

## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

### **COR DE AÇÚCARES SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO**

**MARIANA CASTANHEIRO PINTO  
FERREIRA**

**Orientador: Leonardo Lucas Madaleno**

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia  
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de  
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP  
6º Semestre/2012**

Ferreira, Mariana Castanheiro Pinto.

F383c Cor de açúcares submetidos a diferentes temperaturas de armazenamento. / Mariana Castanheiro Pinto Ferreira.— Jaboticabal : Fatec, 2012. 54f.

Orientador: Leonardo Lucas Madaleno

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1. Armazém de açúcar. 2. ICUMSA. 3. Colorímetro. 4. Luminosidade. 5. Cromaticidade. 6. Ângulo de Hue. I. Madaleno, L. L. II. Cor de açúcares submetidos a diferentes temperaturas de armazenamento.

CDU 664.162.038

## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** COR DE AÇÚCARES SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO

**AUTOR:** MARIANA CASTANHEIRO PINTO FERREIRA

**ORIENTADOR(A):** PROF(a). DR(a). LEONARDO LUCAS MADALENO

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

**LEONARDO LUCAS MADALENO**

**BEN-HUR MATTIUZ**

**KELLY MAGALHÃES MARQUES**

Data da apresentação: 21 de dezembro de 2012.

---

Leonardo Lucas Madaleno

Aos meus pais,  
Juvenal *in memoriam* e Janete  
pelos ensinamentos, amor e dedicação;  
Aos meus irmãos, Caique e Francine,  
pela ajuda, atenção e carinho;  
Ao meu namorado, Fernando,  
pela paciência, compreensão e amor.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida, pelo amor infinito, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador, prof. Dr. Leonardo Lucas Madaleno, pela colaboração indispensável, por acreditar em mim e ouvir minhas considerações partilhando comigo as suas ideias, conhecimento e experiências.

Ao Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz e a doutoranda Kelly Magalhães Marques que compuseram a banca examinadora, pela disponibilidade e correções às quais enriquecem o trabalho apresentado.

A todos os professores da Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal (FATEC), pela convivência, dedicação, colaboração e ensinamentos que proporcionaram meu crescimento.

As companheiras Kelly e Isabela, pela paciência e ajuda para conduzir o experimento.

A minha mãe, Janete, pela ajuda nos momentos difíceis, por sempre acreditar em mim, pelo incentivo e dedicação.

Aos meus irmãos, Caique e Francine, que por mais difícil que fossem as circunstâncias, sempre tiveram paciência e confiança.

Ao meu namorado, Fernando, pela compreensão, apoio e carinho que me tem dedicado.

Aos meus amigos, Carina, Jéssica, Amanda, Ilana, Alaiane, Andreza, Guilherme, Herick e Diego pelos conhecimentos partilhados, ajuda e paciência durante a minha caminhada.

Obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa.

Você não é derrotado quando você perde.  
Você é derrotado quando desiste.  
(Dr. House)

## RESUMO

### COR DE AÇÚCARES SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE ARMAZENAMENTO

A preocupação com a coloração do açúcar é fator principal de qualidade e valor agregado deste produto. Dessa forma, o cuidado com a sua produção é indispensável, desde o plantio da cana-de-açúcar, colheita, preparo, extração do caldo e clarificação, evaporação, cozimento, cristalização, centrifugação, secagem, até o armazenamento. No entanto, as usinas brasileiras normalmente não têm utilizado silos com controle de temperatura e umidade para o armazenamento do açúcar, ocasionando interferências na cor do produto final. É durante o período de estocagem que o açúcar pode empedrar, amarelar, quebrar ou ainda, incorporar material estranho, ocasionando assim, alterações na sua cor, que constitui um dos principais atributos de qualidade. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi armazenar diferentes tipos de açúcares em temperaturas variadas e avaliar a influência na cor do açúcar. Foram utilizados dois tipos de açúcares (VHP e Cristal) os quais foram submetidos a temperaturas de armazenamento de 20, 25, 30 e 35°C durante 30 dias. Avaliou-se a coloração do açúcar com o uso do colorímetro Minolta CR400b, medindo-se a luminosidade, cromaticidade e o ângulo Hue das amostras de açúcares. A cor ângulo Hue não se modificou durante os 30 dias para as diferentes temperaturas e tipos de açúcar. A luminosidade se manteve constante para as temperaturas e tipos de açúcares, exceto a 25°C. A cromaticidade diminuiu para o açúcar VHP para todas as temperaturas e manteve-se constante para o açúcar cristal, exceto na temperatura de 25°C. Esse último parâmetro não pode ser utilizado para ser transformado em valores de cor ICUMSA para avaliação do armazenamento. A umidade teve influência maior sobre a qualidade do açúcar cristal do que a temperatura.

**Palavras-chave:** Armazém de açúcar, cor ICUMSA, Colorímetro, Luminosidade, Cromaticidade, Ângulo de Hue.

## **ABSTRACT**

### ***COLOR OF SUGARS STORED ON DIFFERENT TEMPERATURES***

*Sugar color is a principal factor of preoccupation for product quality and value. Thus, production care is indispensable, since sugarcane plantation, harvest, preparation, juice extraction, clarification, juice evaporation, vacuum pan boiled, crystallization, centrifugation, drying and storage. However, Brazilian sugar mills, usually, didn't have silo with temperature and moisture control for sugar storage, causing changes of final product color. On sugar storage the product could have, be more yellow, break or incorporate foreign material, increasing sugar color, change in its color, that principal attribute of quality. The aim of this work were store two types of sugars in different temperatures and to value influence on sugar of the color. Were used sugars (VHP and sugar White), submitted temperatures 20, 25, 30 and 35°C of storage, for 30 days. Valued the sugar color with colorimeter Minolta CR400b, measuring luminosity, chromaticity and Hue angle of sugars. Sugar color (Hue angle) didn't change during 30 days for temperatures and sugar types. Luminosity no changes with temperature and sugar types, except on 25°C. Chromaticity was reduced for VHP sugar in all temperatures and constant for direct white sugar, except on 25°C. This last parameter don't can be used for transform chromaticity on ICUMSA values for storage evaluation, and moisture influenced more than temperature white direct sugar quality.*

**Keywords:** *Sugar storehouse, ICUMSA color, Colorimeter, Luminosity, Chromaticity, Hue angle.*

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 – Luminosidade ao início e final do armazenamento em quatro temperaturas, de dois tipos de açúcar.....  | 32 |
| FIGURA 2 – Cromaticidade ao início e final do armazenamento em quatro temperaturas, de dois tipos de açúcar.....   | 33 |
| FIGURA 3 – Cor ICUMSA ao início e final do armazenamento em quatro temperaturas, de dois tipos de açúcar.....  | 33 |
| FIGURA 4 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 20°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....  | 35 |
| FIGURA 5 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 25°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....  | 35 |
| FIGURA 6 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 30°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....  | 36 |
| FIGURA 7 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 35°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....  | 36 |
| FIGURA 8 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 20°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....  | 37 |
| FIGURA 9 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 25°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....  | 37 |
| FIGURA 10 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 30°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....   | 38 |
| FIGURA 11 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 35°C para armazenamento de dois tipos de açúcar .....   | 38 |
| FIGURA 12 – Cor ICUMSA do açúcar VHP submetido às diferentes temperaturas de 20, 25, 30 e 35°C linhas projetadas no eixo Y (esquerda) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013), colunas projetadas no eixo Y (direita)..... | 40 |
| FIGURA 13 – Cromaticidade do açúcar VHP submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013).....   | 42 |
| FIGURA 14 – Luminosidade do açúcar VHP submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013).....  | 43 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 15 – Ângulo de hue do açúcar VHP submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013).....     | 44 |
| FIGURA 16 – Cromaticidade do açúcar cristal submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)..... | 46 |
| FIGURA 17 – Luminosidade do açúcar cristal submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013).....  | 47 |
| FIGURA 18 – Ângulo de hue do açúcar cristal submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)..... | 48 |
| FIGURA 19 – Açúcar cristal “melado” e deteriorado, armazenado na B.O.D. de 25°C. ....  | 49 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| B.O.D. | Estufa de Demanda Bioquímica de Oxigênio                                      |
| BRIX   | Porcentagem de sólidos solúveis de uma solução açucarada                      |
| C      | Cromaticidade   |
| h°     | Ângulo Hue  |
| ICUMSA | Análise padrão de cor. International Commission for methods of Sugar Analysis |
| L      | Luminosidade  |
| pH     | Potencial hidrogenionico  |
| Pol    | Quantidade de sacarose aparente   |
| TEA    | Trienolamina  |
| UNICA  | União da Indústria de Cana-de-açúcar  |
| VHP    | Açúcar bruto (Very high polarization)   |
| VVHP   | Açúcar bruto de melhor qualidade (very very high polatization)                |

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....                          | 13 |
| 2 OBJETIVOS.....                           | 15 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA .....              | 16 |
| 3.1 Cana-de-açúcar .....                   | 16 |
| 3.2 Recepção da cana.....                  | 17 |
| 3.3 Preparo da cana.....                   | 17 |
| 3.4 Extração do caldo.....                 | 18 |
| 3.5 Clarificação do caldo .....            | 19 |
| 3.6 Evaporação.....                        | 20 |
| 3.7 Cozimento e cristalização .....        | 21 |
| 3.8 Centrifugação.....                     | 22 |
| 3.9 Secagem .....                          | 23 |
| 3.10 Armazenamento .....                   | 23 |
| 3.11 Interferências na cor do açúcar ..... | 24 |
| 3.12 Determinação da cor do açúcar.....    | 27 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....                 | 28 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....             | 30 |
| 6 CONCLUSÃO.....                           | 51 |
| 7 REFERÊNCIAS .....                        | 52 |

# 1 INTRODUÇÃO

A produção de açúcar é muito importante na economia brasileira e ocupa posição de destaque mundial nas exportações no agronegócio brasileiro. O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, produzindo, na safra 2008/2009, mais de 31 milhões de toneladas do produto. Deste montante, cerca de 24 milhões de toneladas, ou seja, 77% da produção, se destinaram ao comércio exterior. O principal mercado consumidor do açúcar brasileiro exportado é a Rússia. O restante da produção foi absorvido pelo mercado interno (UNICA, 2012).

Clarke (1996) enfatizou o aumento da demanda por açúcar branco de alta qualidade, pois, o açúcar além da contribuição nutricional à dieta diária é utilizado como matéria-prima na indústria de alimentos e bebidas. Destaca-se as indústrias de laticínios e de bebidas doces carbonatadas, as quais requerem açúcar com elevado grau de qualidade quanto aos parâmetros de cor, cinzas, sulfito e níveis de turbidez, pois, estes fatores exercem influência direta na qualidade de seus produtos.

A qualidade do açúcar é influenciada por várias operações que constituem o seu processamento, no entanto, a preocupação com a qualidade do açúcar deve ser estendida também ao armazenamento. De acordo com Lopes (2008), durante o período de estocagem o açúcar pode empedrar, amarelar, quebrar ou ainda, incorporar material estranho, ocasionando assim, alterações na sua cor, que constitui um dos principais atributos de qualidade. O problema não consiste no pequeno aumento na coloração do açúcar ao longo da armazenagem, já que todo açúcar sofre acréscimo de cor durante esse período, mas a elevação da intensidade em um curto espaço de tempo.

Normalmente, não são utilizados armazéns com controle de temperatura e umidade nas usinas brasileiras. O açúcar é armazenado em períodos de tempo mais longos entre safras (época do ano mais quente no Brasil). O estudo da cor diferenciada antes e depois da armazenagem poderia ajudar a perceber melhor as reações envolvidas e desse modo melhorar o controle do processo de forma a minimizar o problema de deterioração do produto.

Atualmente, o método utilizado para determinar a cor de uma amostra de açúcar, é a medida ICUMSA, através da absorção e/ou desvio da luz por solução açucarada. Quanto maior a absorção/desvio, maior será a coloração do açúcar e maior o número que indica a sua cor (INMETRO, 2012). Outro método aplicado recentemente é a utilização do colorímetro,

que define a cor em três parâmetros: cromaticidade, luminosidade e Ângulo Hue, conforme o preconizado por Annunzio *et al.* (2012). Esses autores demonstraram relação significativa entre a cromaticidade e a cor ICUMSA. A medição da cor pelo colorímetro é mais rápida e não destrutiva, permitindo o monitoramento da evolução da cor durante o armazenamento.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho teve como objetivo armazenar diferentes açúcares em temperaturas variadas e avaliar a influencia na cor do açúcar.

## 3 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, rica em sacarose, com ciclo de 12 meses (cana-de-ano) ou 18 meses (cana-de-ano e meio), adaptada facilmente ao clima tropical, quente e úmido. Essa cultura foi introduzida no Brasil em 1532, trazida por Martim Afonso de Souza e desde então se iniciou a produção de açúcar no país (MARQUES *et al.*, 2001).

O ciclo da cana é determinado pela época do plantio, sendo de 12 meses (cana-de-ano) quando plantada de setembro a outubro, e de 18 meses (cana-de-ano e meio) quando plantada de janeiro ao início de abril. A cana-de-ano apresenta seu maior desenvolvimento de novembro a abril, diminuindo o crescimento após esse período devido às condições climáticas adversas. Ademais a cana-de-ano e meio possui taxa de crescimento mínima ou até mesmo nula, de maio a setembro, devido ao déficit hídrico e a baixas temperaturas, e o maior desenvolvimento de outubro a abril (RODRIGUES, 1995). A colheita da matéria-prima se dá entre os meses de abril a novembro, época favorável à maturação natural da cana-de-açúcar.

De acordo com Marin (2007), as principais características que regulam o desenvolvimento dessa cultura são o clima, no qual a temperatura deve prevalecer entre 19 e 32°C e com chuvas bem distribuídas (com maior intensidade nos meses de crescimento da cana e com menor volume na fase de maturação da planta), e o solo, que embora a planta se desenvolva em solos de baixa fertilidade, a mesma atinge melhores produtividades em solos bem arejados e profundos, com boa retenção de umidade e alta fertilidade. Portanto, para seu crescimento, a cana necessita de elevada disponibilidade de água, temperaturas elevadas e índice de radiação solar.

Após o período de crescimento, a cana atinge a maturação que é definida como o período em que a cana-de-açúcar acumula a maior quantidade de sacarose possível no colmo, a partir de então pode ser realizada a colheita manual ou mecânica.

A colheita manual necessita que seja realizada a queimada do canavial para proporcionar maior acesso a cana, aumentando o rendimento da colheita e diminuindo o perigo de acidentes dos trabalhadores com animais peçonhentos. No entanto, a lei estadual Nº 11.241 prevê que a até 2031 seja extinto este método de colheita, por proporcionar malefícios ao meio ambiente e a saúde da população (LEGISLAÇÃO, 2002).

A colheita mecanizada não necessita da queima da cana e aumenta o rendimento da colheita, no entanto, aumenta a quantidade de matéria estranha (palha, terra, areia, etc.) adicionada, causando redução de qualidade tecnológica da matéria-prima (NEVES *et al.*, 2004). É necessário então, maior qualidade da matéria-prima para extração do caldo, para que isso não seja um fator que resulte em um aumento significativo da cor do açúcar produzido.

### **3.2 Recepção da cana**

Ao chegar à usina, o caminhão é encaminhado para uma balança rodoviária para que seja definida a massa da carga. Essa é definida pela diferença entre o peso do veículo antes e depois da descarga da cana. Após a pesagem, os veículos são submetidos a amostragem, para que seja feita análises de fibra, brix e pol, estimando, o teor de sacarose e o preço que será pago ao fornecedor. As amostragens podem ser retiradas por sondas oblíquas ou horizontais, sendo realizadas, geralmente, em 30% dos caminhões que chegam à usina (ZACURA, 2011). A seguir, os caminhões descarregam a cana-de-açúcar em mesas alimentadoras, com o auxílio de guindastes do tipo Hillo, e a cana-de-açúcar segue pela esteira para que seja feito o preparo da matéria-prima para a extração do caldo.

### **3.3 Preparo da cana**

O preparo da cana é etapa fundamental para obtenção do açúcar de qualidade, pois se não for realizado corretamente acarretará em um produto com coloração acima dos padrões de qualidade desejados. Para uma maior eficiência no preparo, a cana deve permanecer sobre a esteira na forma de um colchão fino e contínuo.

De acordo com Lima (2010), a etapa de preparo se inicia pela limpeza da cana, onde serão retiradas palhas, folhas, terra, entre outras substâncias estranhas que foram levadas do campo. A limpeza pode ser realizada com jato de água ou de ar, sendo recomendável o jato de água somente para cana inteira, pois a cana picada perde sacarose quando submetida a esta lavagem.

Após a lavagem, a cana passa pelos picadores e desfibradores para que ocorra a abertura das células da cana, e por último, pelo eletro-ímã, onde são retirados pedaços de metais contidos na cana e que podem danificar os equipamentos de extração.

### 3.4 Extração do caldo

A extração do caldo de cana consiste no processo físico de separação da fibra (bagaço) do caldo propriamente dito, sendo executado nas indústrias sucroenergéticas do Brasil por dois tipos de equipamentos: Moenda e Difusor. Na moenda a extração é feita por pressão e embebição. No difusor utiliza-se o processo de lixiviação.

Segundo Alcarde (2007), na moagem utiliza-se de quatro a seis ternos, sendo cada um desses formado por três cilindros principais, denominados cilindro de entrada, cilindro superior e cilindro de saída. E ainda, na maioria das vezes, as moendas contam com um quarto rolo, para melhorar a eficiência de alimentação, denominado rolo de pressão. Além disso, o processo de embebição é utilizado para diluir a sacarose resultante da primeira moagem, com o objetivo de aumentar a extração nos ternos de moenda (NOGUEIRA & VENTURINI-FILHO, 2005). A embebição é realizada a partir do segundo terno, pois o caldo do primeiro vai para a produção de açúcar (por ser mais rico em sacarose) e o caldo extraído dos demais ternos são destinados a produção de etanol (DAL BEM, s.d.).

No difusor, a cana entra na forma de um colchão fino, picada e desfibrada para que a água do processo de lixiviação passe pelos vasos da planta abertos durante o preparo da cana, arrastando a maior quantidade de sacarose possível. De acordo com Nazato *et al.* (2009), na extração por difusor o caldo apresenta-se mais rico em sacarose e parcialmente clarificado, sendo assim, mais adequado para a fabricação de açúcar. No entanto, se a água utilizada na extração não estiver na temperatura adequada, a lixiviação arrastará substâncias coloridas, ocasionando aumento na coloração do açúcar final.

Para maior eficiência do processo, ao final do difusor é acoplado um ou dois ternos de moenda, para que o bagaço saia com umidade adequada para a queima (ZACURA, 2011). O caldo extraído desse equipamento é utilizado tanto para a produção de açúcar quanto para a produção de etanol.

### 3.5 Clarificação do caldo

A clarificação do caldo é realizada por processo químico e físico, com o objetivo de eliminar as impurezas que influenciam diretamente na coloração do açúcar final, sem que haja perda de açúcares, permanecendo no final com o teor de 18°Brix (porcentagem em massa de sólidos solúveis presente no caldo). O processo químico é o que vai determinar qual o tipo de açúcar será formado. O açúcar cristal passa pelas etapas de sulfitação e caleação, produzindo o denominado açúcar branco direto. Entretanto, o açúcar VHP (bruto) passa pelas apenas pelas etapas de fosfatação, caleagem e utilização de polímero para remoção dos principais compostos que dão cor no açúcar.

A fosfatação é quando se adiciona fosfatos no caldo e em seguida se realiza a caleagem elevando o pH para 7,2 - 8,2 para evitar a inversão e decomposição da sacarose (LIMA, 2010). A inversão da sacarose é uma reação que ocorre em condições ácidas e em elevadas temperaturas resultando em açúcares redutores: glicose e frutose. Ademais a degradação da sacarose ocorre em meio alcalino também sob altas temperaturas e pode levar a formação de hidroximetilfurfural (HMF), acetona, gliceraldeídos, ácido lático, ácido acético, ácido fórmico e dióxido de carbono entre outras substâncias (HAMERSKI, 2009).

A sulfitação, para a produção do açúcar cristal, é a uma das etapas mais importantes, pois é aquela que diminui a viscosidade do caldo, facilitando as operações de evaporação e cozimento, além de inibir as reações que causam alterações de cor no açúcar. Esta operação consiste em adicionar SO<sub>2</sub> no caldo, baixando seu pH para 3,8 - 4,3 (SILVA *et al.*, 2008). Em seguida o pH do caldo é elevado com a aplicação da caleagem, impedindo a inversão da sacarose. O caldo sulfitado, melhora a coagulação das matérias coloidais e a formação dos precipitados (ZACURA, 2001). No entanto, este método pode ser substituído por ozonização ou carbonatação, pois o enxofre é uma substância tóxica, cancerígena, poluente e corrosiva. Esses dois métodos não são tão eficientes como a sulfitação, porém, não deixam resíduos no açúcar, estando, portanto, dentro dos padrões internacionais para produção de açúcar de qualidade para o consumo direto.

A caleação ou caleagem é a adição de leite de cal ou cal virgem para elevar o pH para 6,8 - 7,4, visando a neutralização do caldo, a eliminação de corantes e ajudando na coagulação de parte do material coloidal e na precipitação de impurezas (ZACURA, 2011).

Após essas etapas, o caldo passa por aquecimento de aproximadamente  $100\pm 5$  °C, reduzindo sua viscosidade e densidade e acelerando as reações químicas para formação dos colóides. Com o aquecimento, os sais se tornam insolúveis possibilitando a decantação. A seguir, o caldo é encaminhado para os balões flash, onde serão retirados os gases presentes que podem atrapalhar o processo de decantação (ZACURA, 2011). Posteriormente, o caldo recebe polímero de elevado peso molecular e polaridade negativa, com o objetivo de agrupar os flocos formados, acelerando a velocidade de precipitação por torna-los maiores e mais pesados.

E por fim, o caldo segue para os decantadores, onde ocorre a separação entre o caldo e os flocos decantados, denominado lodo ou borra. O caldo clarificado sai pela parte superior das bandejas e os flocos formados e decantados saem pelo fundo do decantador, na forma de lodo (ZACURA, 2011).

No processo físico, o caldo passa por peneiras (fixas, vibratórias ou rotativas) para separação dos bacilhos presentes no caldo que a decantação não conseguiu eliminar (VENTURINI FILHO, 2005). E o lodo, retirado dos decantadores, passa por filtros para recuperação da sacarose. O resíduo resultante da filtração é a torta de filtro que será aplicada na adubação da cana-de-açúcar.

### **3.6 Evaporação**

A evaporação consiste em remover cerca de 75% da água contida no caldo clarificado, resultando em um xarope com cerca de 65°Brix. Esse processo é realizado nas usinas sucroenergéticas por equipamentos denominados de múltiplo-efeito devido à necessidade de economia do vapor (PAYNE, 1989).

De acordo Bayma (a) (1974), são utilizados evaporadores com conjuntos de quádruplo, quádruplo e até sêxtuplo efeito, dependendo do número de corpos do evaporador, sendo capazes de evaporar a água e, fornecendo vapor vegetal para aquecimento do caldo e operação dos tachos de cozimento. Este tipo de evaporador é eficiente porque os vapores produzidos na evaporação do primeiro corpo são reutilizados como fonte de calor para o corpo seguinte e assim sucessivamente. Segundo Payne (1989), isso é possível devido ao fato da redução de pressão do segundo corpo, comparado ao primeiro, reduzindo assim o ponto de ebulição deste corpo. Essa redução de pressão ocorre porque, ao final dos evaporadores, é acoplado um condensador gerando vácuo aos corpos de evaporação.

Durante a evaporação podem ser formados compostos coloridos que vão aumentar a cor do açúcar produzido. Por isso, especial atenção deve ser dada para que isso não ocorra. A evaporação sob vácuo é uma vantagem, pois a temperatura de ebulição diminui e reduz o risco de formação de cor no produto final.

### **3.7 Cozimento e cristalização**

O cozimento é realizado em tachos a vácuo, sendo conhecidos como corpos de evaporação de simples efeito. Esses tachos recebem o xarope resultante do processo de evaporação com 65°Brix e removem cerca de 12 a 15% da água contida no xarope (BAYMA, 1974). Marques (2001) relata que ao atingir 70 a 80°Brix inicia-se o surgimento dos cristais de sacarose, passando a ser chamado de massa cozida, pois passa de um estado líquido a um estado meio sólido, meio líquido. Sendo assim, a etapa de cristalização começa no cozimento, onde ocorre o surgimento e aumento dos cristais.

Existem quatro tipos de cozedores, o de calândria, de serpentina, misto e de placas sendo que todos operam em condições de baixa pressão (62-65 cm de Hg) e baixa temperatura (60°C) (MARQUES, 2001). Essa temperatura baixa de evaporação é recomendada para evitar a formação de compostos coloridos durante o cozimento.

Ao conduzir o cozimento ocorre a saturação ou a supersaturação da solução. Sendo denominada solução saturada quando contém quantidade total de açúcar que é capaz de se dissolver na solução. No entanto, isso só ocorre na teoria, pois na prática somente se trabalha com soluções impuras, que contém sacarose dissolvida, mas também, glicose, sais orgânicos ou minerais, cinzas entre outras substâncias. O caldo de cana possui grande quantidade de cinzas, que aumentam a solubilidade da sacarose, mas também contém elevada quantidade de glicose e frutose que diminuem a solubilidade da mesma, facilitando a sua cristalização (MARQUES, 2001).

Ademais uma solução de supersaturação, é caracterizada quando concentra-se uma solução além do ponto de saturação, e ainda assim, não ocorre a cristalização da sacarose. Na supersaturação temos três zonas: lábil, intermediária e metaestável.

Segundo Faria (2001), a zona lábil é também chamada de nucleação primária, é a formação de novos cristais sem qualquer influencia de outros cristais presentes no meio. Esta é dividida em homogênea, quando o núcleo é formado por matéria do soluto, e heterogênea, quando o cristal cresce em torno de uma partícula sólida qualquer.

A zona intermediária, ou a nucleação secundária, consiste na formação de novos cristais a partir do choque com outros cristais presentes no meio ou com os elementos físicos que compõem o cristalizador (FARIA, 2001).

A zona metaestável promove o crescimento dos cristais existentes na massa.

Objetivando um maior crescimento dos cristais e a exaustão do máximo de sacarose presente, a massa cozida é encaminhada para tanques de cristalização em movimento ou cristalizadores, sendo mantida sob refrigeração e agitação lenta. A redução de temperatura mantém as condições de supersaturação da massa (zona metaestável). A agitação garante que os cristais cresçam de forma individual (MARQUES, 2001) evitando o empedramento.

A velocidade do resfriamento da massa está diretamente relacionada com as suas características, com o formato e potência dos equipamentos e com a natureza das impurezas. Após o resfriamento da massa, esta segue para as centrífugas.

### **3.8 Centrifugação**

O objetivo da centrifugação é separar a parte líquida (mel) da parte sólida (cristais). As centrífugas operam com movimentos de rotação que geram força centrífuga, separando os cristais de açúcar do mel por meio de uma tela perfurada, onde os cristais não conseguem passar. De acordo com Payne (1989), essa separação do mel se dá em três estágios:

- remoção do excesso de mel requerido para preencher o espaço entre os cristais;
- expulsão adicional do mel, deixando vazios entre os cristais;
- redução do filme de mel ao redor dos cristais.

Após essa remoção, faz-se uma lavagem com água, seguido de vapor, para reduzir o filme de mel envolto nos cristais e elevar a polarização do açúcar. A água deve estar em 75°C ou mais e deve ser distribuída uniformemente sobre a superfície do açúcar, quando este ainda está cercado pelo mel. Após a aplicação da água, recomenda-se a utilização de um jato de vapor seco, para separar toda a película de mel que estava aderida nos cristais (BAYMA, 1974).

Marques (2001) menciona a utilização de dois tipos de centrífugas: batelada e contínua. As centrífugas batelada são as mais utilizadas, uma vez que as contínuas quebram o açúcar, mostrando-se insatisfatórias para produção de açúcar comercial. Entretanto, as centrífugas contínuas são empregadas em novos cozimentos, nos quais se utilizam o mel

proveniente da centrífuga de batelada. Busca-se em mais um ou dois cozimentos, esgotar o máximo possível o mel final, o qual será enviado para a produção de bioetanol.

### 3.9 Secagem

Para que o açúcar não sofra deterioração acelerada é necessário realizar a secagem reduzindo a umidade, que sai da centrífuga na ordem de 0,5 a 2%, para 0,1 a 0,2% após a passagem pelo secador. Para isso, são utilizados secadores horizontais que possuem circulação de ar contrária à movimentação do açúcar. O ar quente empregado diminui a umidade dos cristais.

Um secador de açúcar possui aquecedor de ar e ventilador para promover a circulação do açúcar com circulação de ar quente. A temperatura desse ar deve permanecer na faixa de 70 a 95°, para que os cristais não fiquem amarelados, e velocidade do ar entre 1 a 5 metros por segundo, para que não arraste os cristais finos e ocorra dessa forma, perdas de produção (MARQUES, 2001).

### 3.10 Armazenamento

O armazenamento do açúcar pode ser realizado em sacas de 50kg, big-bag de 1500kg para açúcar cristal ou a granel para açúcar VHP, sendo extremamente importante as variáveis pol/umidade, temperatura e umidade relativa do ar no local de estocagem. A inter-relação pol/umidade determina se o açúcar é suscetível à ação de microrganismos, se a relação  $\frac{umidade}{100 - pol}$  não estiver abaixo de 0,25 o fator de deterioração por microrganismos é elevado (PAYNE, 1989).

Ademais, a temperatura está relacionada com a decomposição química e empedramento dos cristais. A temperatura de um armazém deve permanecer abaixo de 38°C para que não ocorram essas reações (MARQUES, 2001).

A umidade relativa influencia também no empedramento, na decomposição e na possibilidade de “melar” (absorção de água e derretimento do cristal de açúcar). Se a umidade estiver muito abaixo de 65% o açúcar tende a empedrar, devido à cristalização da sacarose. E sob umidade acima de 85% o açúcar fica “melado”. No entanto, dentro de um armazém

relativamente fechado, o açúcar do interior das pilhas não sofre nenhuma interferência dos efeitos da parte externa (PAYNE, 1989).

Se essas medidas não forem tomadas durante a estocagem, há grandes possibilidades de o açúcar sofrer transformações em suas características físicas e químicas, podendo amarelar, quebrar, incorporar material estranho, e empedrar que é a deterioração mais comum. No entanto, a principal perda de qualidade será mesmo na coloração (ZACURA, 2011).

### **3.11 Interferências na cor do açúcar**

A cor do açúcar é importante fator para qualificação e valor comercial desse produto. Os pigmentos normalmente encontrados podem se originar do processo ou de corantes da própria cana. Aproximadamente dois terços da cor presente no açúcar é derivado de compostos fenólicos e flavonóides que dependem da qualidade da matéria-prima. Uma parte menor dos pigmentos escuros são formados por via não enzimática, isto é, produzidos durante o processamento pela reação de Maillard - degradação de açúcares e pela caramelização (CLARKE et al, 1985).

#### **3.11.1 Compostos fenólicos**

Os compostos fenólicos são estruturas químicas que apresentam hidroxilas e anéis aromáticos, nas formas simples ou de polímeros, que confere poder antioxidante. Dentre esses destacam-se os flavonóides, os ácidos fenólicos, os taninos e os tocoferóis (ANGELO *et al.*, 2007).

Na cana-de-açúcar, os compostos fenólicos podem estar em formas livres ou complexados a açúcares e proteínas, podendo sofrer reações não enzimáticas, como oxidação e polimerização, e reações com proteínas e aminoácidos para produzir meloidinas (SUZART *et al.*, 2007). Estes compostos afetam a medida de cor ICUMSA, pois alteram sua coloração em função do pH.

A remoção de compostos fenólicos se dá no processo de clarificação do caldo, no entanto, cerca de 60% passam por esse processo e permanecem nos cristais de açúcar. Na literatura são descritos cerca de vinte e um compostos fenólicos encontrados na cana-de-

açúcar dependendo da variedade, dez dos quais são encontrados no açúcar bruto e quatro ainda no açúcar refinado (LEITE, 2000).

### **3.11.2 Reação de aminoácidos com açúcares redutores (Reação de Maillard)**

A reação de Maillard consiste em interações entre açúcares redutores (glicose e frutose) e aminoácidos presentes no caldo, que, ao serem aquecidos juntos, desencadeiam diversas reações resultando em pigmentos escuros, melanoidinas (SUZART, 2007). Essas reações ocorrem, normalmente, à temperaturas muito altas. No entanto, se houver elevada concentração de açúcares redutores e aminoácidos, essas reações podem ocorrer em temperaturas mais baixas (REMIÃO, 2004).

Segundo Crexi (2009), a reação pode ser dividida em três etapas: inicial, intermediária e final.

- Fase inicial: ocorre entre açúcares redutores e aminoácidos na proporção de 1:1 resultando em produtos incolores, sem sabor e odor. Ocorrem às reações de condensação, enolização e rearranjo de Armadori ou de Heyns.

A condensação ocorre quando há união de duas moléculas (açúcar redutor e aminoácido) com perda de água.

Ademais, a enolização ocorre à formação das bases de Schiff (compostos instáveis) sendo posteriormente isomerizadas formando aldoses e cetoses. O rearranjo de Armadori é a reação que possui aldose como produto inicial e cetose como produto final, sendo catalisada por ácidos e bases. O rearranjo de Heyns é a reação onde a cetose converte-se em aldose, sem uso de catalisador, ocorrendo de forma mais lenta que do rearranjo de Armadori.

- Fase intermediária: ocorre degradação de cetosaminas e degradação de Strecker, ocasionando coloração amarela e percepção de aromas no açúcar.

Na degradação de cetosaminas ocorre a degradação destas, formando compostos  $\alpha$ -dicarbonila insaturados ou redutonas. As redutonas são componentes facilmente oxidáveis com características de agente redutor. Essas reagem com aminas levando a formação de cetonas, aldeídos e ácidos voláteis, os quais contribuem para a coloração, o sabor e o aroma no açúcar.

Na degradação de Strecker, os compostos  $\alpha$ -dicarbonilas reagem com  $\alpha$ -aminoácidos tendo como produtos, aldeídos, dióxido de carbono e novos compostos carbonila que também adicionam cor, sabor e aroma ao açúcar.

- Fase final: Os compostos carbonila podem reagir entre si, com os aldeídos ou com substâncias aminas do meio e produzir compostos aromáticos como a melanoidina. Esta é a etapa em que ocorre o desenvolvimento de cor, aroma e sabor mais intensos ao açúcar. A melanoidina é resultado das reações de polimerização e condensação e é responsável por pigmentos que elevam a coloração do produto.

### 3.11.3 Caramelização

Na caramelização ocorre uma série de reações sem intervenção de aminoácidos, dependendo apenas da reatividade do açúcar, da temperatura de elaboração desse alimento, da umidade e do pH, resultando no escurecimento do açúcar devido a formação de polímeros insaturados (CREXI, 2009).

De acordo com Oetterer (s.d.), as reações de caramelização podem ocorrer em meio ácido ou alcalino, sendo autocatalizadas pelo desprendimento de água e aceleradas pelo aumento de temperatura e umidade.

A caramelização em meio ácido ocorre basicamente em três etapas. Na primeira, a glicose ou outro açúcar redutor sofre uma isomerização e enolização, adquirindo o caráter álcool. Na segunda etapa sofre uma desidratação formando o hidroximetilfurfural, precursor da cor. E na terceira etapa, o hidroximetilfurfural sofre uma polimerização resultando na meloidina, polímero colorido. Essa é uma reação autocatalizada porque a água liberada ajuda a polimerização.

A caramelização em meio alcalino, também sucede em três etapas, sendo a primeira como na caramelização em meio ácido. O açúcar redutor sofre isomerização resultando em álcool. A segunda etapa pode seguir a sequência do meio ácido e formar hidroximetilfurfural e meloidinas, ou pode ocorrer degradação de Holtamand. Na degradação de Holtamand ocorre a fragmentação do álcool resultando em gliceraldeído, triose-enediol, piruvaldeído e ácido láctico. Esses compostos são reativos, lábeis, de rápida oxidação e escurecimento. A terceira etapa é a formação de polímeros a partir dos compostos formados da degradação de Holtamand, levando as melanoidinas (OETTERER, s.d.).

### 3.12 Determinação da cor do açúcar

Dentre os métodos de avaliação da coloração de açúcar, o mais aceito em todo o mundo para obter valores de qualidade para comercialização é o método ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis).

O método ICUMSA utiliza absorção e/ou desvio de luz por uma solução açucarada para determinar a cor de um açúcar. Neste método quanto menor a absorção/desvio, menor será a coloração do açúcar – mais claro ou mais branco – e menor o número que indica sua cor (INMETRO, 2012).

De acordo com Zacura (2011), são aceitáveis valores ICUMSA para açúcar VHP de 800 a 1800 e para açúcar cristal de 150 a 200. No entanto, este é um método trabalhoso, no qual deve-se dissolver certa quantidade de açúcar em mesma quantidade de TEA (Trienolamina com pH 7) para os açúcares cristal, refinado amorfo e refinado granulado, ou em água deionizada para os açúcares VVHP, VHP e orgânico. Após a diluição, filtra-se em membrana (porosidade  $0,45 \mu\text{m}$ ), do filtrado são realizadas medidas de sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e absorbância a 420 nm. Sendo assim, Annunzio *et al.* (2012) propõe que seja realizado medidas de cor por colorimetria, sendo possível a correlação em relação ao método ICUMSA.

A colorimetria utiliza equipamento com sensibilidade similar ao olho humano com a vantagem de não possuir interferências de iluminação do ambiente, pois utiliza uma fonte interna de luz e um sistema de compensação de leitura, constituído de dois sensores internos. Um que mede a luz refletida da superfície e outro que mede a luz da fonte de iluminação (AMARANTE *et al.*, 2008). A determinação da cor se baseia nos três elementos primários de cores, Luminosidade (L), Cromaticidade (C) e Ângulo Hue ( $h^{\circ}$ ).

A luminosidade varia de 0 (preto) a 100 (branco), enquanto a cromaticidade varia na direção radial representando a saturação de uma cor em relação ao cinza (o maior valor indica a maior saturação ou intensidade da cor) e o ângulo Hue varia na direção angular e representa as diferentes cores existentes, sendo  $0^{\circ}$  vermelho,  $90^{\circ}$  amarelo,  $180^{\circ}$  verde e  $270^{\circ}$  azul (RODRIGUES, 2007).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia dos Produtos Agrícolas do Departamento de Tecnologia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Jaboticabal-SP. Para realização do experimento foram adquiridas amostras de açúcar cristal e VHP cedidas por duas Usinas, localizadas na região de Jaboticabal-SP.

O delineamento experimental utilizado foi o de parcelas subdivididas para as análises de cor (placas) por tratamento. O tratamento principal foi o de temperatura de armazenamento (20, 25, 30 e 35°C), o secundário constituiu nos tipos de açúcares (VHP e Cristal), o terciário foi o período de medição da cor (Início, primeiro dia do experimento e final, no último dia do monitoramento). Foram utilizadas 5 repetições (placas) por tratamento, perfazendo um total de 40 repetições. Foram utilizadas parcelas subdivididas para análise da cor ICUMSA somente para açúcar VHP. O tratamento principal foram as mesmas temperaturas empregadas e o tratamento secundário o início e o final do monitoramento.

No laboratório, o material (açúcar) foi distribuído em placas de Petri (30g de açúcar/placa) e colocado em B.O.D. com temperatura monitorada por termômetro digital. Dentro de cada B.O.D. foram colocadas também três placas de Petri, contendo 20g de hidróxido de cálcio para o controle da umidade.

Foram realizadas medições de temperaturas e umidades atuais, máximas e mínimas. As medições de luminosidade, cromaticidade e Ângulo de Hue eram realizadas com uso do colorímetro Minolta CR-400, conforme Annunzio *et al.*, (2012). As análises foram realizadas diariamente, durante um período de 30 dias, sempre às 12:00 horas, iniciando-se no dia 30 de outubro e finalizando em 30 de novembro de 2012.

Em cada dia de análise, era obedecida uma sequência pré-estabelecida para a coleta de dados: inicialmente verificava-se a temperatura e umidade atual, máxima e mínima das B.O.D.s. Em seguida, eram retiradas as placas contendo os açúcares para a medição de cor, seguindo a ordem numérica anotada nas placas de Petri. Após medição, as placas eram recolocadas na mesma B.O.D., com a mesma ordem.

Os dados referentes à cromaticidade foram transformados em valores de cor ICUMSA, por meio da equação observada por Annunzio *et al.*, (2012), para ser utilizado como parâmetro de avaliação de cor. A equação foi:

$$\text{Cor ICUMSA} = (\text{Cromaticidade} - 10,38)/0,006$$

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação entre médias foi realizada pelo teste de Tukey, segundo Banzatto e Kronka, (2006).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística entre o início e o final do período de estocagem, observa-se que não houve modificação nos valores de ângulo Hue para as diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C), (Tabela 1).

Verificou-se que a luminosidade dos açúcares se manteve constante entre as temperaturas analisadas, exceto em 25°C, na qual houve diminuição do valor, indicando que o açúcar ficou mais escuro. A luminosidade se diferenciou para os dois tipos de açúcar, o que era esperado, pois o açúcar cristal é mais claro que o açúcar VHP (Tabela 1 e Figura 1), ao final do período de armazenamento ocorreu escurecimento dos açúcares, indicados pelos valores de L.

Observa-se para interação entre temperaturas e tipos de açúcar que os valores de cromaticidade do açúcar VHP diminuíram ao final do período de avaliação, ao contrário do observado para o açúcar cristal que se manteve estável, exceto na temperatura de 25°C na qual o açúcar apresentou redução da cromaticidade ao final do período de avaliação (Figura 1). Esses resultados indicam a sensibilidade do açúcar VHP para esse parâmetro analisado.

A cromaticidade não poderia ser utilizada para transformar em valores de cor ICUMSA durante o armazenamento do açúcar, pois a cromaticidade diminui com a deterioração, levando a diminuição do valor ICUMSA, (Tabela 2 e Figura 3). Segundo ZACURA (2011) o açúcar adquire coloração durante o armazenamento, o que é o contrário do observado com a transformação dos valores.

TABELA 1 – Teste F e teste Tukey para cromaticidade, luminosidade e ângulo Hue de açúcar VHP e cristal submetido a diferentes temperaturas durante 30 dias (início e final)

| <b>Causas de variação</b> | <b>Cromaticidade</b> | <b>Luminosidade</b> | <b>Ângulo de Hue</b> |
|---------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Temperatura (T)           | 32,7702**            | 28,4132**           | 0,1586 <sup>ns</sup> |
| 20°C                      | 11,5980 B            | 73,2670A            | 85,3185 A            |
| 25°C                      | 11,3961 B            | 69,3051 B           | 92,4192 A            |
| 30°C                      | 12,8015 A            | 74,1115 A           | 86,7195 A            |
| 35°C                      | 13,0295 A            | 74,7485 A           | 87,0685 A            |
| CV %                      | 5,3                  | 2,82                | 39,84                |
| Açúcar (A)                | 16205,3446**         | 696,7243**          | 2,0978 <sup>ns</sup> |
| VHP                       | 19,9638 A            | 65,9661 B           | 82,2299 A            |
| Cristal                   | 4,4487 B             | 79,7500 A           | 93,5330 A            |
| Interação T x A           | 22,4054**            | 15,0160**           | 0,1997 <sup>ns</sup> |
| CV %                      | 4,47                 | 3,21                | 39,71                |
| Período (P)               | 268,5811**           | 10,3841**           | 0,0054 <sup>ns</sup> |
| Início                    | 13,1915 A            | 73,7975 A           | 88,1672 A            |
| Final                     | 11,2211 B            | 71,9186 B           | 87,5956 A            |
| Interação T x P           | 16,9202**            | 19,4348**           | 0,1798 <sup>ns</sup> |
| Interação A x P           | 67,9270**            | 11,4621**           | 0,2741 <sup>ns</sup> |
| Interação T x A x P       | 3,6738*              | 11,1869**           | 0,1888 <sup>ns</sup> |
| CV %                      | 1,41                 | 3,58                | 39,56                |

<sup>ns</sup> – não significativo (P>0,05); \* Significativo a 5% de probabilidade (P≤0,05); \*\* Significativo a 1% de probabilidade (P≤0,01);

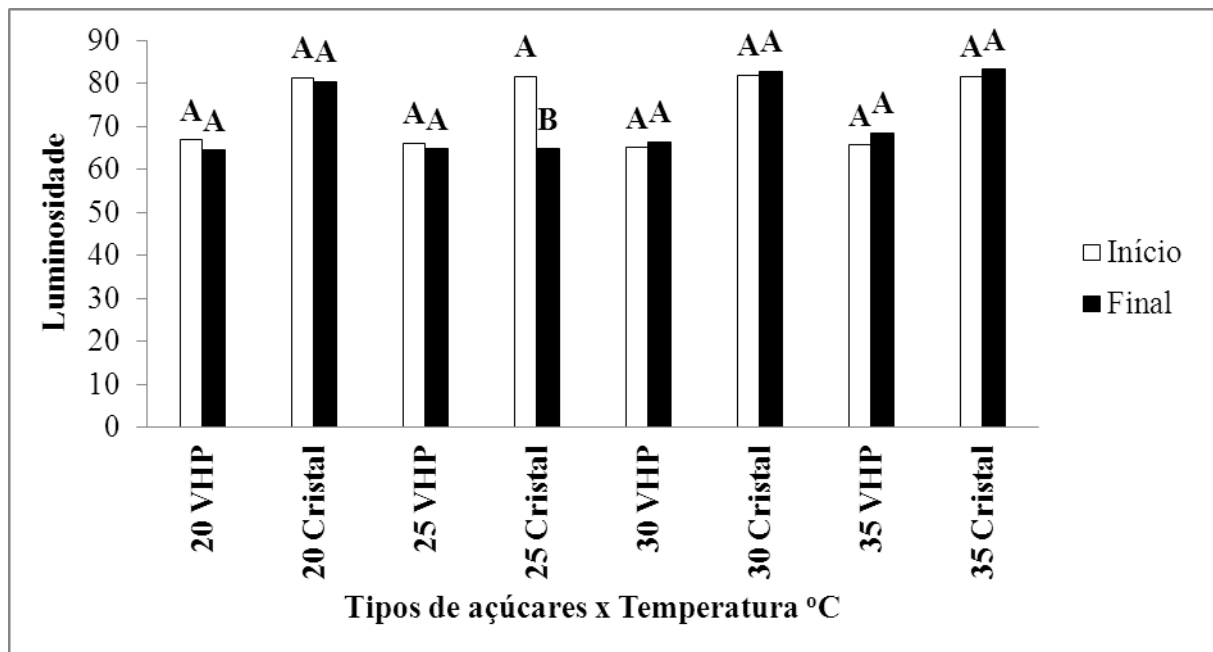
TABELA 2 – Teste F e teste Tukey para cor ICUMSA de açúcar submetido a diferentes temperaturas durante 30 dias (início e final)

| <b>Causas de Variação</b> | <b>Cor ICUMSA</b> |
|---------------------------|-------------------|
| Temperatura (T)           | 36,1002**         |
| 20°C                      | 1360 B            |
| 25°C                      | 1466 B            |
| 30°C                      | 1749 A            |
| 35°C                      | 1814 A            |
| CV %                      | 7,22              |
| Período (P)               | 326,4331**        |
| Início                    | 1844 A            |
| Final                     | 1350 B            |
| Interação T x P           | 12,6668**         |
| CV %                      | 5,41              |

<sup>ns</sup> – não significativo ( $P > 0,05$ );

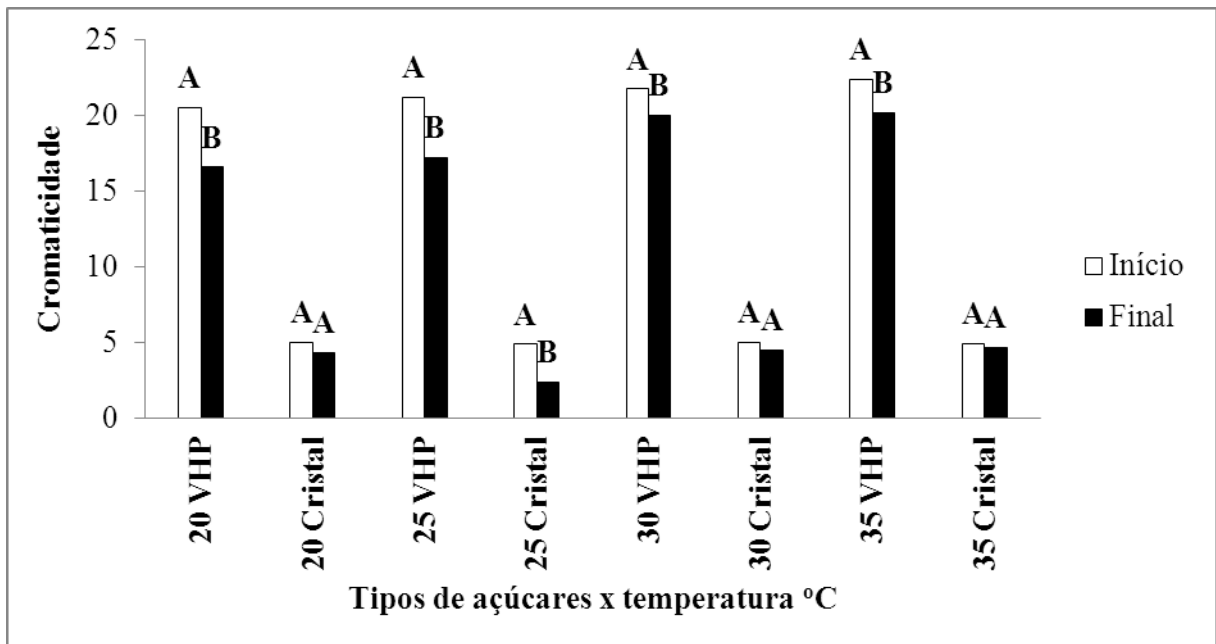
\* Significativo a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ); \*\* Significativo a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,01$ );

FIGURA 1 – Luminosidade ao início e final do armazenamento em quatro temperaturas, de dois tipos de açúcar



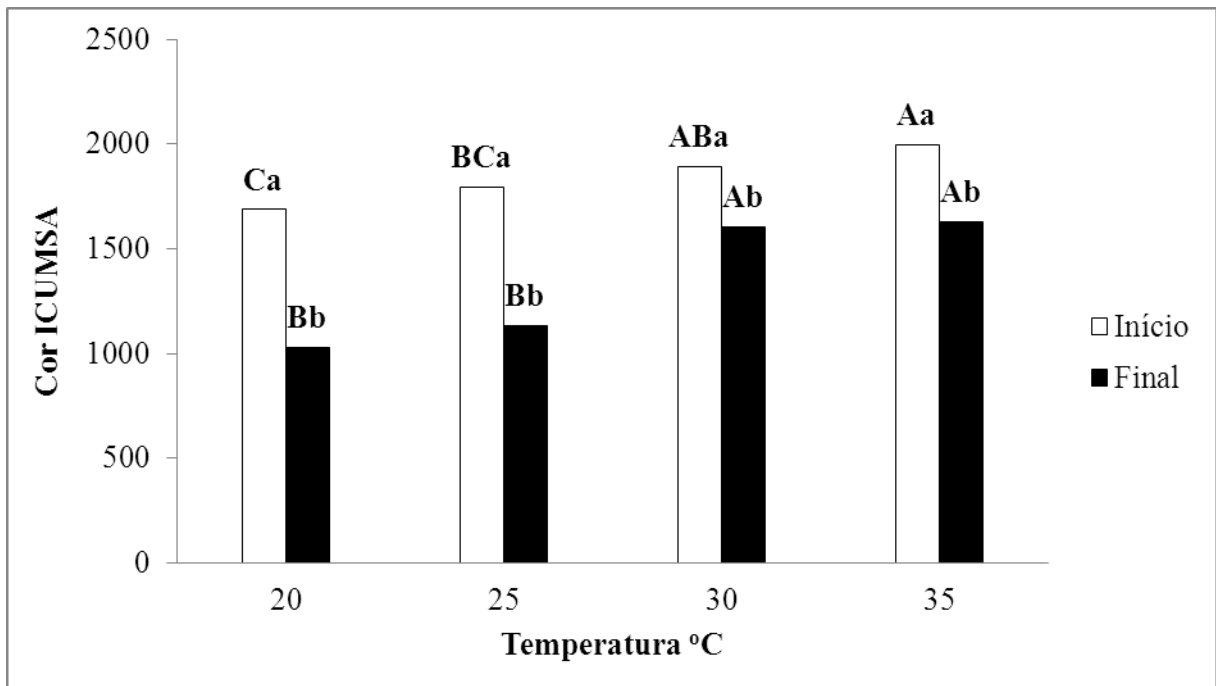
Letras maiúsculas iguais, dentro do grupo de colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

FIGURA 2 – Cromaticidade ao início e final do armazenamento em quatro temperaturas, de dois tipos de açúcar



Letras maiúsculas iguais, dentro do grupo de colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

FIGURA 3 – Cor ICUMSA ao início e final do armazenamento em quatro temperaturas, de dois tipos de açúcar



Letras maiúsculas comparam entre as temperaturas; letras minúsculas comparam início e final de avaliação dentro da temperatura pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

Os valores das temperaturas de todas as B.O.D.s permaneceram constantes durante os 30 dias de avaliação (Figuras de 4, 5, 6 e 7).

As B.O.D.s foram ligadas 10 dias antes do início do experimento, e embora fosse utilizada cal, como utilizado na prática em armazéns para controle da umidade, não foi o suficiente para controlar e impedir que o açúcar fundisse à temperatura de 25°C (Figura 9). Isto porque, dentro da B.O.D. de 25°C foi verificado elevadas oscilações das umidades máximas e mínimas, essa variação pode ter ocorrido devido a problemas decorrentes do mau funcionamento da B.O.D. Nos primeiros quatro dias, a umidade nesta B.O.D. atingiu valores entre 95% e 99%, sendo assim, após quarto dia de avaliação, quando a umidade atingiu 99%, o açúcar ficou com aspecto “melado” (Figura 19 e 20).

Ademais, nas outras B.O.D.s (Figuras 8, 10 e 11) não foi verificado grandes oscilações da umidade, sendo que as B.O.D.s de 30°C e 35°C tiveram a influência da temperatura como fator de diminuição da umidade. A B.O.D. de 20°C, embora apresentasse pequena variação na umidade, não permaneceu por mais de três dias em umidades superiores a 90%, não ocorrendo o “derretimento” do açúcar, como ocorreu na B.O.D. de 25°C.

FIGURA 4 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 20°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

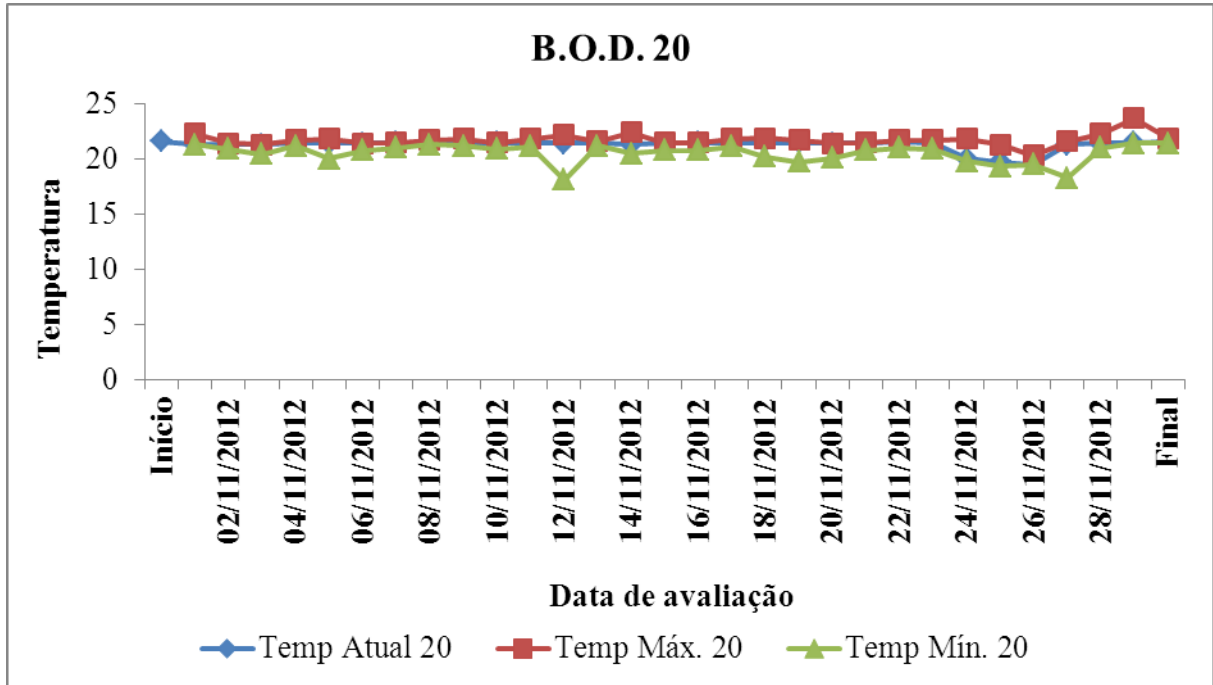


FIGURA 5 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 25°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

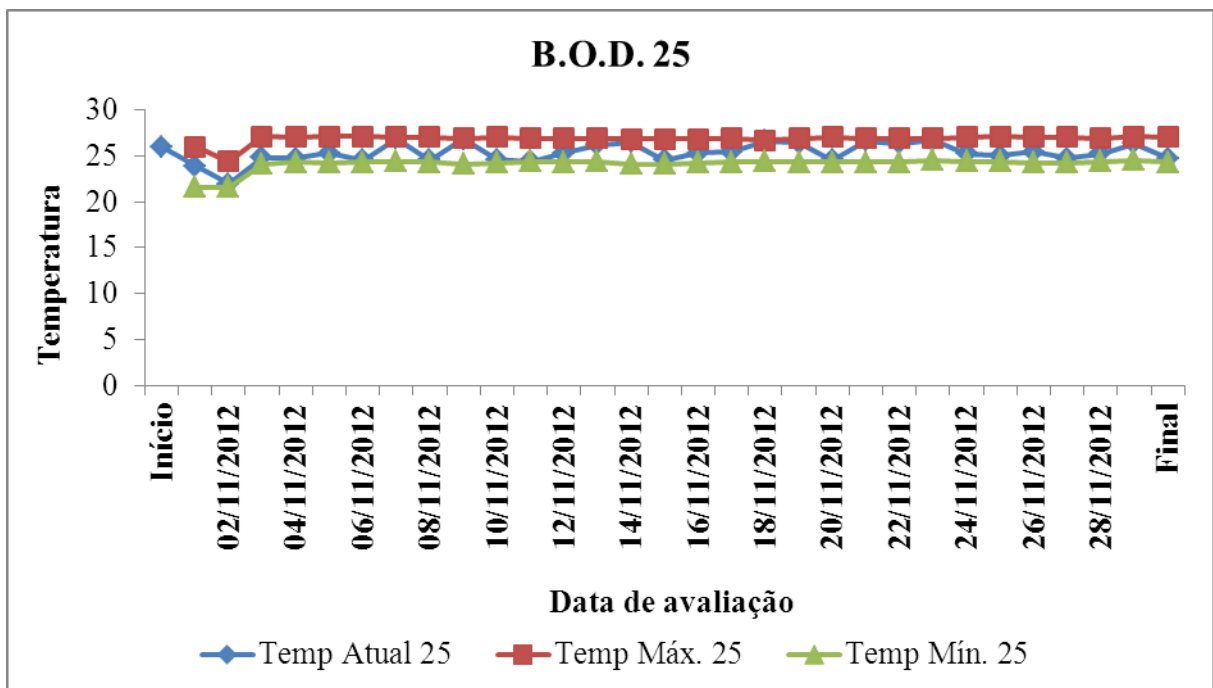


FIGURA 6 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 30°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

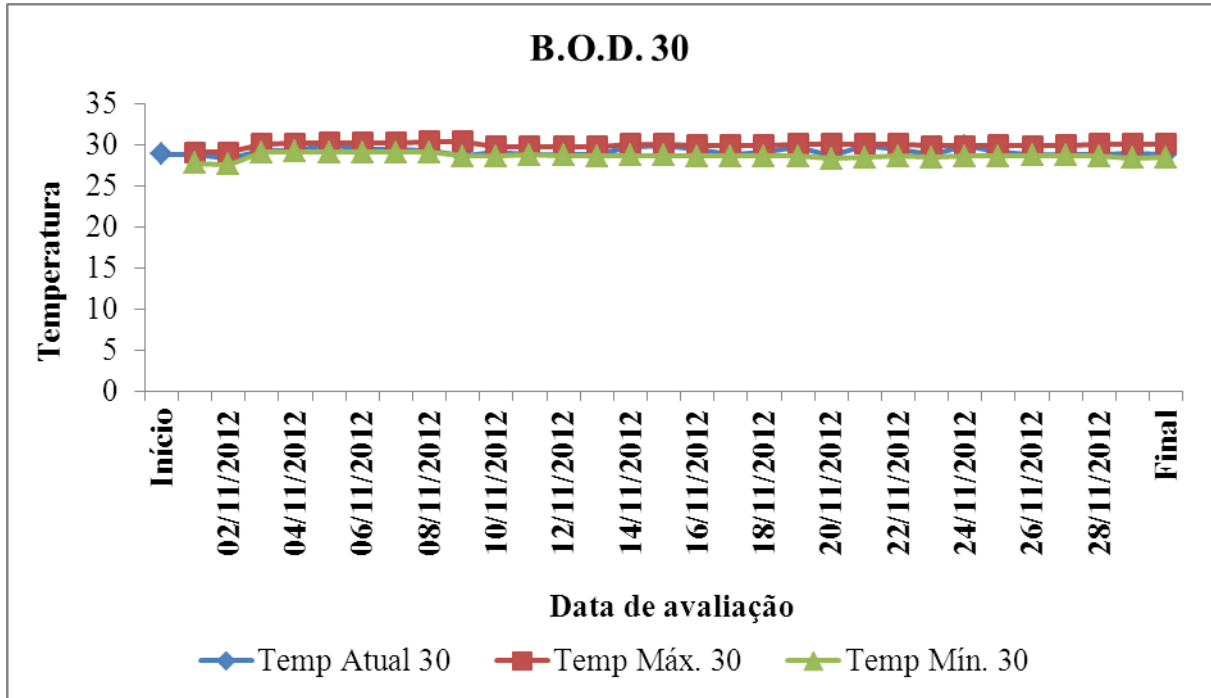


FIGURA 7 – Temperaturas atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 35°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

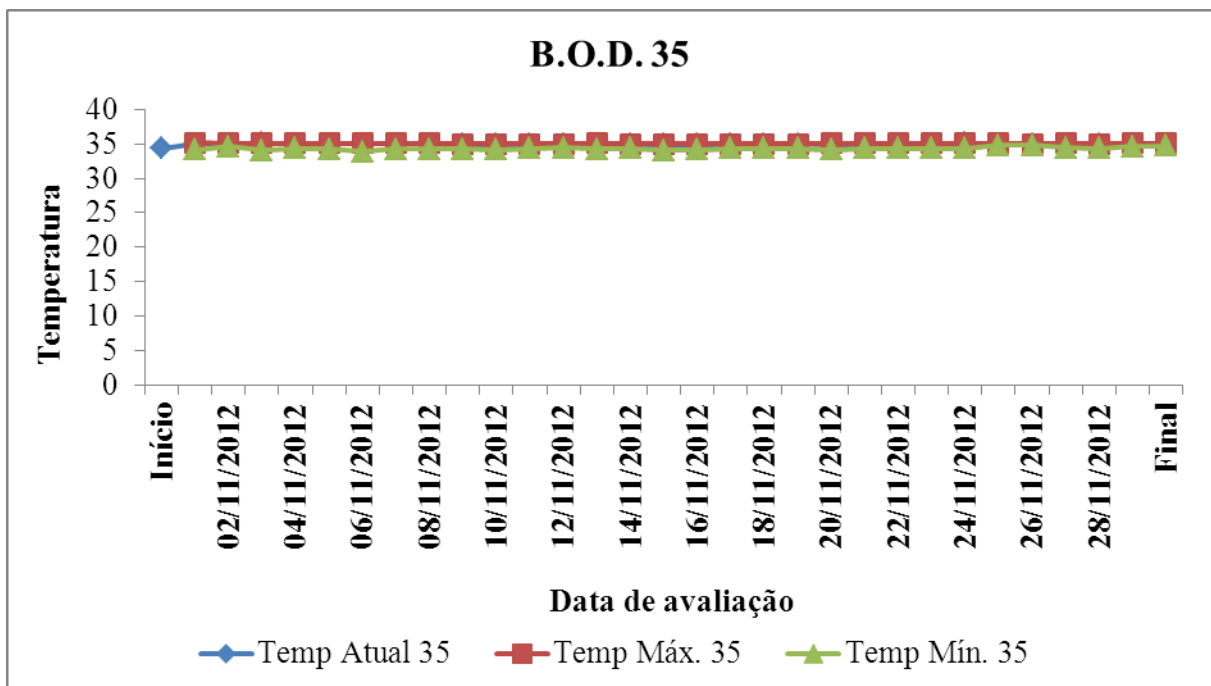


FIGURA 8 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 20°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

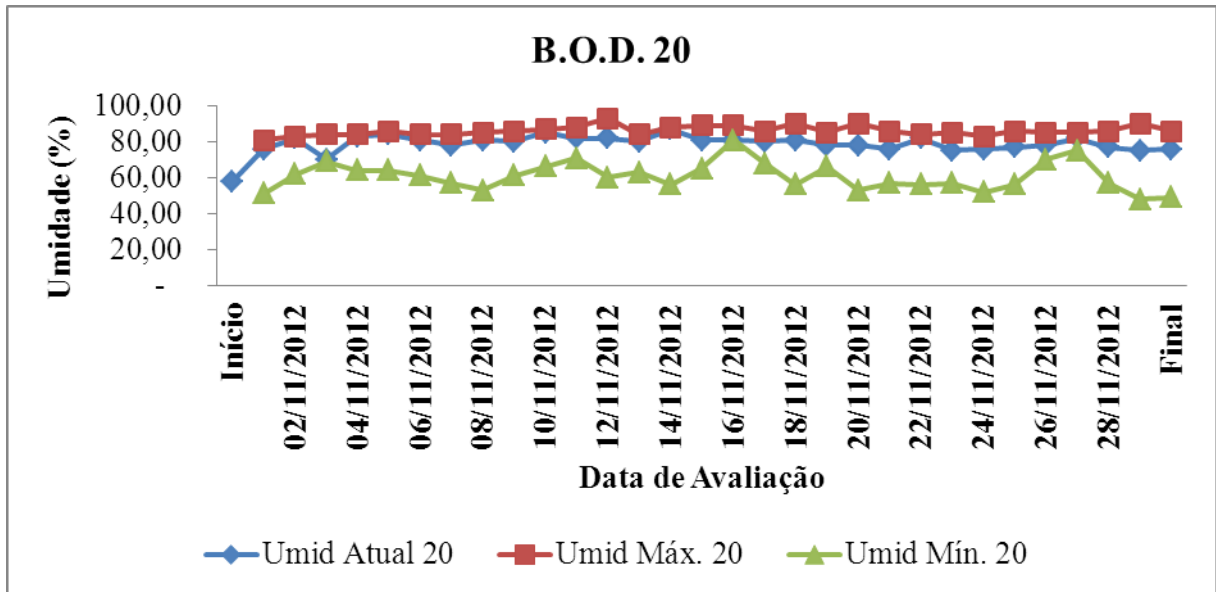


FIGURA 9 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 25°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

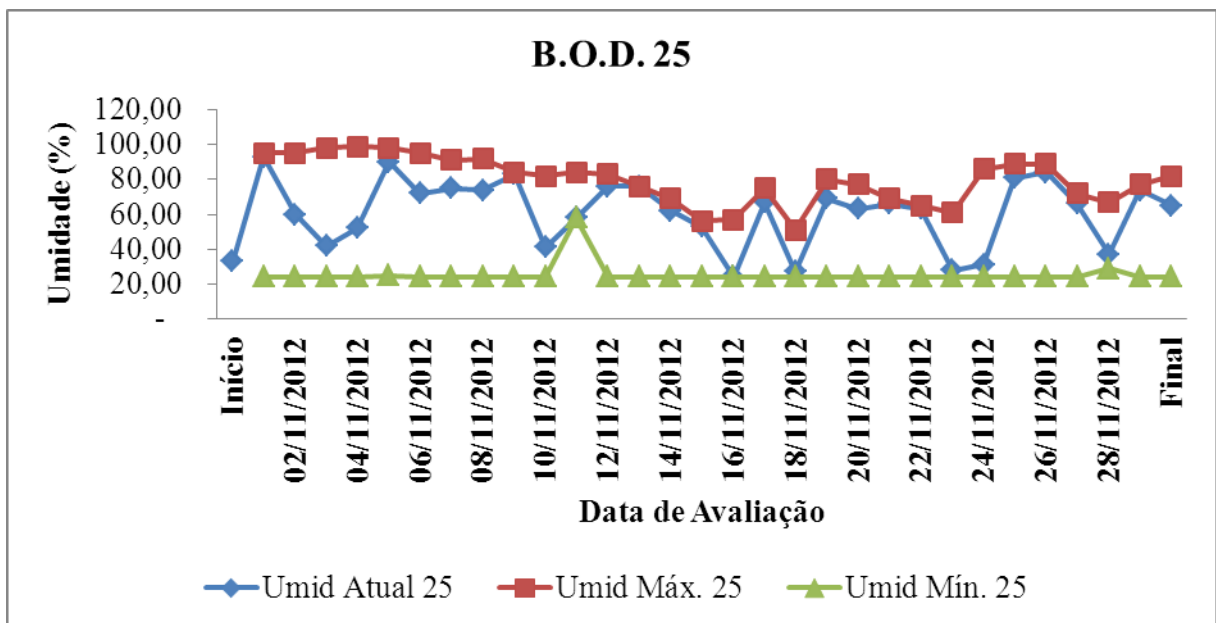


FIGURA 10 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 30°C para armazenamento de dois tipos de açúcar

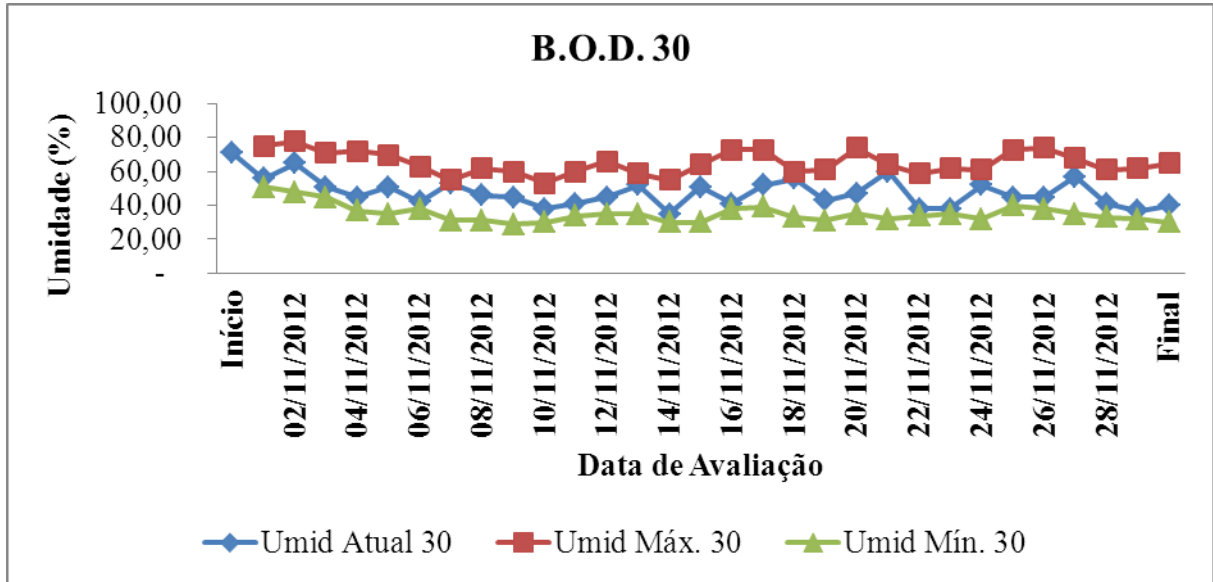
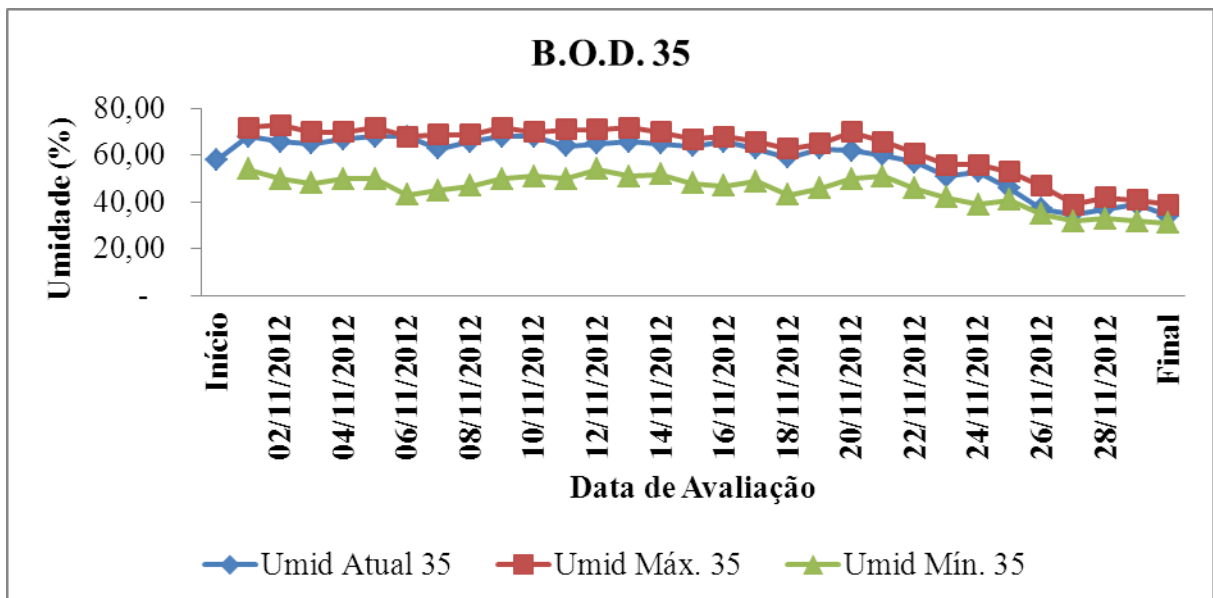


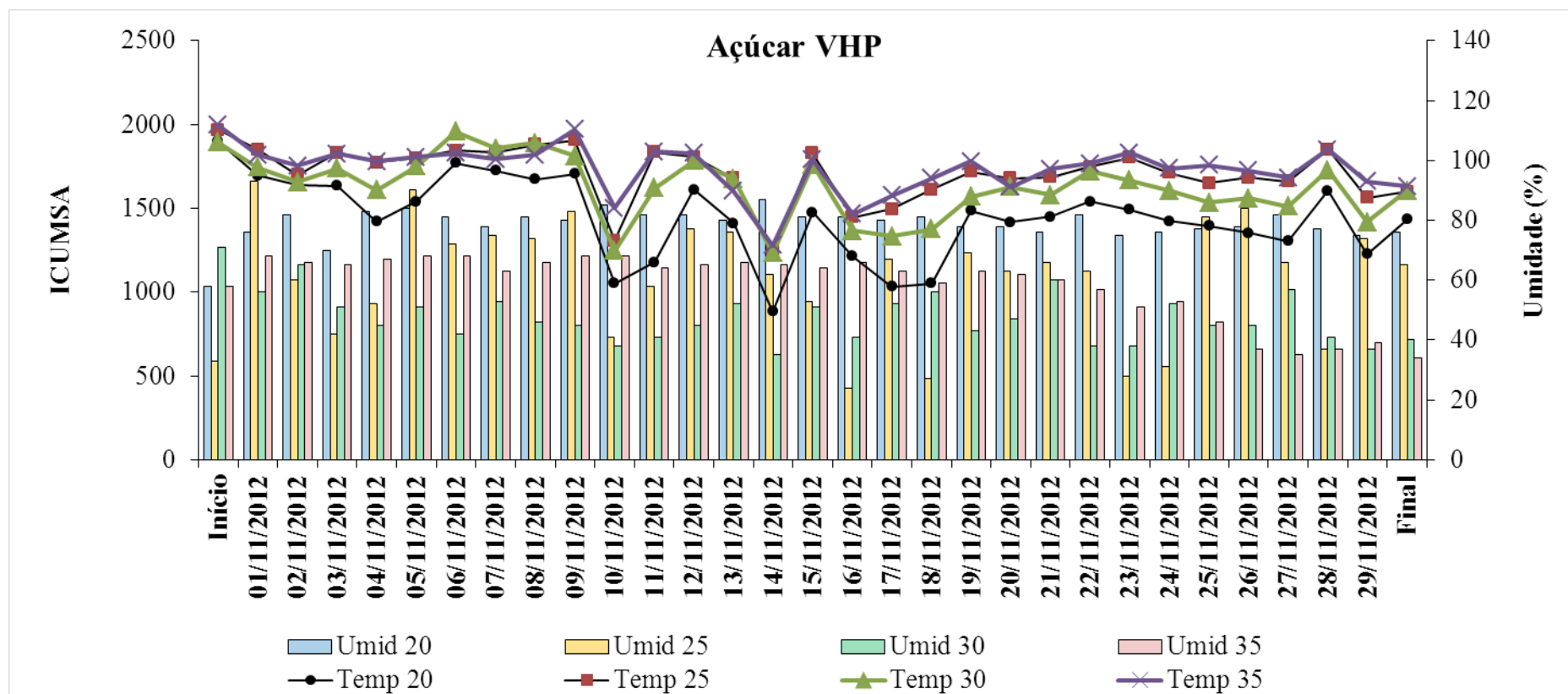
FIGURA 11 – Umidades atual, máxima e mínima de B.O.D. regulada a 35°C para armazenamento de dois tipos de açúcar



Além da temperatura e período de avaliação foram avaliados também, com o uso do colorímetro Minolta CR-400, a cromaticidade, luminosidade e ângulo de Hue todos os dias dos açúcares cristal e VHP armazenados nas B.O.D.s. Sendo que a cromaticidade do açúcar VHP foi convertida em cor ICUMSA (Figura 12). Na Figura 12, pode ser observado que a cor ICUMSA para o açúcar VHP na B.O.D. de 35°C apresentou os maiores valores, seguido das B.O.D.s de 30°C e 25°C respectivamente. A B.O.D de 25°C não se enquadrou nos valores de coloração devido às altas variações na umidade que provocaram o derretimento do açúcar ocasionando aumento na coloração para o mesmo nível da B.O.D de 35°C. Indicando, que a umidade interfere tanto quanto a temperatura no aumento de cor durante o período de armazenamento do açúcar. No entanto, o gráfico apresenta diminuição de valor de cor ICUMSA, o que não corresponde a realidade, pois o gráfico é baseado em valores de cromaticidade, na qual a diminuição indica deterioração. Sendo assim, a transformação de cromaticidade para cor ICUMSA não pode ser realizada para avaliação do armazenamento, uma vez que ocorre a deterioração do açúcar e se for utilizado os valores de cromaticidade para a determinação da cor ICUMSA os valores diminuirão. Entretanto, como Annunzio *et al.*, (2012) relatou a cromaticidade é o parâmetro do colorímetro que mais se aproxima da cor ICUMSA, e pode ser utilizada na avaliação da cor.

Os valores de cromaticidade do açúcar cristal não foram transformados em cor ICUMSA, pois seriam obtidos, em alguns casos, valores abaixo de zero para o açúcar, se fosse utilizado a equação determinada por Annunzio *et al.*, (2012). Segundo Seagro (2012) os valores de cor ICUMSA para açúcar cristal variam entre 130 a 180.

FIGURA 12 – Cor ICUMSA do açúcar VHP submetido às diferentes temperaturas de 20, 25, 30 e 35°C linhas projetadas no eixo Y (esquerda) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013), colunas projetadas no eixo Y (direita).



O açúcar VHP apresentou valores de cromaticidade entre 13 a 22 (Figura 13), sendo os menores valores encontrados na B.O.D. de 25°C, B.O.D em que o açúcar fundiu, e esses resultados indicam menor índice de brilho do açúcar. Os maiores valores de cromaticidade foram constatados na B.O.D de 35°C e apontam que o açúcar desta B.O.D permaneceram com mais brilho (Figura 13).

Os valores de luminosidade avaliadas para o açúcar VHP oscilaram entre 59 a 69 (Figura 14), sendo os menores valores observados durante os primeiros 15 dias na B.O.D 25°C devido ao açúcar ter “melado”, e nos últimos 15 dias constante com a B.O.D. de 20°C. Quanto mais próximo de 100 mais branco está o açúcar, e quanto mais perto de zero mais para o preto é a coloração, portanto, os açúcares das B.O.D.s 30 e 35°C apresentaram-se mais brancos em relação aos açúcares das B.O.D.s de 20 e 25°C. As B.O.D.s com temperaturas mais baixas foram as que apresentaram as maiores oscilações de umidade. Os maiores valores permaneceram constantes ao longo dos 30 dias para as B.O.D.s de 30 e 35°C, possivelmente, pelo fato dessas estufas serem utilizadas com maior frequência e a umidade diminuir com o aumento de temperatura.

Os valores de ângulo Hue das amostras de açúcares avaliados oscilaram entre 73 e 84 (Figura 15), permanecendo em média acima de 80, sendo que o ângulo 0° indica a cor vermelha e o ângulo 90° indica a cor amarela. Os resultados demonstram o escurecimento do açúcar durante o armazenamento indicados pela redução do ângulo Hue.

FIGURA 13 – Cromaticidade do açúcar VHP submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)

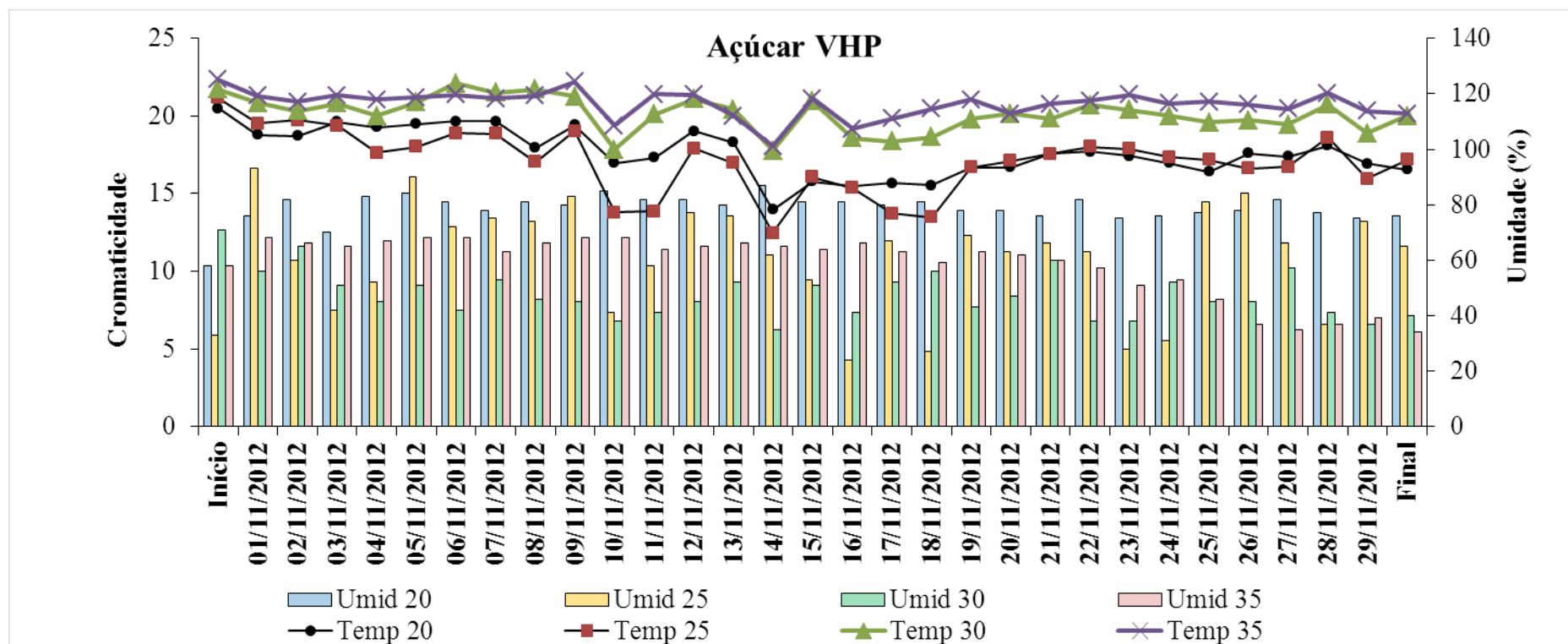


FIGURA 14 – Luminosidade do açúcar VHP submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)

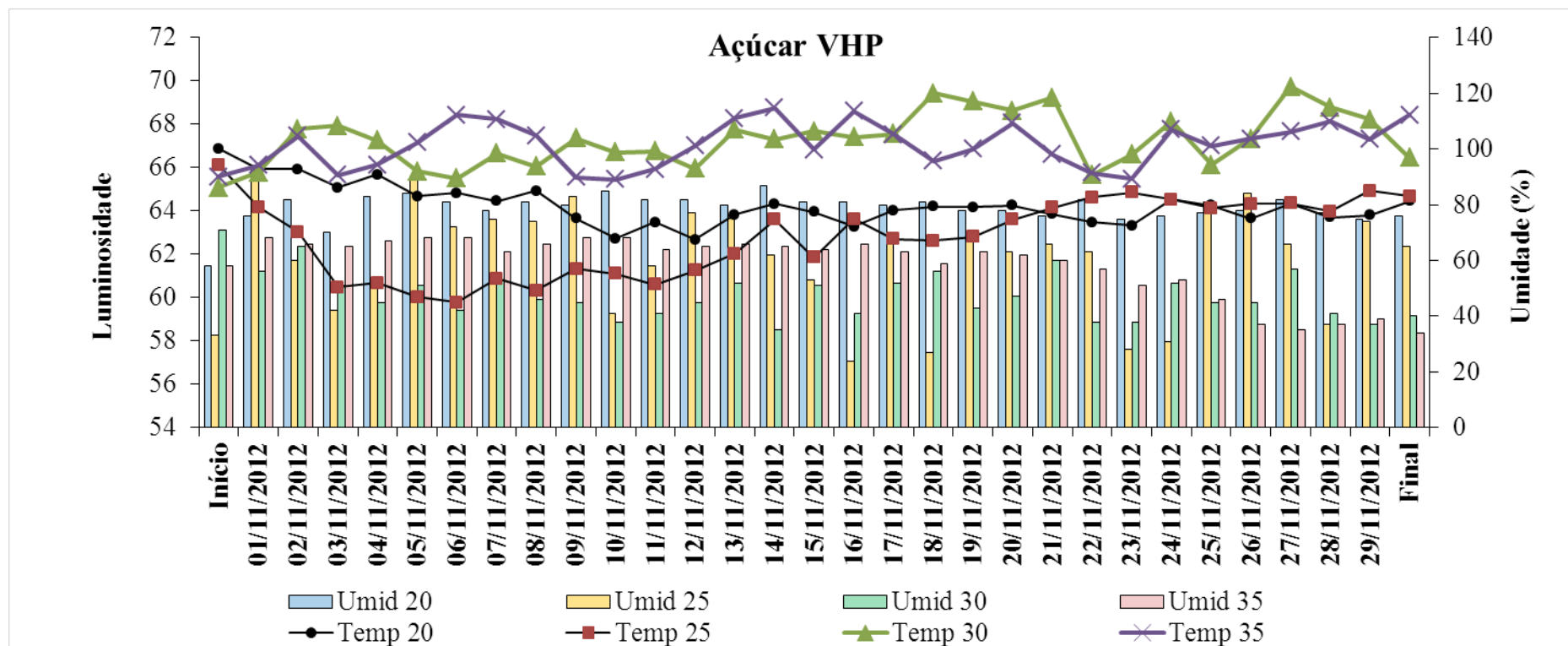
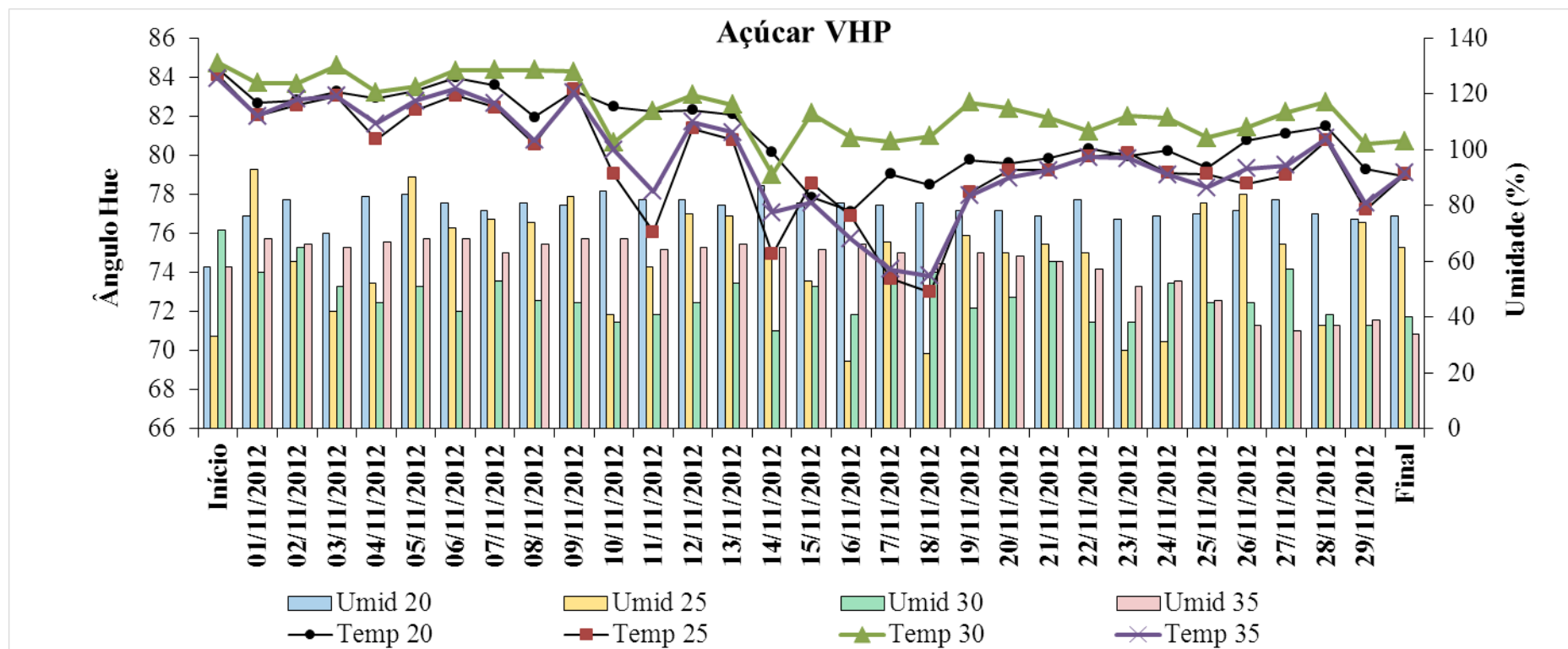


FIGURA 15 – Ângulo de hue do açúcar VHP submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)



Para o açúcar cristal também foi avaliada a cromaticidade, a luminosidade e o ângulo Hue, com o uso do colorímetro Minolta CR-400. Os valores de cromaticidade variaram entre 1 e 5, e podem ser observados na figura 16, sendo que os valores inferiores a 3 foram observados apenas na B.O.D. de 25°C pelo fato de o açúcar ter “melado”. É possível verificar que após os quatro primeiros dias de avaliação o valor de cromaticidade do açúcar na B.O.D. de 25°C diminuiu rapidamente, isso porque foi a partir do quarto dia que o açúcar “melou”.

Os valores de cromaticidade para o açúcar das outras B.O.D.s (20, 30, e 35°C) pouco oscilaram, pois a umidade variou pouco durante os 30 dias de avaliação. Pode-se perceber também, que o açúcar cristal é mais sensível as oscilações de umidade quando comparado com o açúcar VHP, isto explica o fato de utilizarem açúcar VHP para exportação, uma vez que em portos a umidade atinge valores altíssimos, o que provocaria o “derretimento” do açúcar cristal. Nos armazéns de açúcar brasileiros há controle parcial da temperatura e da umidade. No período da entressafra, a temperatura pode atingir mais de 35°C e a umidade ser muito elevada, por causa da intensa temperatura e umidade externos observados nesse período do ano (verão brasileiro). O açúcar VHP geralmente é estocado a granel, como foi feito na Placa de Petri. O açúcar cristal permanece dentro de embalagens (bags, sacos de polietileno) que tem a função de evitar o contato desse açúcar, mais sensível, com a umidade.

A luminosidade pode ser verificada na figura 17, onde se percebe que o açúcar da B.O.D de 25°C foi o único que não se manteve constante como o das outras B.O.D.s (20, 30 e 35°C), também pelo fato de o açúcar ter “melado”. No entanto, nas maiores temperaturas (20 e 30°C), os valores de luminosidade se sobressaíram nos últimos dias, isso porque, essas B.O.D.s permanecerem com valores de umidade constantes durante todo o período de avaliação. Os maiores valores indicam que o açúcar está mais próximo do branco que o das outras B.O.D.s.

O ângulo Hue pode ser visualizado na Figura 18, e pode-se observar que o açúcar cristal da B.O.D. de 25°C ficou totalmente instável, enquanto o das outras B.O.D.s permaneceram constantes. Isso pode ter ocorrido durante a medição das amostras, pois ao medí-las, o colorímetro não ficava totalmente sobre os cristais de açúcar, devido às ondulações provocadas pelo “derretimento” dos cristais de açúcar, e as leituras podem ter atravessado os cristais de açúcar e medido a coloração do suporte no qual era realizado as medições, alcançando valores próximos ao preto, como pode ser observado na figura 19, tornando-o impróprio para a comercialização.

FIGURA 16 – Cromaticidade do açúcar cristal submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)

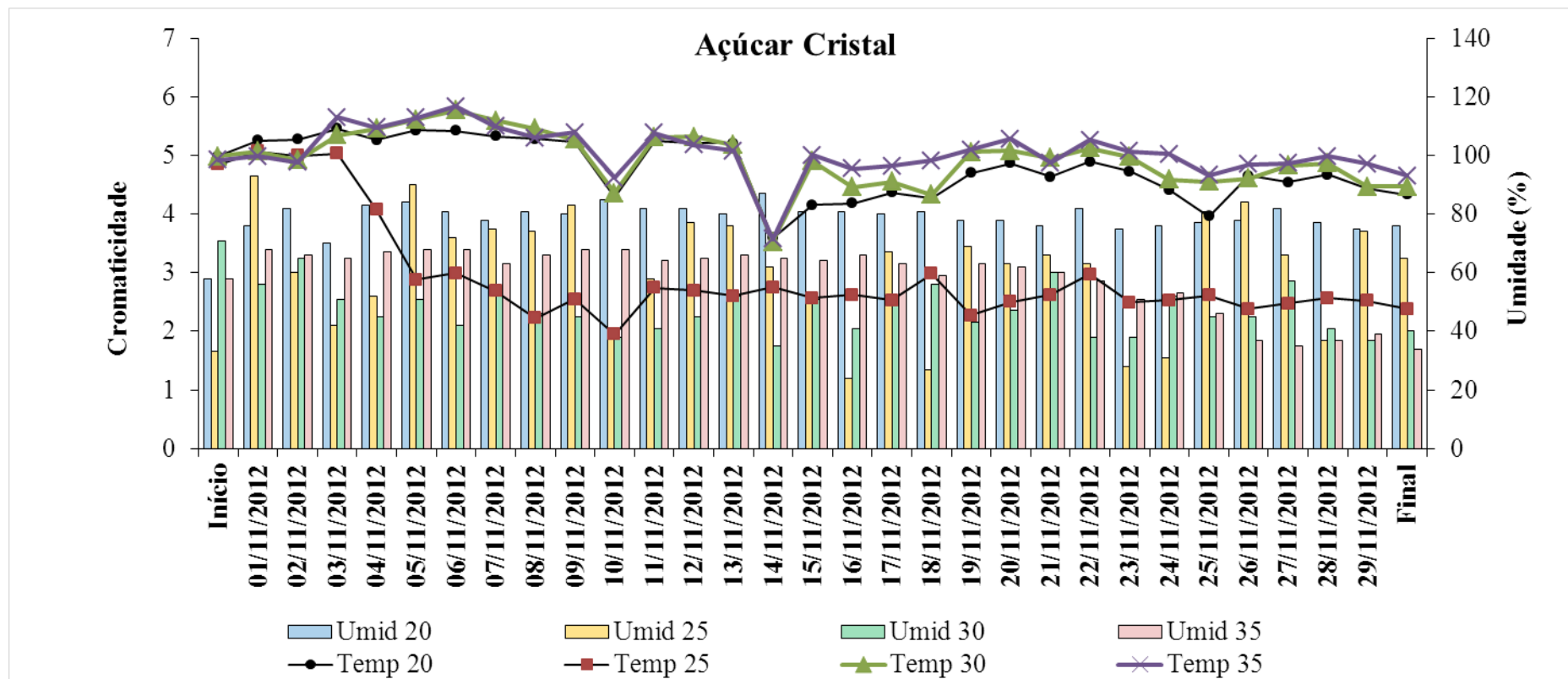


FIGURA 17 – Luminosidade do açúcar cristal submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)

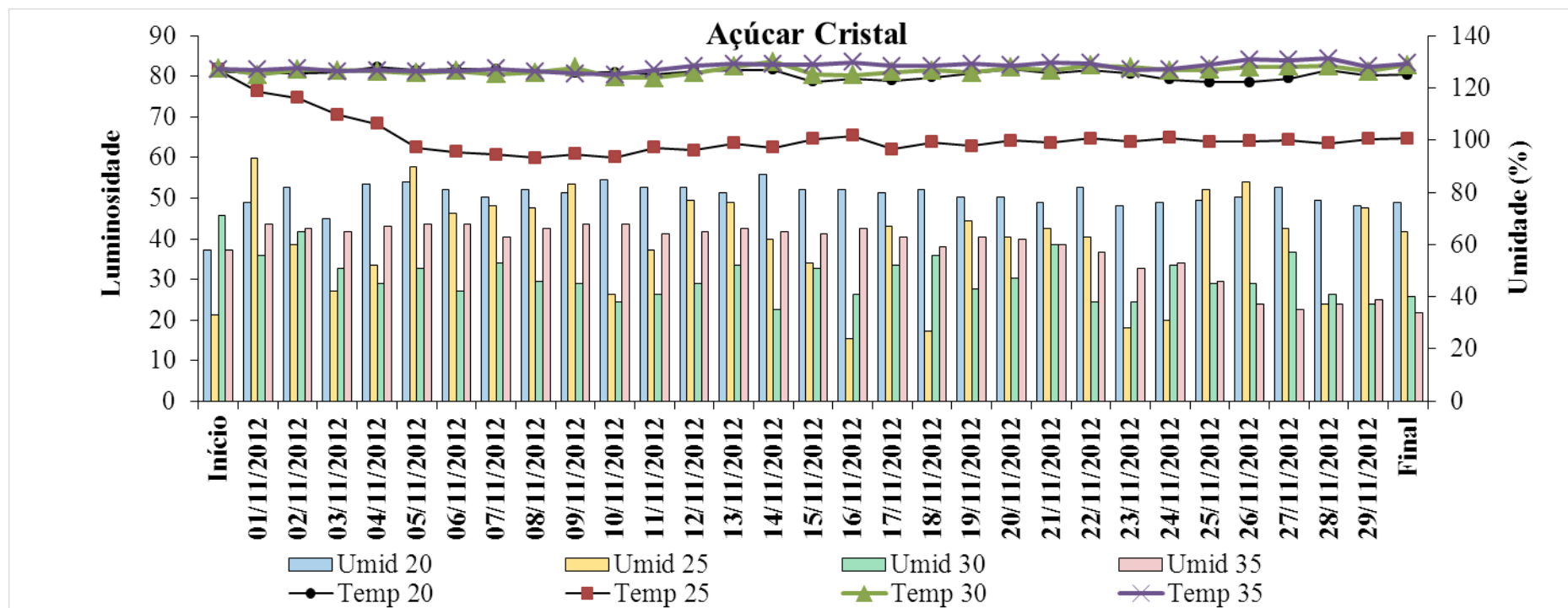


FIGURA 18 – Ângulo de hue do açúcar cristal submetido a diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e umidades monitoradas ao redor das 12:00h durante 30 dias (novembro/safra 2012/2013)

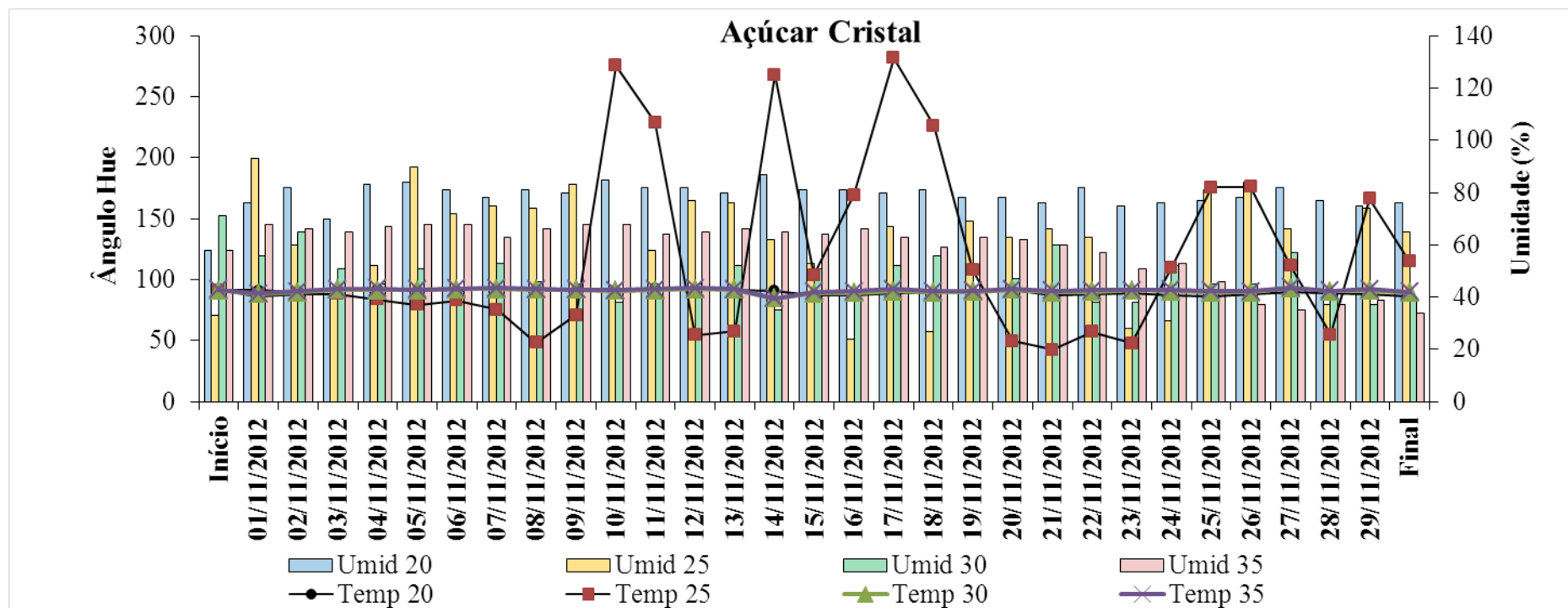


FIGURA 19 – Açúcar cristal “melado” e deteriorado, armazenado na B.O.D. de 25°C.

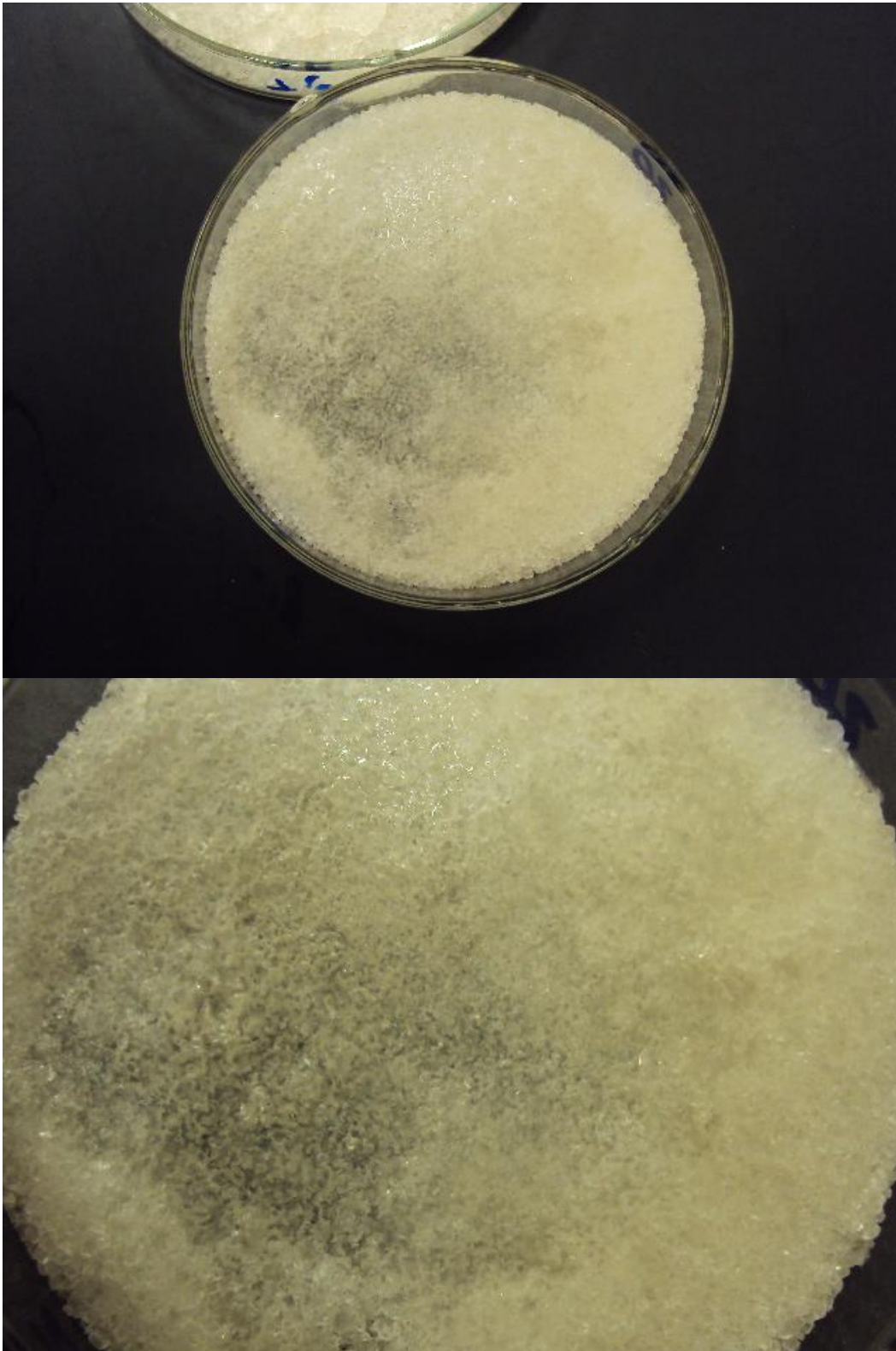


FIGURA 20 – Açúcar cristal com boa aparência após 30 dias de avaliação, armazenado na B.O.D. de 35°C



## 6 CONCLUSÃO

A cor do açúcar (ângulo Hue) não se modificou durante 30 dias para as diferentes temperaturas (20, 25, 30 e 35°C) e tipos de açúcar (VHP e cristal).

A luminosidade e a cromaticidade dos açúcares varia com o tipo de açúcar, diminui com o armazenamento e manteve-se constante em relação às temperaturas para o açúcar cristal, exceto para a temperatura de 25°C.

A cromaticidade não pode ser utilizada para transformar em valores de cor ICUMSA para avaliação do armazenamento.

A umidade teve influência maior sobre a qualidade do açúcar cristal do que a temperatura.

## 7 REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R. **Pós-produção processamento da cana-de-açúcar – Extração.** Agência de informação Embrapa – Cana-de-açúcar. 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_103\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_103_22122006154841.html)>. Acesso em: 26 jul. 2012.

ANNUNZIO, F. R.; MARQUES, K. M.; MATTIUZ, B.; MADALENO, L.L. **Comparação entre o método ICUMSA e Colorimétrico para medição da cor do açúcar.** Stab. v.30, n.4, 36-40, 2012.

ANGELO, P. M.; NEUZA, J. **Compostos fenólicos em alimentos: uma breve revisão.** Rev. Inst. Adolfo Lutz. p.1-9. 2007. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

BAYMA, C (a). **Tecnologia do açúcar – Da matéria-prima à evaporação.** Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho” – Campus de Ilha Solteira. Coleção canavieira n°13. Editora Rio. 1974.

BAYMA, C (b). **Tecnologia do açúcar II – cozimento, cristalização e turbinação, o produto, mel final e sua utilização, resíduos.** Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho” – Campus de Ilha Solteira. Coleção canavieira n°15. Editora Rio. 1974.

CREXI, V. T. **Carboidratos.** Universidade Federal do Palma – Engenharia de alimentos. Aula apresentada na disciplina de química de alimentos. 2009. Disponível em: <<http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariadealimentos/disciplinas/quimica-de-alimentos/>>. Acesso em: 01 nov. 2012

DAL BEM, J.A; KOIKE,G. H. A; PASSARINI, L.C. **Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool.** Pesquisa e Tecnologia Minerva, EESC-USP. v.3, n.1, 33-46, s.d.

FARIA, N. C. M. **Quantificação da morfologia de cristais de açúcar e sua aplicação ao estudo das cinéticas de cristalização.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/11525>>. Acesso em: 27 set. 2012.

HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar.** Universidade Federal do Paraná. Dissertação. Curitiba – PR. 2009. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/58167942/11/Sacarose>>. Acesso em: 18 nov. 2012.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Informação ao consumidor - Carta de serviços.** 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/acucar.asp>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

Lei Estadual Nº 11 241. Volume 112. Número 180. 2002. Disponível em:  
<[http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/legislacao/2002\\_Lei\\_Est\\_11241.pdf](http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/legislacao/2002_Lei_Est_11241.pdf)>. Acesso em:  
18 nov. 2012.

LEITE, R. A. **Compostos fenólicos do colmo, bainha, folha e palmito da cana-de-açúcar.** Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de engenharia de alimentos. Tese. Campinas, SP. 2000. Disponível em:  
<[http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver\\_documento.php?did=1034](http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=1034)>. Acesso em: 12 nov. 2012.

LIMA, A. K. V. O. **Tratamento térmico do caldo de cana para o processo de fermentação alcoólica: O estado da arte.** Universidade Federal do Mato Grosso - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Campina Grande, PB. 2010. Disponível em:  
<<http://pt.scribd.com/doc/59780799/Tratamento-termico-do-caldo-de-cana-para-o-processo-de-fermentacao-alcoolica-PDF>>. Acesso em: 31 out. 2012.

MARIN, F. R. **Pré-produção características.** Agencia de informação Embrapa – Cana-de-açúcar. 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_20\\_3112006152934.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_20_3112006152934.html)>. Acesso em: 10 jul. 2012.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar. Produção e Industrialização da cana-de-açúcar.** Jaboticabal – SP. Copyright. Funep. 2001.

NAZATO, C.; SILVA, D. F. C.; FERRAZ, S. C. U.; HARNER, M. N. C. **Moenda x Difusor: diferentes pontos de vista sobre o assunto.** Bioenergia em revista: Diálogos. Piracicaba, SP. 2009. 10p. Disponível em:  
<<http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/20>>. Acesso em: 26 jul. 2012.

NEVES, J. L.M; MAGALHÃES, P. S. G; OTA, W. M. **Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP. 2004. v.24. n.3. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/0D/eagri/v24n3/a30v24n3.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2012

NOGUEIRA, A. M. P. & VENTURINI-FILHO, W. G. **Aguardente de cana.** Botucatu, SP. 2005. Disponível em:  
<<http://www.visualengenharia.com.br/empreendimentos/fazenda/Aguardente.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2012

OETTERER, M. **Escurecimento não enzimático.** Universidade de São Paulo. Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de agroindústria, alimentos e nutrição. Aula da disciplina Química de alimentos. Disponível em:  
<<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Quimica%20de%20Alimentos%20-%20Escurecimento%20nao%20enzimatico.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana.** Editora nobel. 1989.

REMIÃO, F. **Acrilamida, a nova preocupação.** Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto. Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Toxicologia e Análises Toxicológicas.

2004. Disponível em:

<<http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0304/Acrilamida/questao5.htm>>. Acesso em: 31 out. 2012.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências - Campus de Botucatu. Botucatu, SP. 1995. 101p. Disponível em:

<[www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf](http://www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2012.

RODRIGUES, A. S. **Tecnologia dos produtos Hortícolas**. Aula de Gestão Agro-Alimentar.

DCPA- ESAPL. 2007. Disponível em: <<http://www.ci.esapl.pt/sofia/TA%20PH.pdf>>. Acesso em: 18 nov 2012.

SEAGRO – Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Irrigação. **AÇÚCAR/CEPEA: Comprador segue pressionando cotações**. Portal do agronegócio. Goiás. 2012. Disponível em:

<[http://www.agronegocio.goias.gov.br/index.php?pg=noticias&id\\_noticia=15903&titulo=A%C7%DACAR/CEPEA:%20Comprador%20segue%20pressionando%20cota%E7%F5es](http://www.agronegocio.goias.gov.br/index.php?pg=noticias&id_noticia=15903&titulo=A%C7%DACAR/CEPEA:%20Comprador%20segue%20pressionando%20cota%E7%F5es)>.

Acesso em: 28 nov. 2012.

SILVA, R. B.; PORTO, A. G.; WOLQUIND, C. S.; SILVA, F. S.; SILVA, F. T. C.

**Aplicação da produção mais limpa no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas – Ano 4, nº 1. p. 59-71. 2008. Disponível em:

<<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/735/215>>. Acesso em: 15 out. 2012.

SUZART, C. A. G.; BERGARA, S.; MOLINA, G.; MORETTI, R. H. **Caracterização de cultivares de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) para a produção de caldo de cana:**

**Rendimento de caldo e valor de brix**. In: Congresso Brasileiro de ciências e tecnologia de alimentos, Belo Horizonte. 2007.

VENTURINE FILHO, W. G. **Tecnologia de Bebidas: Matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 550 p.

ZACURA, F., G. O. **Processo de fabricação do açúcar e do álcool, desde a lavoura da cana até o produto acabado**. 110 p. 2011. Disponível em:

<<http://pt.scribd.com/doc/59734550/O-PROCESSO-DE-FABRICACAO-DO-ACUCAR-E-DO-ALCOOL>>. Acesso em: 17 nov. 2012.