

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO PETCOV NICOLETTI

**EFEITO DAS CONDIÇÕES DE CONGELAMENTO NA CRIOCONCENTRAÇÃO DE
BEBIDAS MISTAS A BASE DE CALDO DE CANA**

CAMPO MOURÃO

2023

LEONARDO PETCOV NICOLETTI

**EFEITO DAS CONDIÇÕES DE CONGELAMENTO NA CRIOCONCENTRAÇÃO DE
BEBIDAS MISTAS A BASE DE CALDO DE CANA**

**Effect of freezing conditions on the cryoconcentration of cane broth mixed
beverages**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Bogdan Demczuk Junior.

CAMPO MOURÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LEONARDO PETCOV NICOLETTI

**EFEITO DAS CONDIÇÕES DE CONGELAMENTO NA CRIOCONCENTRAÇÃO DE
BEBIDAS MISTAS A BASE DE CALDO DE CANA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Bogdan Demczuk Junior.

Data de aprovação: 12/junho/2023

Bogdan Demczuk Junior
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roberta de Souza Leone
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Stéphani Caroline Beneti
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pois a cada dia dessa jornada pude ter minhas forças renovadas e conforme a tua vontade segui os meus passos confiando sempre em suas mãos.

A minha mãe Lina Petcov Nicoletti uma companheira que sempre com todo amor do mundo pode me ensinar os meus valores e despertou desde pequeno minha paixão por alimentos. Ao meu pai Milton Roberto Nicoletti, um guerreiro que me ensinou que na vida podemos encontrar obstáculos e dores, mas que podemos ser mais fortes que tudo e se tivermos vontade nada pode nos impedir. Ao meu irmão Henrique Petcov Nicoletti, um irmão exemplar em quem sempre me espelhei e que é minha maior influência, sua jornada me inspirou a chegar até aqui e espero a cada dia poder ser mais como você. Agradeço também a minha cunhada Mariane Paganini Lamari Nicoletti, a irmã que a vida colocou em meu caminho.

A minha namorada Pollyana Silva Garcia agradeço pelo companheirismo, amizade, por todo o amor e ajuda em todas as etapas que passamos juntos nessa jornada, ao seu lado tudo se tornou mais fácil.

Aos meus avôs Milton Nicoletti e Irene Petcov, suas histórias me fascinam, o amor e o cuidado de vocês me inspiram, nada foi fácil em suas vidas e a cada história que ouço sou mais grato por tantos ensinamentos e lições de vida.

A todos meus amigos que viveram esse momento comigo e que não caberia nessa página nomeá-los, cada um de vocês tem uma parte significativa nessa jornada, seja em risadas e descontrações, nos puxões de orelha que mereci, nas provas que passamos, as fofocas que espalhamos, espero carregá-los comigo por toda a vida.

Ao meu professor e orientador Bogdan Demczuk Junior agradeço pela paciência e ajuda em toda essa etapa, sua brilhante orientação permitiu com que tudo isso fosse possível.

Agradeço por todos aqueles que um dia já sentiram orgulho de mim, mas que não poderão ler esse agradecimento, Vô Miguel eu gostaria de mais uma vez sentir teu abraço, Vó Dora sua risada me faz tanta falta, Tia Nadja como queria que você fosse a primeira pessoa que eu visse ao chegar em Buri, Tio Neto eu gostaria de mais uma vez te ouvir tocando e conversar contigo e Tio Carlinho você faz muita falta.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das plantas mais produzidas em todo o mundo cuja bebida é uma opção energética e amplamente apreciada. A inclusão de misturas de polpas de frutas ao caldo de cana tem como objetivo aprimorar a excelência sensorial dessa bebida. Apesar do potencial que o caldo de cana possui para a indústria de bebidas, sua comercialização apresenta dificuldades em relação a mudança de qualidade que ocorre na bebida logo após sua extração. Diversas técnicas têm como meta a preservação do caldo de cana. Entre elas, pode ser citada a concentração por congelamento, que é baseada na separação de água na forma de gelo, a partir de uma solução congelada. Essa técnica possui a vantagem de obter um produto com qualidade preservada sem perda de voláteis. O objetivo do presente trabalho foi analisar o efeito das condições de congelamento (total, radial e axial) no processo de crioconcentração de bebidas mistas à base de caldo de cana (com adição de polpa de limão e polpa de abacaxi). Foram medidos o teor de sólidos solúveis, a porcentagem de concentrado, eficiência, a variação total da cor, a acidez total titulável e a relação entre sólidos solúveis totais e a acidez. Os métodos apresentaram resultados semelhantes em relação a todos os parâmetros analisados no estudo. O método de congelamento total diferiu das outras condições em relação a quantidade de etapas necessárias. O método de congelamento total obteve teores de sólidos solúveis totais e porcentagem de concentrado superior as demais condições de congelamento. Nos métodos de congelamento radial e axial a eficiência máxima do processo ocorreu na primeira etapa de crioconcentração. O caldo de cana com polpa de abacaxi apresentou ligeira vantagem em relação a eficiência. O caldo de cana com polpa de limão possuiu valores de acidez total titulável superiores. E a relação de sólidos solúveis totais com a acidez total para essa bebida apresenta valores menores. O caldo de cana com limão também apresentou maior diferença de cor nos métodos de congelamento radial e axial.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; caldo de cana; bebidas mistas; crioconcentração; bebida congelada; concentração por congelamento.

ABSTRACT

Sugarcane is one of the most widely grown plants worldwide, and its beverage is an energizing and highly appreciated option. The addition of fruit pulp blends to sugarcane juice aims to enhance the sensory excellence of this drink. Despite the potential that sugarcane juice holds for the beverage industry, its commercialization faces difficulties due to the quality changes that occur shortly after extraction. Various techniques are aimed at preserving sugarcane juice, among which freezing concentration can be mentioned. Freezing concentration is based on the separation of water in the form of ice from a frozen solution. This technique has the advantage of obtaining a product with preserved quality and no loss of volatile compounds. The objective of this study was to analyze the effect of freezing conditions (total, radial, and axial) on the cryoconcentration process of mixed beverages based on sugarcane juice (with the addition of lemon pulp and pineapple pulp). Measurements were taken for soluble solids content, concentration percentage, efficiency, total color variation, total titratable acidity, and the ratio of total soluble solids to acidity. The methods showed similar results for all analyzed parameters in the study. The total freezing method differed from the other conditions in terms of the number of required steps. The total freezing method achieved higher levels of total soluble solids and concentration percentage compared to the other freezing conditions. In the radial and axial freezing methods, the maximum efficiency of the process occurred in the first cryoconcentration step. Sugarcane juice with pineapple pulp exhibited a slight advantage in terms of efficiency. Sugarcane juice with lemon pulp had higher total titratable acidity values, and the ratio of total soluble solids to acidity for this beverage was lower. Sugarcane juice with lemon also showed a greater color difference in the radial and axial freezing methods.

Keywords: sugarcane; sugarcane juice; fruit juice blends; cryoconcentration; Frozen beverage; freezing concentration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Nomenclatura dos tratamentos	18
Figura 1 – Métodos de congelamento	18
Figura 2 – Porcentagem de concentrado	25
Figura 3 – Eficiência	26
Figura 4 – Acidez total titulável.....	28
Figura 5 – Relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável	30
Figura 6 – Diferença de cor	31
Figura 7 – Luminosidade	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores obtidos na crioconcentração do caldo de cana no congelamento total	22
Tabela 2 - Valores obtidos na crioconcentração do caldo de cana no congelamento axial	23
Tabela 3 - Valores obtidos na crioconcentração do caldo de cana no congelamento radial	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Cana de Açúcar	12
3.2	Caldo de Cana.....	13
3.3	Crioconcentração	15
4	METODOLOGIA	17
4.1	Caldo de Cana.....	177
4.2	Preparo das bebidas mistas	17
4.3	Congelamento das bebidas	17
4.4	Avaliação da cor	19
4.5	Parâmetros do processo	19
4.5.1	Porcentagem de concentrado	19
4.5.2	Eficiência	19
4.5.3	Acidez total titulável.....	19
4.5.4	Relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável.....	20
4.6	Análise estatística	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1	Crioconcentração	21
5.1.1	Congelamento total	19
5.1.2	Congelamento axial.....	19
5.1.3	Congelamento radial	19
5.2	Parâmetros do processo	25
5.2.1	Porcentagem de concentrado	19
5.2.2	Eficiência	26
5.2.3	Acidez total titulável.....	27
5.2.4	Relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável.....	29
5.3	Avaliação de cor	30
6	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea que pertence à família *Poaceae* e há mais de 2000 anos vem sendo cultivada em países tropicais e subtropicais. As espécies mais conhecidas surgiram na Oceania e na Ásia enquanto que as variedades presentes no Brasil são híbridas (JENKINS, 1966; RODRIGUES; ALMEIDA, 1995).

Durante o século XVI foi introduzido no Brasil o plantio da cana-de-açúcar e seu papel na economia nacional se dá principalmente pela produção de cachaça, açúcar e etanol. Entretanto, a cana de açúcar é matéria-prima de inúmeros produtos, como papel, xilitol, energia elétrica, caldo de cana, entre outros (CARVALHO, 2011; XIAO; LIAO; GUO, 2017).

O caldo de cana é obtido a partir do processo de moagem dos colmos da cana-de-açúcar e é uma bebida nutritiva devido ao seu teor de açúcares naturais, além de diversos minerais, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgânicos e polissacarídeos em geral (NISHAD *et al.*, 2017; QUDSIEH *et al.*, 2001).

Nas regiões tropicais, o caldo de cana é visto como uma bebida energética. Kalpana *et al.* (2013), avaliaram o desempenho de atletas ao consumirem caldo de cana em comparação com bebidas esportivas comerciais. O estudo concluiu que o grupo de atletas que consumiu o caldo de cana apresentou os mesmos resultados que o grupo submetido ao uso das bebidas esportivas comerciais durante o exercício. Em relação a reidratação pós-exercício, foi constatado que o caldo de cana foi mais indicado que as bebidas comerciais (KALPANA *et al.*, 2013).

Apesar do grande potencial para a indústria de bebidas, a comercialização do caldo de cana apresenta dificuldades devido à mudança de qualidade que ocorre logo após a extração. A fermentação rápida e a aparência marrom-escura ocorrem na bebida devido ao seu alto teor de açúcar, presença de polifenóis e ácidos orgânicos. Dessa maneira, o caldo de cana fresco só pode ser armazenado por algumas horas (ÖZOĞLU; BAYINDIRLI, 2002; QUDSIEH *et al.*, 2002).

A adição de suco de frutas cítricas ao caldo de cana visa melhorar sensorialmente a bebida, trazendo sabor agradável ao paladar, resultante da mudança na relação °Brix/acidez do produto (PRATI; MORETTI; CARDELLO, 2005).

A crioconcentração é baseada na separação da água na forma de gelo, a partir de uma solução congelada. O congelamento seguido pela remoção de gelo pode ser usado para concentrar solventes (MORISON; HARTEL, 2006).

Comparada com a evaporação e a separação por membranas, a crioconcentração possui algumas vantagens, entre elas, o potencial para obtenção de um produto com qualidade preservada, por não serem usadas altas temperatura e conseqüentemente, não há perda de voláteis. Dessa maneira, o sabor e a qualidade dos produtos crioconcentrados são melhores em comparação a produtos obtidos por outros métodos de concentração. Esses benefícios tornam a crioconcentração adequada para remoção de água de produtos como sucos de frutas, extratos de café e chá, além de extratos aromáticos (MORISON; HARTEL, 2006).

Desta maneira, o objetivo do presente trabalho será analisar o efeito das condições de congelamento no processo de crioconcentração de bebidas mistas a base de caldo de cana.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o efeito das condições de congelamento no processo de crioconcentração de bebidas mistas à base de caldo de cana.

2.2 Objetivos específicos

- Preparar duas bebidas mistas à base de caldo de cana (caldo de cana com polpa de limão e caldo de cana com polpa de abacaxi);
- Congelar as bebidas mistas em três condições de transferência de calor (total, radial e axial);
- Crioconcentrar as bebidas até o equilíbrio;
- Calcular os parâmetros do processo de crioconcentração das bebidas;
- Determinar as características de cor, teor de sólidos solúveis e a relação °Brix/acidez das bebidas;
- Comparar as etapas de congelamento, crioconcentração, cálculo dos parâmetros e determinação das características com o caldo de cana sem adição de polpa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das plantas mais produzida em todo o mundo, sendo considerada a maior fonte de produção de açúcar. Além disso, a cana-de-açúcar é, sem dúvida, a cultura mais importante para a produção de energia, bem como para a obtenção de bioprodutos, como fibras utilizadas na fabricação de papel, cartão e plástico (CORDEIRO *et al.*, 2007; HENRY, 2010).

A origem da cana-de-açúcar remonta à Ásia e ela faz parte de uma das famílias mais relevantes e extensas de plantas com flores, a *Poaceae*. Entre as seis espécies mais reconhecidas, duas são classificadas como espécies selvagens (*Saccharum robustum* Brandes & Jewiest e *Saccharum spontaneum* L.) e quatro são espécies cultivadas (*Saccharum officinarum* L., *Saccharum sinense* Roxb., *Saccharum edule* Hassk e *Saccharum barberi* Jewiest). São plantas herbáceas perenes, com caules do tipo colmo preenchidos, apresentando nós (de onde emergem gemas) e entrenós. Possuem uma epiderme característica, raízes fasciculadas e flores monóclinas. As folhas da cana-de-açúcar são alternadas ou opostas, possuem nervuras paralelinérvias e bainhas largas, apresentando forma linear e podendo atingir até 140 centímetros de comprimento. Quanto ao fruto, é de tamanho reduzido, do tipo cariopse. A cana-de-açúcar contém diversos componentes químicos, como ácido hidrocianico, ácido ascórbico, sais minerais (especialmente cálcio e ferro), fibras e sacarose (MOREIRA *et al.*, 2008).

A cana-de-açúcar é cultivada em uma ampla faixa de latitude, abrangendo aproximadamente 35°N a 30°S, e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.000 metros. Um estudo realizado em 2013 afirmou que a cana-de-açúcar está presente em cerca de 79 países, ocupando uma área total de 12 milhões de hectares. A Índia era o país com a maior área plantada, com 3 milhões de hectares, seguida pelo Brasil e Cuba, ambos com mais de 1 milhão de hectares (BRAMBILLA, 2013).

Na época do Brasil colônia, foram encontrados fatores especialmente favoráveis para o desenvolvimento da cana-de-açúcar: solos férteis, disponibilidade de água, temperaturas quentes, relevo plano e mão de obra. Esses fatores estavam alinhados com o desejo e o sonho dos portugueses de manter o território onde grandes quantidades de ouro poderiam ser extraídas no futuro, assim como acontecia

do lado oeste do Tratado de Tordesilhas. Os primeiros canaviais foram estabelecidos nas áreas costeiras do Brasil e, posteriormente, nas regiões do interior. Os escravizados, inicialmente indígenas e mais tarde africanos, eram responsáveis pelo cultivo, corte e transporte da cana até o engenho, onde ela era moída e o caldo fervido para obter uma garapa. Em seguida, o caldo era cristalizado, resultando em torrões de açúcar que eram exportados para a Europa (LIMA, 2012).

O valor econômico da cana-de-açúcar é determinado pela produção de sacarose, que é o componente mais valioso, juntamente com açúcares não redutores utilizados na produção de melaço. Além disso, a fibra presente na cana pode ser utilizada como fonte de energia nas usinas. O processamento industrial da cana também pode ser direcionado para a produção de álcool, utilizado como combustível, abrindo caminho para a indústria do álcool (BRAMBILLA, 2013).

3.2 Caldo de Cana

O caldo de cana é considerado uma bebida de opção energética e não alcoólica amplamente apreciada no Brasil, especialmente durante os períodos mais quentes do ano, devido à sua refrescância e sabor adocicado (SOCCOL; SCHWAB; KATSOKA, 1990). Este líquido é conhecido por sua consistência viscosa e cor que varia de parda a verde escura, e é altamente nutritivo. Sua composição pode variar de acordo com a variedade, idade e saúde da cana, características do solo, condições climáticas e práticas agrícolas, preservando todos os nutrientes presentes na cana-de-açúcar da qual é extraído (OLIVEIRA, 2007).

A extração do caldo da cana-de-açúcar é um processo físico que envolve a separação da fibra (bagaço) do caldo. Nas indústrias sucroalcooleiras, existem dois métodos comumente utilizados para essa extração: o método por pressão e o método por difusão (NAZATO *et al.*, 2012).

De acordo com Marques *et al.* (2008), a cana-de-açúcar possui duas fases em sua composição tecnológica: uma fase insolúvel e uma fase solúvel. A fase insolúvel é representada pela fibra da cana, que compreende aproximadamente de 8% a 18% do seu conteúdo, e é composta por celulose, lignina e pentosanas. A fase solúvel corresponde ao caldo, representa cerca de 82% a 92% da composição total da cana. O caldo é composto por 75% a 82% de água e 18% a 25% de sólidos solúveis, medida em graus Brix. Os sólidos solúveis são compostos por açúcares, incluindo sacarose, glicose e frutose, representando de 15,5% a 24% do caldo, e por

não açúcares, que correspondem a cerca de 1% a 2,5% como aminoácidos, ácidos, ceras, gorduras, corantes e sais inorgânicos como SiO, K₂O, CaO, MgO, entre outros.

De acordo com Cheavegatti-Gianotto *et al.* (2011), o caldo de cana é uma bebida popular no Brasil, apreciada por pessoas de diferentes faixas etárias e classes sociais, principalmente durante a temporada de verão. É comum a extração do caldo de cana utilizando prensas elétricas ou manuais, seguida pela filtragem e servido com gelo. O caldo de cana pode ser consumido puro ou pode ser misturado com sucos de frutas, conforme mencionado por Kunitake (2012).

A inclusão de misturas de frutas na preparação de sucos traz consigo várias vantagens, como a combinação de diferentes aromas e sabores, bem como a contribuição de componentes nutricionais (MATSUURA, 2004). O acréscimo de sucos de frutas ácidas em pequenas proporções ao caldo de cana, como limão Tahiti e abacaxi Havaí, tem o propósito de aprimorar a experiência sensorial da bebida. Essa adição confere ao produto um sabor refrescante e agradável ao paladar, além de realçar o seu sabor e suavizar sua doçura por meio de uma mudança na relação entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável (PRATI, 2004).

Diversas técnicas industriais têm como objetivo a preservação do caldo de cana. Entre elas, podem ser citadas o branqueamento de matérias-primas em água quente, uso de agentes antioxidantes ou antimicrobianos (TAYLOR; SUCKLING; RACHLINSKI, 2005), tecnologia de spray-drying (NISHAD *et al.*, 2017), inativação de enzimas por calor (YUSOF; SHIAN; OSMAN, 2000), utilização de radiação gama (ALCARDE *et al.*, 2001) e concentração por congelamento (SONGSERMPONG; JITTANIT, 2010). Essas técnicas visam diminuir as alterações de qualidade para aumentar a vida útil do caldo de cana.

Graças à sua ampla aceitação popular e facilidade de exploração, o caldo de cana possui potencial para conquistar uma parcela ainda maior do mercado consumidor. O produto, uma vez processado e embalado, pronto para consumo, pode ser comercializado em diversos estabelecimentos, como lanchonetes, restaurantes, cadeias de *fast food*, feiras, parques e shoppings. Nessas instalações, a demanda por produtos naturais, saudáveis e com boas características nutricionais tem crescido constantemente. Dessa forma, o caldo de cana não se limita mais apenas à venda em comércios de rua, expandindo seu alcance e presença no mercado (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

3.3 Crioconcentração

A crioconcentração é baseada no princípio da separação seletiva da água de uma solução binária por meio de resfriamento ou congelamento, onde a água na forma de gelo cristaliza e deixando um fluido concentrado. A vantagem desse processo é que a qualidade nutricional e a retenção do aroma nos sucos concentrados por congelamento são melhores do que aqueles concentrados por métodos convencionais, como a evaporação, devido às temperaturas envolvidas nesse processo (SÁNCHEZ *et al.*, 2009; RATKJE; FRESLAND, 1995).

As técnicas mais utilizadas na indústria de alimentos para a concentração por congelamento são: suspensão, progressiva, eutética e por bloco (AIDER; DE HALLEUX; MELNIKOVA, 2009). Essas técnicas têm sido objeto de estudo por diversos autores para sua aplicação em alimentos como sucos de frutas, extratos de café, produtos lácteos e dessalinização (AIDER; OUNIS, 2012; GUDE, 2016; SÁNCHEZ *et al.*, 2010).

A tecnologia de concentração por congelamento de bloco completo é uma técnica promissora e eficaz para a produção de alimentos líquidos concentrados com alto valor nutricional e características sensoriais preservadas. Essa técnica é baseada no completo congelamento de uma solução líquida de alimentos, com a temperatura no centro do produto ficando abaixo do ponto de congelamento. Em seguida, a solução congelada é separada por centrifugação da fração de gelo por meio de descongelamento gravitacional, com ou sem o auxílio de outras técnicas para aumentar a eficiência de separação. Nesse processo, o bloco de gelo funciona como uma estrutura sólida pela qual a fração concentrada passa. Ao controlar a temperatura de descongelamento, é possível alcançar uma eficiência do processo superior a 90%, reduzindo a quantidade de soluto aprisionado nos cristais de gelo a um nível mínimo (AIDER; DE HALLEUX; MELNIKOVA, 2009; BURDO; KOVALENKO; KHARENKO, 2008).

Portanto, a crioconcentração é uma tecnologia interessante e ambientalmente sustentável capaz de minimizar a perda de componentes valiosos em líquidos alimentares que precisam ser concentrados (PETZOLD *et al.*, 2016), especialmente sucos de frutas (SÁNCHEZ *et al.*, 2009).

As inovações na crioconcentração têm investido em sistemas de estágio único, uma vez que esses sistemas são caracterizados por procedimentos, construção

e operação de equipamentos mais simples (SÁNCHEZ *et al.*, 2009). Especificamente, a criocentrção em bloco consiste em três etapas: congelamento, descongelamento e separação (Petzold *et al.*, 2016).

4 METODOLOGIA

4.1 Caldo de Cana

Foram utilizadas amostras de caldo de cana adquiridas a partir de comerciante local da cidade de Campo Mourão, Paraná. As amostras foram transportadas em caixa isotérmica até o laboratório, onde permaneceram sob refrigeração até o momento dos experimentos. As amostras de diferentes lotes foram padronizadas utilizando sacarose comercial ou água até atingir o mesmo teor de sólidos solúveis totais (°Brix), medido através de um refratômetro de bancada.

4.2 Preparo das bebidas mistas

Foram preparadas duas bebidas mistas, a partir da mistura de caldo de cana com polpa de limão e polpa de abacaxi, ambos de marcas comerciais. As porcentagens das polpas adicionadas foram definidas com base em testes.

O caldo de cana adquirido a partir de comerciante local foi padronizado com água até atingir 15 °Brix, após a padronização foi adicionado 40 ml de polpa de limão para preparar a bebida mista de caldo de cana com limão, para o preparo da bebida mista de caldo de cana com abacaxi foram utilizados 40 ml de polpa de abacaxi.

4.3 Congelamento das bebidas

Os três tipos de bebidas (caldo de cana, caldo de cana + limão e caldo de cana + abacaxi) foram submetidos a dois métodos de congelamento distintos (Figura 1), de acordo com os trabalhos de Petzold e Aguilera (2013) e Orellana-Palma *et al.* (2017). As amostras, de volume conhecido, foram acondicionadas em tubos do tipo Falcon, que foram colocados em congelador (-18°C) por um período suficiente para que ocorra o congelamento. O primeiro método baseia-se no congelamento total, o segundo método é baseado no congelamento axial, quando a superfície lateral dos tubos deve ser coberta com isopor, permitindo que o congelamento ocorra somente através da superfície superior e inferior dos tubos. O terceiro método baseia-se no congelamento radial, quando a superfície superior e inferior dos tubos foi isolada, permitindo que o congelamento ocorresse pela superfície lateral dos tubos. Após o congelamento, as amostras foram transferidas para uma centrífuga. O processo de centrifugação ocorreu à temperatura controlada (15 °C) e 5000 rpm em uma centrífuga refrigerada de bancada (Solab Científica). As etapas de crioconcentração tiveram

duração de 13 a 18 min, dependendo da quantidade de gelo formada em cada tratamento. Nesse processo, a fração concentrada foi separada da fração de gelo e obtida por filtração. A fração de gelo foi recolhida em proveta e teve seu volume registrado após derretimento completo. A fração crioconcentrada teve seu teor de sólidos solúveis totais medido antes de ser congelada novamente, para ser utilizada na segunda crioconcentração. As etapas seguiram até o equilíbrio, quando não foi mais verificada variação de teor de sólidos solúveis totais no crioconcentrado.

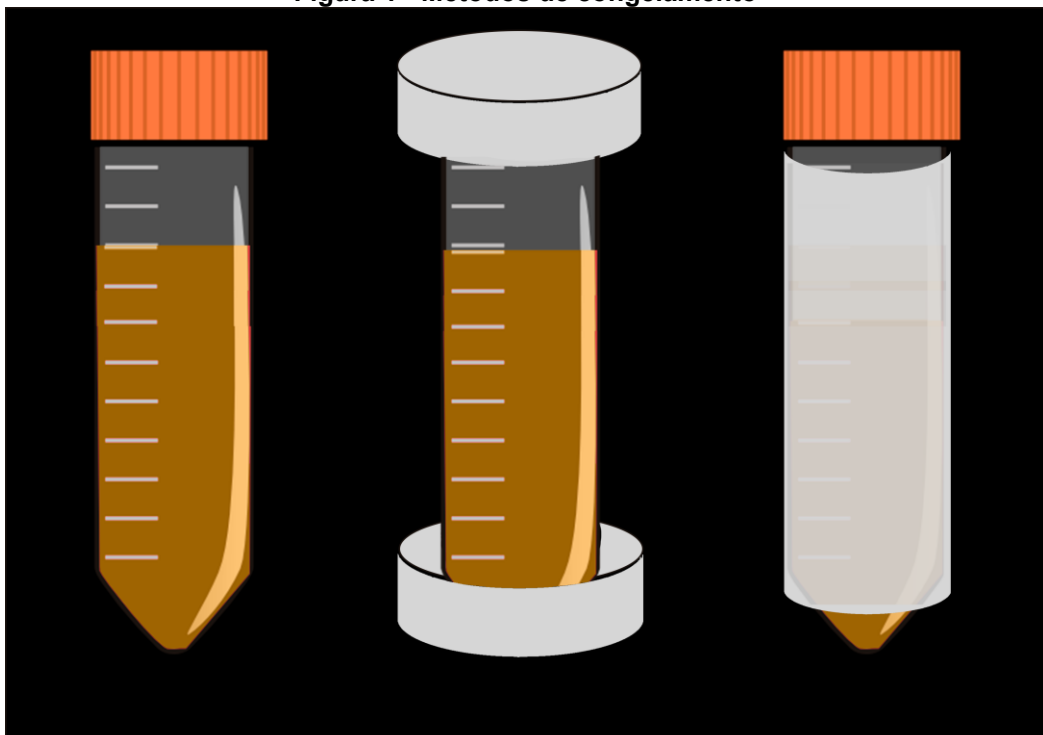
Considerando os três tipos de caldo de cana analisados (sem adição de polpa, com adição de polpa de limão e com adição de polpa de abacaxi) e os três métodos de congelamento das amostras (total, axial e radial), a nomenclatura dos tratamentos pode ser sintetizada no Quadro 1.

Quadro 1 – Nomenclatura dos tratamentos

Código	Descrição
CC-CT	Caldo de cana no congelamento total
CCL-CT	Caldo de cana com limão no congelamento total
CCA-CT	Caldo de cana com abacaxi no congelamento total
CC-CA	Caldo de cana no congelamento axial
CCL-CA	Caldo de cana com limão no congelamento axial
CCA-CA	Caldo de cana com abacaxi no congelamento axial
CC-CR	Caldo de cana no congelamento radial
CCL-CR	Caldo de cana com limão no congelamento radial
CCA-CR	Caldo de cana com abacaxi no congelamento radial

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 1 - Métodos de congelamento



Fonte: Adaptado de Orellana-Palma *et al.* (2017).

4.4 Avaliação da cor

A avaliação da cor das bebidas antes e depois do processo de crioconcentração foi realizada de acordo com o trabalho de Petzold *et al.* (2016), utilizando um espectrofotômetro. Os resultados foram expressos como valores na escala CIELab. Os valores médios das replicatas foram utilizados para os cálculos da diferença de cor (ΔE^*), a partir da Equação 1, onde L é uma medida de luminosidade, a^* é uma medida da cor vermelha (direção positiva) ou verde (direção negativa) e b^* é uma medida da cor amarela (direção positiva) ou azul (direção negativa) de uma amostra.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

4.5 Parâmetros do processo

4.5.1 Porcentagem de concentrado

A porcentagem do concentrado foi calculada para cada ciclo de crioconcentração a partir da Equação 2 (PETZOLD; AGUILERA, 2013), onde V_0 e V_f são o volume inicial e final da fração de gelo, respectivamente.

$$PC(\%) = \frac{V_0 - V_f}{V_0} \cdot 100 \quad (2)$$

4.5.2 Eficiência

A eficiência de cada etapa da crioconcentração é representada pelo aumento da concentração da solução com relação ao teor de sólidos na fração congelada, de acordo com a Equação 3 (PETZOLD; AGUILERA, 2013), onde C_s e C_f são as concentrações de sólidos (°Brix) na solução concentrada e na inicial, respectivamente.

$$\eta(\%) = \frac{C_s - C_f}{C_s} \cdot 100 \quad (3)$$

4.5.3 Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada através de método titulométrico de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Para os cálculos

da quantidade de gramas de ácido orgânico por 100 g de amostra, foi utilizada a Equação 4, onde V é o volume gasto de hidróxido de sódio, F é o fator de correção do hidróxido de sódio, M é a molaridade da solução de hidróxido de sódio, PM é o peso molecular do ácido correspondente, P é a massa da amostra e n é o número de hidrogênios ionizáveis. O resultado foi expresso em gramas de ácido cítrico por 100 gramas de amostra e o valor do PM é igual a 192 g, enquanto o número de hidrogênios ionizáveis é 3.

$$\frac{V \cdot F \cdot M \cdot PM}{10 \cdot P \cdot n} = \text{g de ácido orgânico por 100 g de amostra} \quad (3)$$

4.5.4 Relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável

A relação é um importante indicativo do sabor, ao relacionar os teores de açúcares e os ácidos da fruta. O cálculo direto a partir dos parâmetros obtidos foi realizado conforme Schimidt *et al.* (2013), dividindo o teor de sólidos solúveis totais pelo valor da acidez total titulável.

4.6 Análise estatística

Todas as determinações foram realizadas em triplicata e os dados em tabelas são apresentados na forma de média e desvio padrão. Os resultados de teor de sólidos solúveis, porcentagem de concentrado, eficiência, acidez total titulável e variação total de cor, foram submetidos ao teste de ANOVA para comparação das médias ao nível de 5% de significância utilizando o software disponível.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crioconcentração

As amostras de caldo de cana adquiridas a partir de comerciantes locais foram transportadas até o laboratório onde foram padronizadas utilizando água a fim de atingir 15 °Brix, conforme o trabalho de Lo *et al.*, (2007). Para o preparo das bebidas mistas a partir da mistura de caldo de cana com limão e abacaxi foram utilizadas polpas comerciais de limão e de abacaxi a fim de padronizar o estudo.

5.1.1 Congelamento total

O congelamento total foi realizado a partir de amostras de caldo de cana a 15 °Brix. Através da Tabela 1, verifica-se que foram necessárias quatro etapas de crioconcentração até que o teor de sólidos solúveis não apresentasse mais variação ao nível de 5% pelo teste de Tukey. O teor de sólidos no equilíbrio foi de cerca de 38 °Brix para o caldo sem adição de polpa, aproximadamente 36 °Brix para o caldo de cana com polpa de limão e 38 °Brix para o caldo com adição de polpa de abacaxi.

Tabela 1. Valores obtidos na crioconcentração do caldo de cana no congelamento total

Etapas	Volume de caldo (mL)	Sólidos solúveis (°Brix)*	Volume do gelo (mL)*
Sem adição de polpa			
Inicial	50,00	15,00±0,00 ^a	-
1	39,25	18,50±0,70 ^a	10,75±0,35
2	25,00	28,50±0,70 ^{ab}	14,25±0,35
3	15,85	37,25±1,06 ^b	9,15±0,49
4	13,65	38,50±0,70 ^b	2,20±1,13
Com adição de polpa de limão			
Inicial	50,00	13,00±0,00 ^a	-
1	38,50	15,00±0,00 ^a	11,50±0,70
2	22,35	24,50±0,70 ^{ab}	16,15±0,63
3	12,25	35,50±0,70 ^b	10,10±0,84
4	10,85	36,75±0,35 ^b	1,40±0,14
Com adição de polpa de abacaxi			
Inicial	50,00	14,00±0,00 ^a	-
1	41,10	15,15±0,21 ^a	8,90±1,27
2	24,10	26,50±0,70 ^{ab}	17,00±1,41
3	15,50	36,50±0,70 ^b	8,60±0,14
4	13,65	38,00±1,40 ^b	1,85±0,49

NOTA: * média ± desvio padrão; letras minúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2 Congelamento axial

O congelamento axial ocorreu após o isolamento superfície lateral dos tubos, permitindo que o congelamento acontecesse somente através da superfície superior e inferior das amostras de caldo de cana (ORELLANA-PALMA, 2017). Na Tabela 2 são apresentados os valores medidos na crioconcentração de caldo de cana sob congelamento axial. Verificou-se que, diferente do método de congelamento comum (congelamento total), foram necessárias apenas três etapas de crioconcentração para se atingir o equilíbrio no teor de sólidos solúveis em cerca de 31 °Brix para caldo sem adição de polpa, 29 °Brix para caldo com adição de polpa de limão e 31 °Brix para caldo com adição de polpa de abacaxi. Diferente do método de congelamento total,

verificou-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey já entre a primeira e a segunda etapa de crioconcentração.

Tabela 2. Valores obtidos na crioconcentração do caldo de cana no congelamento axial

Etapas	Volume de caldo (mL)	Sólidos solúveis (°Brix)	Volume do gelo (mL)*
Sem adição de polpa			
Inicial	50,00	15,00±0,00 ^a	-
1	18,75	26,50±0,35 ^b	31,25±0,80
2	11,95	29,85±0,70 ^b	6,80±0,40
3	9,95	31,50±1,1 ^{bc}	2,00±0,35
Com adição de polpa de limão			
Inicial	50,00	12,00±0,00 ^a	-
1	18,25	24,50±0,70 ^{ab}	31,75±0,70
2	11,60	28,65±0,70 ^{ab}	6,65±0,28
3	9,45	29,75±0,45 ^b	2,15±0,67
Com adição de polpa de abacaxi			
Inicial	50,00	14,00±0,00 ^a	-
1	17,60	25,50±0,80 ^{ab}	32,40±1,20
2	10,90	27,70±0,70 ^{ab}	6,70±0,40
3	8,30	31,05±1,03 ^b	2,60±0,35

NOTA: * média ± desvio padrão; letras minúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.3 Congelamento radial

O congelamento radial foi realizado a partir de amostras de caldo de cana com isolamento de isopor nas extremidades dos tubos, seguindo o modelo utilizado por Orellana-Palma (2017). Os dados da Tabela 3 indicam que, da mesma forma que no congelamento axial, foram necessárias apenas três etapas de crioconcentração para se atingir o equilíbrio em teor de sólidos solúveis. Verificou-se estabilidade do caldo sem adição de polpa aos cerca de 32 °Brix e aos 31 °Brix para os caldos adicionados de polpa de limão e polpa de abacaxi. Assim como no método de congelamento axial, este método também diferiu dos resultados de congelamento total ao se verificar diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey já entre a primeira e a segunda etapa de crioconcentração.

Tabela 3. Valores obtidos na crioconcentração do caldo de cana no congelamento radial

Etapas	Volume de caldo (mL)	Sólidos solúveis (°Brix)	Volume do gelo (mL)*
Sem adição de polpa			
Inicial	50,00	15,00±0,00 ^a	-
1	23,50	23,50±0,71 ^{ab}	26,50±0,00
2	13,00	29,75±0,41 ^b	10,50±0,62
3	11,50	32,25±1,00 ^b	2,50±0,38
Com adição de polpa de limão			
Inicial	50,00	13,00±0,00 ^a	-
1	27,50	21,25±0,65 ^{ab}	22,50±0,35
2	15,50	28,75±0,84 ^b	12,00±0,37
3	12,85	31,50±0,71 ^b	2,65±0,29
Com adição de polpa de abacaxi			
Inicial	50,00	14,00±0,00 ^a	-
1	24,00	24,85±0,29 ^{ab}	26,00±0,48
2	10,00	28,35±0,69 ^b	14,00±0,71
3	8,15	31,15±0,71 ^b	1,85±0,66

NOTA: * média ± desvio padrão; letras minúsculas sobrescritas diferentes indicam variação significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: A autoria própria (2023).

No estudo conduzido por Lo (2007), o caldo de cana com um teor inicial de sólidos solúveis totais de 15 °Brix, extraído de colmos de cana-de-açúcar branqueados e utilizado para produzir um caldo de dupla concentração (30 °Brix) por meio do processo de concentração por congelamento. Uma avaliação sensorial realizada nas amostras revelou que o caldo de cana fresco obteve pontuações mais altas em termos de doçura, sabor, retrogosto e aceitação geral em comparação com o suco concentrado por congelamento (30 °Brix).

Observando os dados obtidos, pode-se identificar um comportamento semelhante entre o congelamento radial e axial, enquanto o congelamento total apresentou valores superiores de sólidos solúveis totais ao final do processo. Esse fato pode ter ocorrido pelo fato de a estabilização do valor de sólidos solúveis totais ter ocorrido na quarta etapa de concentração, enquanto nas outras formas de congelamento o mesmo ocorreu na terceira etapa.

No estudo de Orellana-Palma (2017), verificou-se que nos métodos de congelamento radial e axial ocorreu um fenômeno que os autores chamaram de eluição. Nele, o movimento dos solutos ocorre durante a formação do cristal de gelo e, devido a esse processo, foram expelidos e acumulados na fração líquida. O mesmo fenômeno pode ter acontecido no estudo e por conta disso, os teores finais de sólidos solúveis totais foram menores nesses respectivos métodos de congelamento.

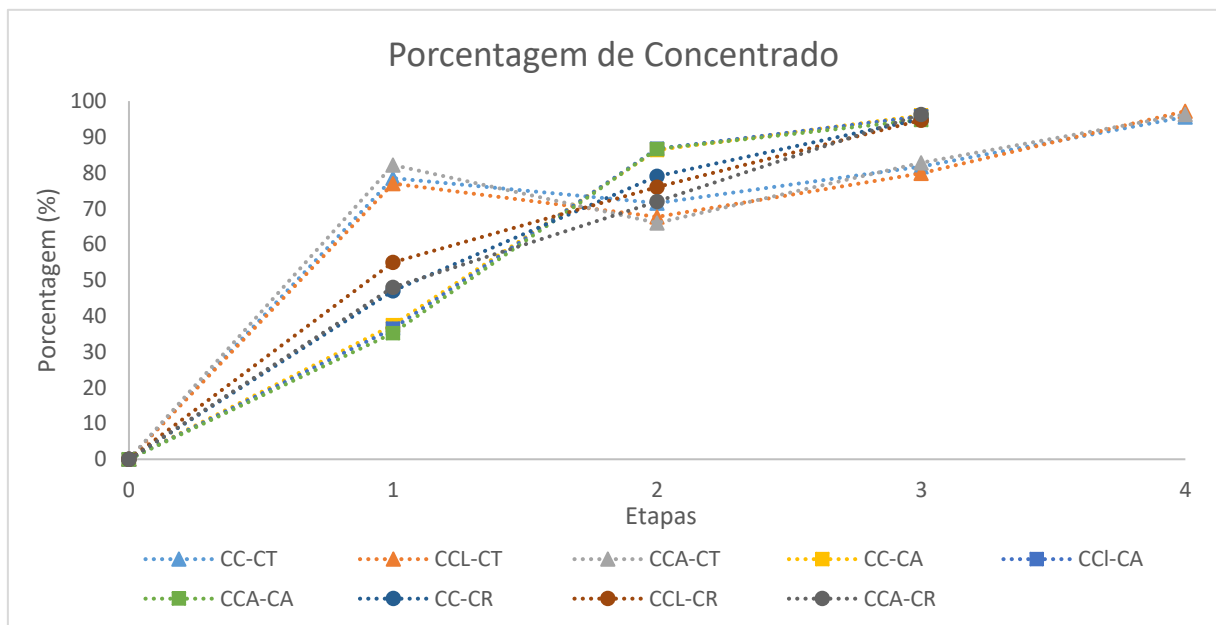
5.2 Parâmetros do processo

Foram avaliadas a porcentagem de concentrado, a eficiência do processo, a acidez total titulável e a relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável das amostras crioconcentradas.

5.2.1 Porcentagem de concentrado

A porcentagem de concentrado foi determinada para cada ciclo de crioconcentração, em cada uma das distintas formas de congelamento. A partir dos dados obtidos através da Equação 2, foi possível representá-los em um gráfico (Figura 2) que ilustra a variação da porcentagem de concentrado nos processos.

Figura 2. Porcentagem de concentrado



Fonte: Autoria própria (2023).

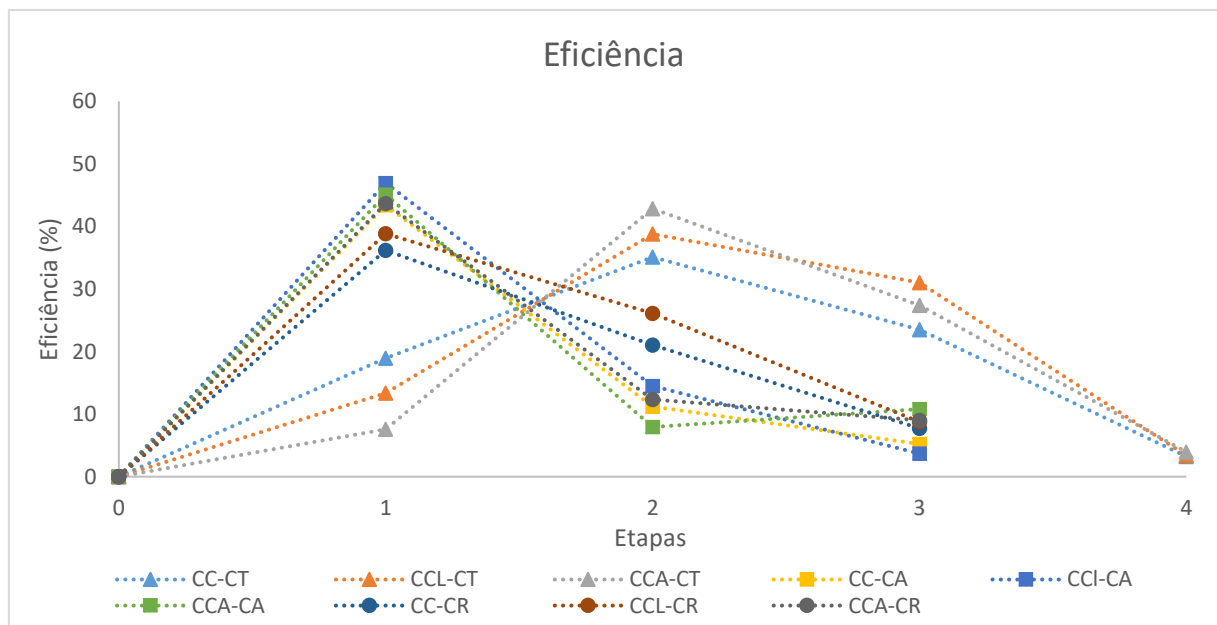
A partir da Figura 2 pode ser observado que a porcentagem de concentrado ao final de cada tipo de congelamento apresenta resultados semelhantes, em torno de 95%. Os diferentes tipos de bebidas mistas não apresentam resultados distintos. Porém, o que causou a distinção de resultados foi a forma com que as amostras foram congeladas. Foi verificada diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey para os valores de porcentagem de concentrado ao término da primeira etapa de crioconcentração nas amostras submetidas ao congelamento total.

O comportamento linear dos congelamentos radial e axial é semelhante ao observado por Orellana-Palma *et al.*, (2017), onde o valor máximo de porcentagem de concentrado ao final do processo foi de 72%.

5.2.2 Eficiência

A eficiência foi determinada em cada etapa da crioconcentração, a partir dos valores obtidos e com o uso da Equação 3. Foi possível obter um gráfico (Figura 3) que representa a eficiência em cada um dos processos.

Figura 3. Eficiência



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da Figura 3 pode ser observado que a eficiência no processo de congelamento total apresentou diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste de Tukey em relação ao congelamento radial e axial. Mais uma vez, pode ser observado

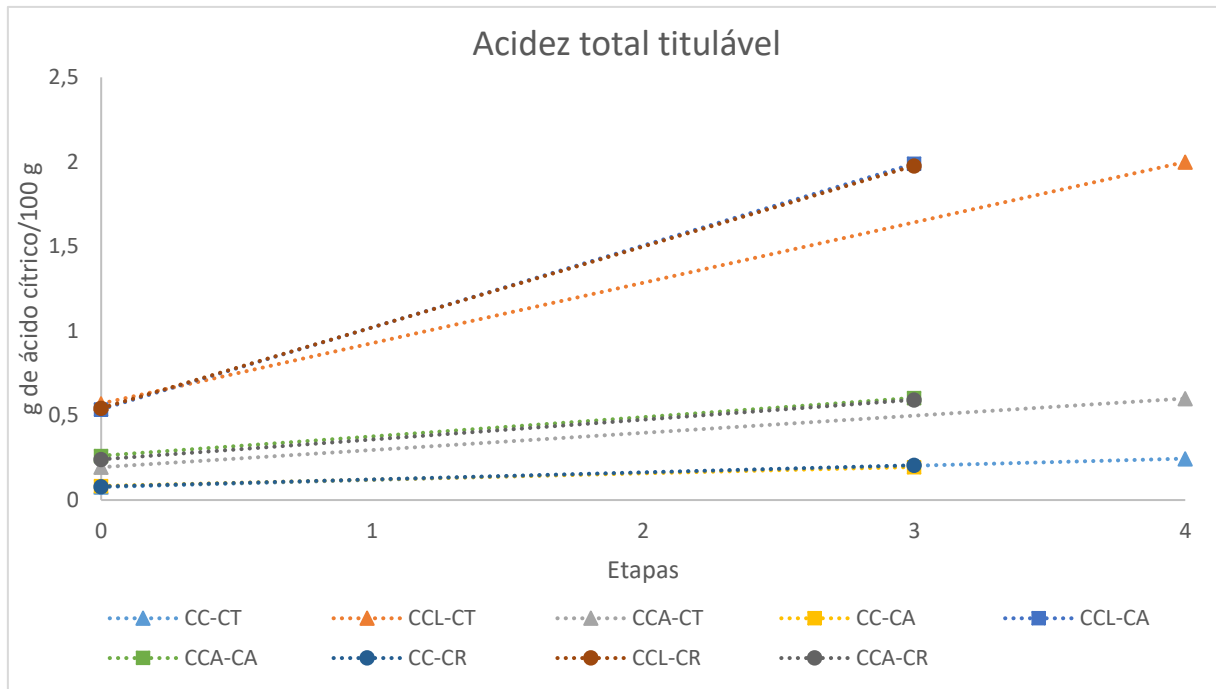
que as variações ocorrem em relação aos diferentes métodos de congelamento, mas em relação as diferentes composições das bebidas não apresentam diferenças.

O estudo conduzido por Orellana-Palma *et al.*, (2017) resultou em valores de eficiência que alcançaram seu valor máximo na primeira etapa de concentração e após essa etapa os valores de eficiência obtidos sofreram um decréscimo. Ao analisar a Figura 2, é notório que os congelamentos radiais e axiais apresentam resultados com comportamentos semelhantes ao estudo de Orellana-Palma *et al.* (2017). O congelamento total apresenta maior eficiência após o segundo estágio de concentração, o que pode justificar a necessidade de quatro etapas para estabilizar o valor de sólidos solúveis totais.

5.2.3 Acidez total titulável

A acidez total titulável das amostras foi determinada antes das amostras serem congeladas e na última etapa de crioconcentração. A partir da Figura 4, pode se observar que as amostras de caldo de cana com polpa de limão apresentam uma acidez superior às amostras de caldo de cana com abacaxi, que por sua vez apresenta uma acidez superior ao caldo de cana puro. E ainda, verificou-se que todas as amostras apresentaram um aumento na acidez após a concentração. Todas as amostras de caldo de cana com adição de limão tiveram valores de acidez significativamente diferentes das demais ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Figura 4. Acidez total titulável



Fonte: Autoria própria (2023).

No estudo conduzido por Silva *et al.* (2016), foi realizada a determinação da acidez titulável do caldo de cana fresco, obtendo-se valores entre 0,05 e 0,08% de ácido cítrico, podendo ser considerados valores próximos aos encontrados no presente estudo.

De acordo com os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQs) estabelecidos pela legislação brasileira, o suco de limão é definido como uma bebida não fermentada e não diluída, obtida a partir da parte comestível do limão (*Citrus limon*, L., Burn) por meio de um processo tecnológico adequado. Esses padrões também determinam a composição e as características correspondentes ao produto, incluindo um teor mínimo de 5,0 g (ácido cítrico g/.100g) para a acidez titulável (BRASIL, 2000). A adição da polpa de limão ao caldo de cana justifica os altos valores de acidez titulável obtidos.

Em um estudo realizado por Pinheiro *et al.* (2006), observou-se que os sucos integrais de abacaxi apresentaram valores de pH na faixa de 3,46 a 3,63. A acidez expressa em ácido cítrico, situou-se entre os valores de 0,68 e 0,98 g/100 g. A adição de polpa de abacaxi ao caldo de cana resultou em valores de acidez total titulável menores que o caldo de cana com polpa de limão.

Tanto o limão quanto o abacaxi são considerados frutas ácidas. O limão, em particular, é amplamente reconhecido por sua alta acidez. O abacaxi também contém

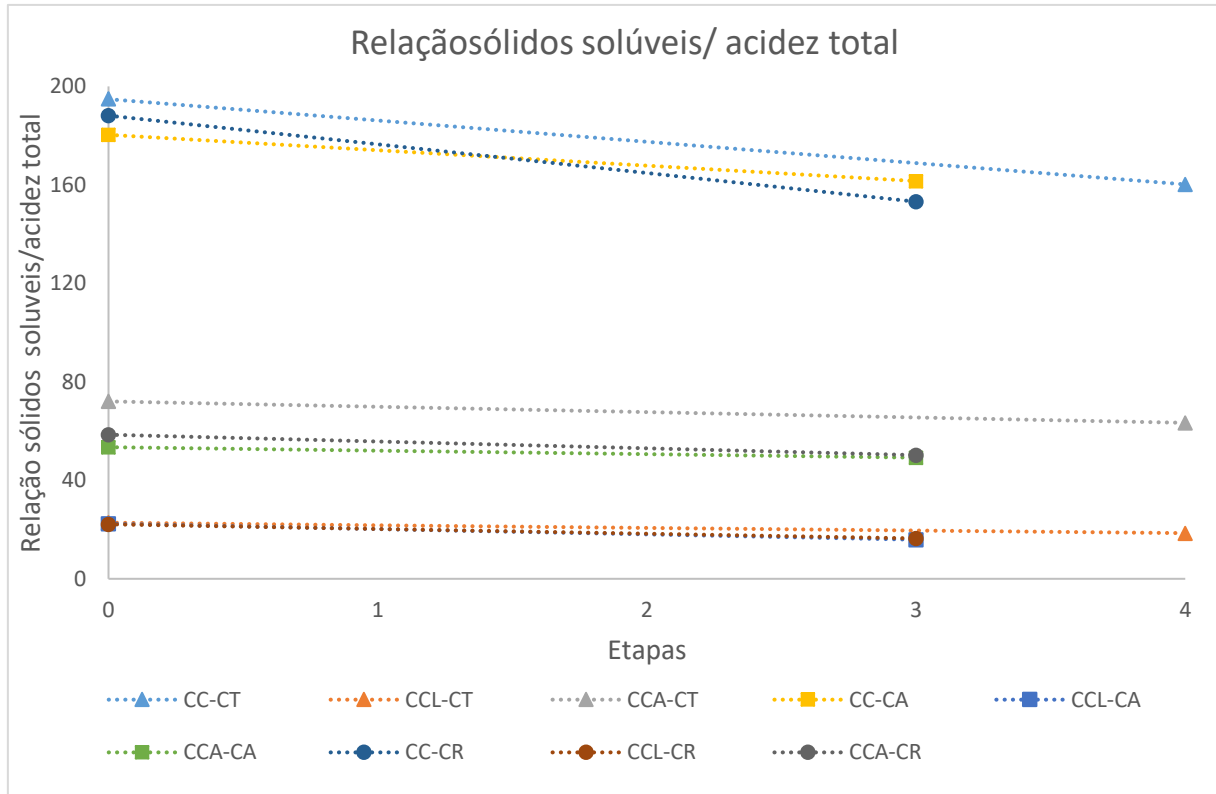
ácido cítrico, embora em menor quantidade. O que justifica o fato das bebidas com polpa de limão adicionado apresentarem um valor maior de acidez total seguido pelas bebidas com polpa de abacaxi.

5.2.4 Relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável

A relação de sólidos solúveis totais com a acidez total titulável apresenta um importante indicativo de sabor e pode ser determinada a partir dos parâmetros obtidos anteriormente. A partir da Figura 5, pode se observar que a relação entre sólidos solúveis e a acidez total teve um decréscimo em todas as etapas. Anteriormente foi observado que a acidez total teve um aumento em todos os casos, o que pode justificar o decréscimo dessa relação. O caldo de cana puro apresenta maiores valores em relação as misturas de caldo de cana com polpa de frutas, pois possui uma menor acidez. Influenciados pela adição das polpas, verificou-se diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey entre os três diferentes tipos de caldo de cana analisados.

Um estudo realizado por Gurgel *et al.* (2006), mediu relação entre os sólidos solúveis totais (°Brix) e a acidez total titulável, apresentando a variação entre as marcas de sucos tropicais de acerola, goiaba e manga, com valores entre 11,4 a 14,5. Comparando com os resultados obtidos a partir das bebidas mistas a base de caldo de cana, pode-se verificar a influência do alto teor de sólidos solúveis totais no caldo de cana. E a cada etapa de crioconcentração foi verificado um aumento no valor da acidez total titulável, o que ocasiona uma diminuição nos valores deste parâmetro.

Figura 5. Relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável



Fonte: Autoria própria (2023).

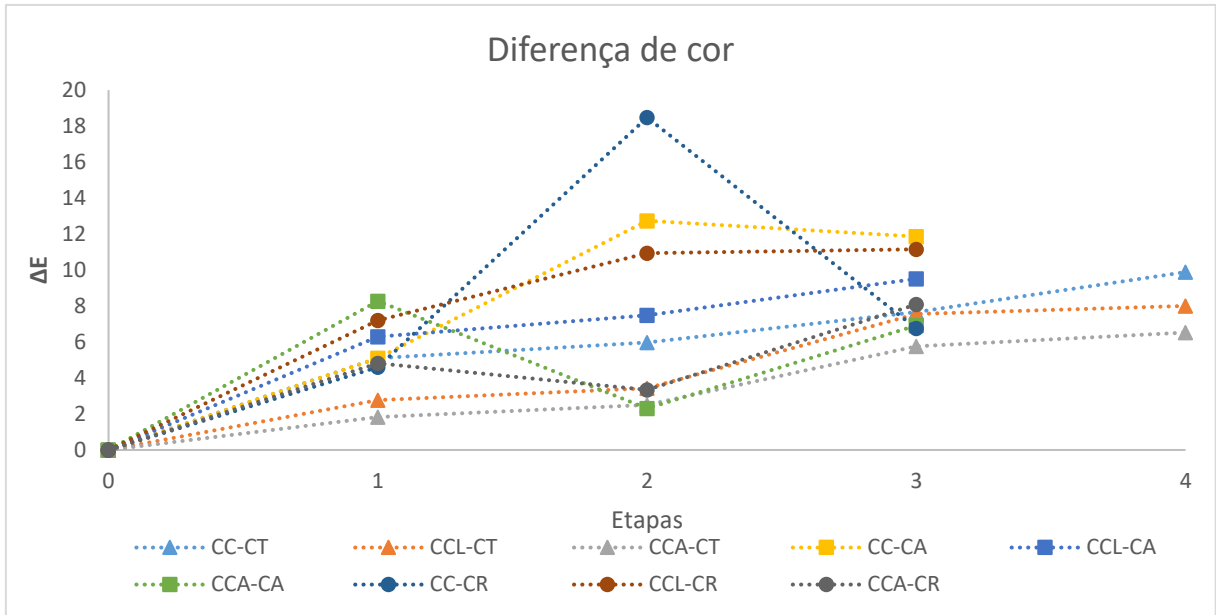
5.3 Avaliação de cor

A cor do caldo de cana é influenciada por diversos compostos, incluindo fenólicos, antocianinas, flavonoides, melanoidinas, melaninas e produtos de degradação alcalina da frutose, como observado por Fernandes (2008).

A avaliação de cor foi realizada em todas as etapas de concentração utilizando um espectrofotômetro, os resultados foram expressos como valores na escala CIElab e a partir da Equação 1 foi possível determinar a diferença de cor.

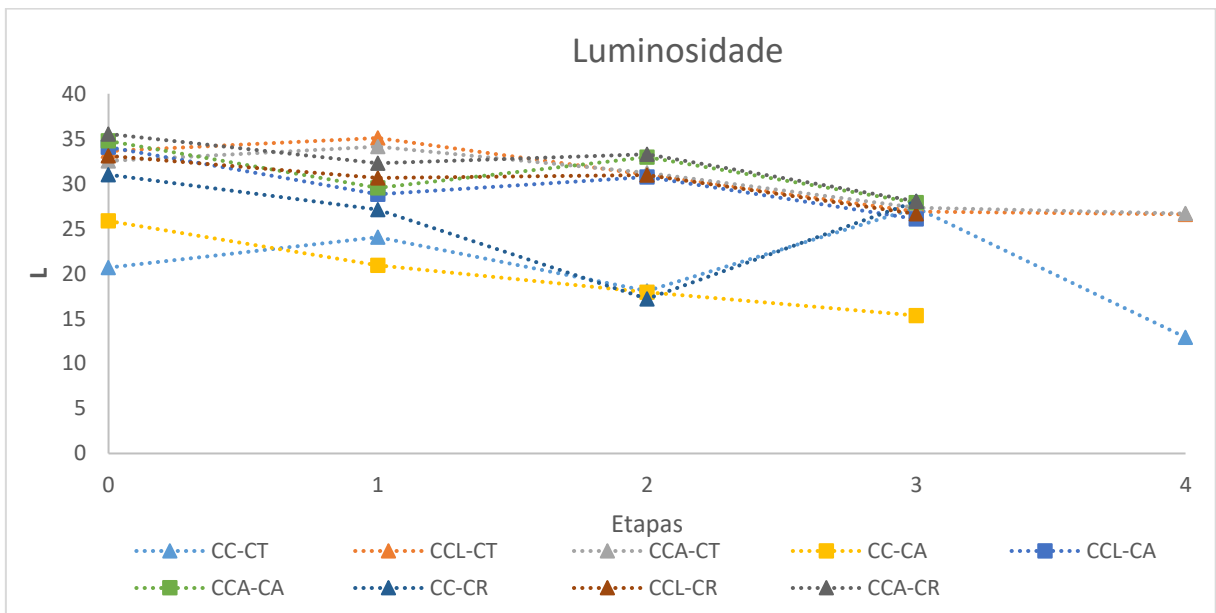
A partir da Figura 6, pode se observar que a diferença de cor de cada tipo de bebida apresenta um comportamento distinto, enquanto os diferentes tipos de congelamento não têm relação com o parâmetro calculado. Foi observado que as maiores variações de cor ocorreram nas amostras caldo de cana com polpa de limão sob a forma de congelamento radial. Por outro lado, os tratamentos que proporcionaram menores variações de cor foram o congelamento total e o congelamento axial.

Figura 6. Diferença de cor



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 7. Luminosidade



Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados observados diferem do estudo realizado por Orellana-Palma *et al.* (2017), que trabalharam a partir do suco de blueberry. O caldo de cana, por apresentar uma coloração escura, aspecto turvo e de difícil visualização, ao analisar os resultados obtidos. A partir da figura 7 é possível identificar que o parâmetro de luminosidade foi diminuindo em todas as etapas de crioconcentração. O parâmetro de

cor verde foi diminuindo nas bebidas com polpas de frutas e aumentou no caldo de cana puro. Já os parâmetros de medida da cor amarela diminuíram em todos os casos.

6 CONCLUSÃO

Ao analisar o efeito das diferentes condições de congelamento no processo de crioconcentração de bebidas mistas à base de caldo de cana pode-se concluir que os métodos apresentam resultados semelhantes em relação a todos os parâmetros analisados no estudo. O método de congelamento total difere das outras condições de congelamento em relação a quantidade de etapas necessárias para estabilizar o valor de sólidos solúveis totais.

Verificando os valores obtidos em relação ao teor de sólidos solúveis totais, é notório que o método de congelamento total obteve um teor superior ao final do processo em relação as demais condições de congelamento. Isso pode estar relacionado com o método de congelamento e a maneira com que os cristais de gelo foram formados.

No que se refere a método de congelamento mais vantajoso, pode-se concluir que o método de congelamento total apresenta um valor de porcentagem de concentrado superior aos demais métodos. Porém, nos métodos de congelamento radial e axial, a eficiência máxima do processo é atingida na primeira etapa de crioconcentração, necessitando assim de menos etapas para estabilizar o teor de ácidos solúveis totais. Refletindo em termo de um processo industrial, onde a demanda de tempo e o gasto de energia são parâmetros extremamente importantes, pode-se afirmar que os métodos de congelamento radial e axial são os mais vantajosos.

Por outro lado, do ponto de vista da análise de qual método de congelamento possui o maior grau de concentração, pode-se concluir que o melhor método para essa demanda é o congelamento total, mesmo sendo necessárias mais etapas.

Os três tipos de bebidas explorados no estudo não apresentaram diferenças significativas em relação a porcentagem de concentrado. O caldo de cana com polpa de abacaxi apresentou uma ligeira vantagem em relação a eficiência. Já o caldo de cana com polpa de limão possui valores de acidez total titulável superiores as demais bebidas. Dessa maneira, a relação de sólidos solúveis totais com a acidez total para essa bebida apresenta valores menores e mais próximos aos reportados por outros autores. O caldo de cana com limão também apresentou uma maior diferença de cor nos métodos de congelamento radial e axial, já no congelamento total, o caldo de cana puro teve uma maior diferença.

Novos estudos com bebidas mistas crioconcentradas nos diferentes métodos de congelamento analisados podem ser realizados a fim de verificar se os produtos teriam aceitação sensorial. Além disso, pode-se avaliar se a concentração do caldo de cana é efetiva na manutenção de parâmetros microbiológicos do produto ao longo de um período de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- AIDER, M.; DE HALLEUX, D.; MELNIKOVA, I. Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, n. 3, p. 334-341, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.01.005>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- AIDER, M.; OUNIS, W. BEN. Skim milk cryoconcentration as affected by the thawing mode: Gravitational vs. microwave-assisted. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 195-202, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02826.x>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- ALCARDE, A. R.; WALDER, J.; MELGES, M.; HORII, J. Comparison between gamma radiation and Kamoran HJ in the decontamination of sugarcane must. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 2, n. 25, p. 137–147. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2001.tb00449.x>. Acesso em: 7 abr. 2022.
- BRAMBILLA, W. P. **Estudo da fisiologia de gemas laterais de cana-de-açúcar durante o armazenamento**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto Biociências de Botucatu, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/108644>. Acesso em: 04 jun. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Leis, Decretos, etc. **Instrução Normativa nº 1 de 07 de janeiro de 2000**. Aprova os Regulamentos Técnicos para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpas e Sucos de Frutas, ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. D.O.U. - Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 de janeiro de 2000. Seção I, p. 54-58. Disponível em: <https://www.enovirtua.com/wp-content/uploads/2018/03/IN-1-polpa-aprova.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2023.
- BURDO, O. G.; KOVALENKO, E. A.; KHARENKO, D. A. Intensification of the processes of low-temperature separation of food solutions. **Applied Thermal Engineering**, v. 28, n. 4, p. 311-316, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.02.035>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- CARVALHO, C. **Anuário Brasileiro da Cana-de-açúcar 2011**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2011.
- IAL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/ial/publicacoes/livros/metodos-fisico-quimicos-para-analise-de-alimentos>. Acesso em: 04 maio 2023.
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, Adriana et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v. 4, p. 62-89, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/72314>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- CORDEIRO, G. M.; AMOUYAL, O.; ELOITT, F.; HENRY, R. J. Sugarcane. In: KOLE, C. (Ed.). **Pulses, sugar and tuber crops**. Berlin: Springer, 2007. p. 175-204.

(Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, 3). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-540-34516-9_11. Acesso em: 01 jun. 2023.

FERNANDES, A. C. **Análise de trilha dos principais constituintes orgânicos e inorgânicos sobre a cor do caldo em cultivares de cana-de-açúcar**. Dissertação (pós-graduação) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, 2008. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/4497/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2023.

GUDE, V. G. Desalination and sustainability - An appraisal and current perspective. **Water Research**, v. 89, p. 87-106, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.012> Acesso em: 01 jun. 2023.

GURGEL, F. A.; PINHEIRO, A. M.; DO PRADO, G. M.; FAI, A. E. C.; DE SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A. Sucos tropicais de acerola, goiaba e manga: avaliação dos padrões de identidade e qualidade. **Revista Ceres**, v. 53, n. 307, p. 302-308, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226699003>. Acesso em: 4 de jun. de 2023.

HENRY, R. J. Basic information on the sugarcane plant. In: HENRY, R. J.; KOLE, C. (Ed.). Genetics, genomics and breeding of sugarcane. Enfield, USA: **Science Publishers**, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/EBK1578086849>. Acesso em: 02 jun. 2023.

JENKINS, G. H. **Introduction to cane sugar technology**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

KALPANA, K.; LAL, P. R.; KUSUMA, D. L.; KHANNA, G. L. The effects of ingestion of sugarcane juice and commercial sports drinks on cycling performance of athletes in comparison to plain water. **Asian Journal of Sports Medicine**. v. 4, n. 3, p.181. 2013. Disponível em: <https://brief.land/asjasm/articles/76689.html>. Acesso em: 8 abr. 2022.

KUNITAKE, M. T. **Processamento e estabilidade de caldo de cana acidificado**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-09052012-113918/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.85.2012.tde-16012013-143923>. Acesso em: 1 jul. 2023.

LO, W. M.; CHUA, L. S. T.; AL-KHARKHI, A. F.; AZHAR, M. E. Evaluation of freeze-concentrated sugar-cane juice. **J. Trop. Agric. and Fd. Sc.**, v. 35, n. 1, p. 121-129, 2007. Disponível em: <http://jtafs.mardi.gov.my/jtafs/35-1/Freeze-concentrated%20sugar-cane%20juice.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI, J. H. **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2008. 319 p.

MATSUURA, F. C. A. U. et al. Sensory acceptance of mixed néctar of papaya, passion fruit and acerola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 604-608, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000600007>. Acesso em: 01 jun. 2023.

MOREIRA, A.L. et al. Dosagem de ácido láctico na produção de etanol a partir da cana de açúcar. **Biológico**, v. 70, n. 1, p. 35-42, 2008. Disponível em: http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v70_1/moreira.pdf. Acesso em: 01 jun. 2023.

MORISON, K. R.; HARTEL, R. W. **Evaporation and freeze concentration**. Boca Raton: CRC Press, 2006.

NISHAD, J.; SELVAN, C. J.; MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D. Effect of spray drying on physical properties of sugarcane juice powder (*Saccharum officinarum* L.). **Journal of Food Science and Technology**. v. 3, n. 54, p. 687–697. 2017. Disponível em: <https://rdcu.be/cLihs>. Acesso em: 10 abr. 2022.

NAZATO, C.; SILVA, D. F. C.; FERRAZ, S. C. U.; HARDER, M. N. C. Moenda X Difusor: diferentes pontos de vista sobre o assunto. **Bioenergia em Revista: Diálogo**. Piracicaba-SP, 2012. Disponível em: <http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/20/0>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OLIVEIRA, A. C. G. De. **Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na estabilidade físico-química, microbiológica e sensorial de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas, armazenado sob refrigeração**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-19042007-160742/publico/AlineOliveira.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OLIVEIRA, A, C, G de; SPOTO, M, H, F; CANNIATTI-BRAZACA, S, G; SOUSA, C, P, de; GALLO, C, R. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 863-873. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400029>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ORELLANA-PALMA, P.; PETZOLD, G.; GUERRA-VALLE, M.; ASTUDILLO-LAGOS, M. Impact of block cryoconcentration on polyphenol retention in blueberry juice. **Food Bioscience**, v. 20, p. 149-158, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.10.006>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ÖZOĞLU, H.; BAYINDIRLI, A. Inhibition of enzymic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. **Food Control**, v.13, n.4-5, p.213-221. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00011-7](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00011-7). Acesso em: 5 abr. 2022.

PETZOLD, G.; AGUILERA, J. M. Centrifugal freeze concentration. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 20, p. 253-258, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.05.010>. Acesso em: 3 maio 2022.

PETZOLD, G.; ORELLANA, P.; MORENO, J.; CERDA, E.; PARRA, P. Vacuumassisted block freeze concentration applied to wine, **Innovative Food**

Science & Emerging Technologies, v. 36, p. 330–335, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.019>. Acesso em: 2 maio 2022.

PINHEIRO, A. M.; FERNANDES, A. G.; FAI, A. E. C.; PRADO, G. M. do.; SOUSA, P. H. M. de.; MAIA, G. A. Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá. **Food Science and Technology**, v.26, n1, p.98–103. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100017>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PRATI, P. **Desenvolvimento de processo para estabilização de caldo de cana adicionado de sucos de frutas ácidas**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1596698>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PRATI, P.; MORETTI, R. H.; CARDELLO, H. M. A. B. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada estabilizada e sucos de frutas ácidas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 01, p. 147-152, 14 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000100024>. Acesso em: 6 abr. 2022.

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R. A. Effect of maturity on chlorophyll, tannin, color, and polyphenol oxidase (PPO) activity of sugarcane juice (*Saccharum officinarum* Var. Yellow Cane). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 6, n. 50, p. 1615–1618. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf010959l>. Acesso em: 4 abr. 2022.

QUDSIEH, H. Y. M.; YUSOF, S.; OSMAN, A.; RAHMAN, R. A. Physico-chemical changes in sugarcane (*Saccharum officinarum* var yellow cane) and the extracted juice at different portions of the stem during development and maturation. **Food Chemistry**. v. 2, n. 75, p. 131–137. 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00294-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00294-6). Acesso em: 7 abr. 2022.

RATKJE, S. K.; FLESLAND, O. Modeling the freeze concentration Process by irreversible thermodynamics. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 553-567, 1995. Disponível em: <https://www.chem.ntnu.no/nonequilibrium-thermodynamics/pub/61-Ratkje-Flesland.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de Herbicidas**. 3ª ed. Londrina: Produção Independente, 1995.

SÁNCHEZ, J.; RUIZ, Y.; AULEDA, J.M.; HERNANDEZ, E.; RAVENTOS, M. Progressive freeze concentration of orange juice in a pilot plant falling film. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 11, n. 4, p. 644-651, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.006>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SÁNCHEZ, J.; RUIZ, Y.; AULEDA, J.M.; HERNANDEZ, E.; RAVENTOS, M. Review. Freeze Concentration in the Fruit Juices Industry. **Food Science and Technology International**, v. 15, p. 303, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1082013209344267> Acesso em: 01 jun. 2023.

SCHMIDT, FLÁVIO L.; EFRAIN, P. **Pré-processamento de frutas, hortaliças, café, cacau e cana-de-açúcar**. 1ª ed. São Paulo: Elsevier, 2015.

SILVA, C. O., GALLO, F. A., BOMDESPACHO, L. Q. (2016). Sugarcane juice processing: microbiological monitoring. **Journal of Food Processing & Technology**, v.7, n.8, p.1-5, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000607>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SOCCOL, C. R.; SCHWAB, A.; KATSOKA, C. E. Avaliação microbiológica do caldo de cana na cidade de Curitiba. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 116-125, 1990. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v8i2.15052>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SONGSERMPONG, S.; JITTANIT, W. Comparison of peeling, squeezing and concentration methods for the sugarcane juice production. Suranaree **Journal of Science and Technology**, v. 1, n. 17, p. 49–55. 2010. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53465390>. Acesso em: 8 abr. 2022.

TAYLOR, M. F.; SUCKLING, K. F.; RACHLINSKI, J. J. The effectiveness of the endangered species act: a quantitative analysis. **Bioscience**. v. 4, n. 55, p. 360–367. 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0360:TEOTES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0360:TEOTES]2.0.CO;2). Acesso em: 9 abr. 2022.

XIAO, Z.; LIAO, X.; GUO, S. Analysis of sugarcane juice quality indexes. **Journal of Food Quality**, v. 2017, p. 1-6. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/1746982>. Acesso em: 5 abr. 2022.

YUSOF, S.; SHIAN, L.; OSMAN, A. Changes in quality of sugar-cane juice upon delayed extraction and storage. **Food Chemistry**, v. 4, n. 68, p. 395–401. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00180-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00180-6). Acesso em: 7 abr. 2022.