cedido pelo açúcar ( $Q_{a\grave{c}}$ )

$$Q_{a\grave{c}} = Q_E - (Q_S + L_{evap}) \quad \text{Equação (16)}$$

II) Entalpia (H)

$$H = \frac{Q_{a\grave{c}}}{q_{a\grave{c}}^{0\%}} \quad \text{Equação (17)}$$

III) Quantidade de calor no ar ( $Q^{ar}$ )

Entrada ( $25^{\circ}\text{C}$ , 60% UR)

$$Q_{ar}^E = q_{ar}^{seco(e)} \cdot c_{ar}^{seco} \quad \text{Equação (18)}$$



Saída (Considerando,  $Q_{ar\text{seco}}$  com perdas por convecção, radiação, outras)

$$Q_{ar}^S = q_{ar}^{seco(s)} \cdot c_{ar}^{seco} \quad \text{Equação (19)}$$

IV) Perdas Térmicas ( $\Delta Q$ )

$$\Delta Q = Q_E - Q_S \quad \text{Equação (20)}$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados reais dos secadores da Usina Monte Alegre utilizados para avaliação do sistema de secagem, considerando um dia de funcionamento de cada estão presentes na Tabela 3. Este dia de funcionamento foi escolhido aleatoriamente apresentando vazão de alimentação diferente para ambos.

**Tabela 3-Dados reais da Usina Monte Alegre**

	<b>Unidade</b>	<b>BSH-CODISTIL</b>	<b>PIRATININGA</b>
<b>Vazão</b>	kg/h	10358,22	9121,7
<b>T entrada açúcar</b>	°C	70,0	70,0
<b>T saída açúcar</b>	°C	40,0	35,0
<b>Umidade açúcar entrada</b>	%	0,7	0,7
<b>Umidade açúcar saída</b>	%	0,05	0,03

Os resultados correspondendo à aplicação das equações do fator de segurança, balanço de massa e energia e as suas respectivas equações apresentadas na metodologia para os secadores avaliados estão apresentados na Tabela 4.

A numeração da Tabela 4 corresponde as Equações utilizadas para obter os respectivos resultados.

**Tabela 4-Resultados dos Secadores**

	<b>Equações</b>	<b>Unidades</b>	<b>BSH-CODISTIL</b>	<b>PIRATININGA</b>
<b>1</b>	<b>fator de segurança</b>	-	0,07	0,04
<b>3</b>	<b>quantidade de água açúcar alimentação</b>	kg/h	72,5	64,13
<b>4</b>	<b>quantidade de água na saída do secador</b>	kg/h	5,18	2,75
<b>5</b>	<b>água evaporada na secagem</b>	kg/h	67,32	61,38
<b>6</b>	<b>quantidade de açúcar na saída</b>	kg/h	10290	9.100
<b>7</b>	<b>rendimento</b>	g/kg	6,5	6,7
<b>8</b>	<b>qtde açúcar na saída do secador 0%</b>	kg/h	10.286,9	9.097,27
<b>9</b>	<b>rendimento ar seco na entrada</b>	g/kg	10	12,2
<b>10</b>	<b>ar seco na saída</b>	kg/h	287,3	281,38
<b>11</b>	<b>rendimento ar seco na saída</b>	g/kg	12,79	15,6
<b>13</b>	<b>balanço entalpico na alimentação</b>	Kcal/h	289.941	254.755
<b>14</b>	<b>balanço entalpico na saída</b>	Kcal/h	161.966	125.266
<b>15</b>	<b>calor latente de evaporação</b>	Kcal/h	39.274	35.809
<b>16</b>	<b>quantidade de calor cedido pelo açúcar</b>	Kcal/h	88.701	93.680
<b>17</b>	<b>entalpia</b>	Kcal/h	8,5	10,3
<b>18</b>	<b>quantidade de calor no ar de entrada</b>	Kcal/h	349.580	286.020
<b>19</b>	<b>quantidade de calor no ar de saída</b>	Kcal/h	344.129,8	282.362
<b>20</b>	<b>perdas térmicas</b>	Kcal/h	5450	3658

Avaliando a Tabela 4 podemos dizer que o açúcar fabricado em ambos os secadores encontra-se seguro e não se deteriorará facilmente.

Devido a maior alimentação de açúcar no BSH-CODISTIL a quantidade de água na entrada e saída deste também foram maiores, entretanto o rendimento do Piratininga foi maior devido sua eficiência. Segundo os fabricantes Piratininga sua eficiência é três vezes maior do que o outro modelo por proporcionar uma maior evaporação da água durante o processo, entretanto, esse rendimento não foi obtido, porque o secador Piratininga está sendo operado em uma capacidade menor do que a dos dados de projeto (Tabela 3).

O secador Piratininga apresenta menos perdas no processo de secagem, conseqüente apresenta maior quantidade de calor cedido pelo açúcar pela transferência de massa e energia.

Para melhor avaliação do sistema de secagem de ambos secadores, além da visualização mais clara da eficiência apresentada pelo secador Piratininga, foi considerada uma mesma alimentação para os dois, uma alimentação de 12.500 kg de açúcar por hora, e a partir desta consideração foram obtidos % do rendimento (Tabela 5) baseado nos resultados dos secadores obtido na Tabela 4.

Na Tabela 5 são apresentados apenas os dados significativos para avaliação do rendimento percentual dos secadores bem como a numeração apresentada correspondem às equações utilizadas para esta avaliação.

**Tabela 5-Eficiência (%) dos secadores**

	<b>Equações</b>	<b>Unidades</b>	<b>BSH- CODISTIL</b>	<b>%</b>	<b>PIRATININGA</b>	<b>%</b>
<b>3</b>	<b>qtde água na saída do secador</b>	kg/h	5,18	0,05	2,75	0,03
<b>9</b>	<b>rendimento ar seco na entrada</b>	g/kg	10	0,10	12,2	0,12
<b>11</b>	<b>rendimento ar seco na saída</b>	g/kg	12,79	0,12	15,6	0,15
<b>15</b>	<b>qtde de calor cedido pelo açúcar</b>	Kcal/h	88.701	844,77	93.680	892,19
<b>16</b>	<b>entalpia</b>	Kcal/h	8,5	0,08	10,3	0,10
<b>19</b>	<b>perdas térmicas</b>	Kcal/h	5450	51,90	3658	34,84

A umidade apresentada pelo secador Piratininga na saída do açúcar do secador é menor, além deste obter um melhor rendimento de ar seco em todo o processo, resultante da maior quantidade de calor cedido pelo açúcar e conseqüentemente perdas térmicas reduzidas.

A principal desvantagem do secador BSH-CODISTIL é o dano que este pode causar aos cristais de açúcar pelo movimento da queda. Existe atrito e no mínimo arranhões nas superfícies dos cristais ocasiona perda de brilho, além de formação de

poeira. No fluxo em contracorrente o pó fino é levado pela corrente de ar para o açúcar mais úmido, podendo aderir à superfície dos cristais.

O secador Piratininga trata o açúcar mais suavemente pelas venezianas do que o outro secador, reduzindo assim os danos aos cristais. Com isso o açúcar produzido apresenta mais qualidade.

Com estas características apresentadas obtemos um açúcar sem tendência de empedramento durante a armazenagem, ressaltando que a formação dos cristais de açúcar na cristalização é importante e estes não devem conglomerar.

Segundo PETER, 2013 o empedramento é um fenômeno no qual os cristais liberam a umidade retida, resultando em supersaturação na superfície do cristal e consequente cristalização. Nos pontos de contato entre os cristais esta cristalização superficial causa ligação intercristalina. O açúcar então cessa de fluir livremente e é conhecido como açúcar empedrado.

Quando estocados por longo período de tempo, o açúcar pode modificar sua cor dependendo da temperatura de armazenamento. O açúcar até 35 °C apresenta escurecimento desprezível. Segundo Hugot 1969 o açúcar ensacado acima de 38 °C endurece. Outros fatores que afetam o desenvolvimento de cor na estocagem são cinzas e a umidade. Umidade e ar são necessários para a maioria das reações de formação de cor (PETER, 2013).

## **6. CONCLUSÃO**

A avaliação do sistema de secagem realizada na Usina Monte Alegre possibilitou aplicar os conhecimentos adquiridos na Universidade, onde através do balanço de massa e energia foi determinada a eficiência operacional aliada a otimização da qualidade do açúcar com a implantação do secador Piratininga.

A secagem do açúcar no secador-resfriador de leito fluidizado Piratininga apresentou melhor eficiência comparado com o secador resfriador de tambor rotativo BSH-CODISTIL.

O açúcar obtido do secador Piratininga apresenta maior qualidade do produto com menor elevação de cor e empedramento durante o armazenamento comparado com o BSH-CODISTIL, além de um melhor aspecto do açúcar através do brilho dos cristais e menor quantidade de pó formado.

O controle das características do ar que entram e saem dos secadores são de grande importância para redução do consumo e vapor utilizado na secagem ou até mesmo a eliminação desse aquecimento, quando as condições do ar ambiente permitirem.

## **7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Controlar de forma efetiva a umidade do ar na entrada do secador, assim como acompanhar o comportamento da umidade do açúcar dentro do pacote produzido por um longo período de armazenamento.

Acompanhar a possível elevação de cor que o secador proporcionado na secagem a partir do acompanhamento das cores na saída das centrífugas e do secador considerando o tempo que este leva no percurso.

## 8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.: **Tecnologia Pós-colheita** , Faculdade de Ciências -Universidade do Porto, 2004.

BRASIL, N. I.: **Introdução à Engenharia Química-2.ed.** Rio de Janeiro: Interciência:PETROBRAS, 2004.

FERNANDES, N. J. - **Estudo da fluidodinâmica e da secagem de um secador rotatório da indústria de fertilizantes.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

FOUST, A.S., et al. **Princípios das Operações Unitárias.** 2ª Ed, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 2006.

HUGOT, E. , **Manual da Engenharia Açucareira**, 1171p., *Ed. Mestre Juo*, São Paulo, 1969.

**MÁQUINAS PIRATININGA.** Disponível em: <http://mpn.com.br/secador/index.html>. Acesso em: 20. fev.2014

MENON, A. S., MUJUMDAR, A. S. **Drying of solids: principles, classification, and selection of dryers:** Handbook of Industrial Drying. New York: Marcel Dekker Inc., 1987

MERHEB, G. A.: **Estudo do processo de cristalização de sacarose a partir de soluções provenientes de cana-de-açúcar por resfriamento controlado**, São Paulo, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2009.

PACHECO, C.R.F. **Apostila de conceitos básicos de secagem**, São Paulo, Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

PARK, K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. **Apostila de conceitos de processo e equipamentos de secagem**, Campinas, CT&EA – Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial, 2007.

REIN, P.: **Engenharia do Açúcar da Cana**, 878p., Ed: Bartens-Berlim, Alemanha, 2003.

RESENDE,A.C.: **Convecção, modelação e simulação de um secador de pão moído**, Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Mecânica, 2012

**REVISTA OPINIÕES:** Disponível em:  
<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=297>. Acesso em: 19. fev. 2014

**SECAGEM DO AÇÚCAR.** Disponível em:  
<http://pt.scribd.com/doc/106178010/54727835-Secagem-Do-Acucar>. Acesso em 18.fev.2014

SILVA,L.C.: **Troca de Calor e Massa no Processamento de Grãos**-Universidade Federal do Espírito Santo- Departamento de Engenharia de Alimentos,2013.