



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM QUÍMICA**

DANIEL DOUGLAS DOS SANTOS FERREIRA

CONTROLE DE QUALIDADE DO AÇÚCAR CRISTAL

**PENEDO, AL
2025**

DANIEL DOUGLAS DOS SANTOS FERREIRA

CONTROLE DE QUALIDADE DO AÇÚCAR CRISTAL

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientador (a): Dr. Mirelle Márcio Santos Cabral

PENEDO, AL
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

F383c

Ferreira, Daniel Douglas dos Santos.

Controle de qualidade do açúcar cristal / Daniel Douglas dos Santos Ferreira. – 2025.

22f.; il.

Orientação: Prof. Mirelle Márcio Santos Cabral.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Subsequente em Química) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Penedo*, Penedo, 2025.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Açúcar cristal - Produção. 2. Controle de qualidade. 3. Indústria sucroenergética. I. Cabral, Mirelle Márcio Santos. II. Título.

CDD: 664.1

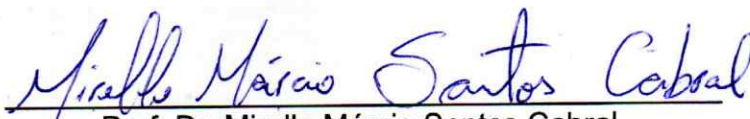
DANIEL DOUGLAS DOS SANTOS FERREIRA

CONTROLE DE QUALIDADE DO AÇÚCAR CRISTAL

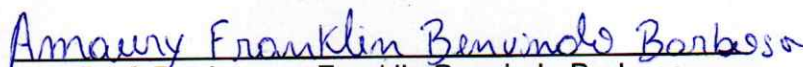
Artigo científico apresentado ao Curso Técnico Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADO(A) EM: 17/12/2025.

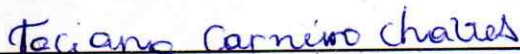
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mirelle Márcio Santos Cabral
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Amaury Franklin Benvindo Barbosa
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^a. Dr^a. Taciana Carneiro Chaves
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

CONTROLE DE QUALIDADE DO AÇÚCAR CRISTAL

CRYSTAL SUGAR QUALITY CONTROL

Daniel Douglas dos Santos Ferreira¹

RESUMO

O açúcar cristal ocupa posição central na indústria sucroalcooleira brasileira, exigindo rigoroso controle de qualidade para garantir pureza, estabilidade e conformidade com os padrões exigidos pelos setores alimentício, farmacêutico e exportador. Considerando que fatores operacionais afetam diretamente os parâmetros físico-químicos do produto, este estudo analisa como esses indicadores refletem a eficiência do processo produtivo. O objetivo consistiu em avaliar a importância do controle de qualidade e identificar a influência da cor ICUMSA, polarização, teor de umidade, cinzas, açúcares redutores, sulfito e dextrana na determinação da qualidade final do açúcar cristal. A metodologia baseou-se em pesquisa bibliográfica, utilizando artigos científicos, normas técnicas, documentos da ICUMSA e do MAPA, além da descrição dos métodos analíticos empregados na indústria, como espectrofotometria, polarimetria, calcinação, secagem em estufa, titulação e cromatografia. Os resultados demonstram que a cor ICUMSA é diretamente influenciada pela eficiência da clarificação e pelo controle térmico; a polarização reflete a pureza da sacarose; a umidade determina a estabilidade no armazenamento; o teor de cinzas indica impurezas minerais; e os açúcares redutores aumentam com a degradação térmica ou microbiológica da sacarose. Verificou-se ainda que resíduos de sulfito dependem do rigor no tratamento químico do caldo, enquanto a dextrana está associada à deterioração da cana e interfere na cristalização. Conclui-se que o controle de qualidade do açúcar cristal constitui etapa estratégica para a gestão industrial, permitindo detectar desvios, otimizar o processo e assegurar um produto final dentro dos padrões nacionais e internacionais. A integração entre análises laboratoriais e tecnologias modernas reforça a eficiência operacional e contribui para a competitividade do setor.

Palavras-chave: Açúcar cristal; Produção agroindustrial; Safra 2023/24–2024/25; Setor sucroenergético; Análise regional.

¹Discente: Curso Técnico em Química-Instituto Federal de Alagoas-Campus Penedo-
ddsfl@aluno.ifal.edu.br

ABSTRACT

Crystal sugar plays a central role in the Brazilian sugar-energy industry, requiring rigorous quality control to ensure purity, stability, and compliance with the standards demanded by the food, pharmaceutical, and export sectors. Considering that operational factors directly affect the physicochemical parameters of the product, this study analyzes how these indicators reflect the efficiency of the production process. The objective was to evaluate the importance of quality control and identify the influence of ICUMSA color, polarization, moisture content, ash content, reducing sugars, sulfite, and dextran on the final quality of crystal sugar. The methodology was based on a bibliographic review using scientific articles, technical standards, ICUMSA and MAPA documents, as well as the description of analytical methods used in the sugar industry, including spectrophotometry, polarimetry, calcination, oven drying, titration, and chromatography. The results demonstrated that ICUMSA color is directly influenced by clarification efficiency and thermal control; polarization reflects sucrose purity; moisture determines storage stability; ash content indicates mineral impurities; and reducing sugars increase due to thermal or microbiological sucrose degradation. It was also verified that sulfite residues depend on the rigor of chemical treatment during juice clarification, while dextran is associated with cane deterioration and negatively affects crystallization. It is concluded that quality control of crystal sugar is a strategic step in industrial management, enabling deviation detection, process optimization, and the assurance of a final product that meets national and international standards. The integration of laboratory analyses with modern technologies enhances operational efficiency and contributes to greater competitiveness within the sector.

Keywords: Crystal sugar; Agroindustrial production; 2023/24–2024/25 harvest; Sugar-energy sector; Regional analysis.

1 INTRODUÇÃO

A cadeia sucroalcooleira representa um dos pilares do setor agroindustrial brasileiro, destacando-se pela elevada produção de açúcar e por sua expressiva importância econômica. Dentre os derivados da cana-de-açúcar, o açúcar cristal ocupa posição central, visto que sua aceitação no mercado alimentício e industrial exige rigorosos padrões de qualidade, os quais dependem diretamente da eficiência analítica e do controle ao longo do processo produtivo (Filho *et al.*, 2024).

Conforme destacado por Oliveira (2007), a qualidade do açúcar cristal constitui um elemento estratégico para a competitividade industrial, influenciando o valor comercial, a inserção em mercados internacionais e a adequação às exigências regulatórias. Sob a perspectiva analítica, o controle de qualidade fundamenta-se na mensuração de parâmetros físico-químicos padronizados, como a cor ICUMSA, a

polarização, o teor de umidade, o conteúdo de cinzas e a fração de açúcares redutores, indicadores essenciais que refletem a pureza, a estabilidade e o grau de refino do produto, conforme estabelecido pela ICUMSA (2011) e pela Instrução Normativa n.º 47/2018 do MAPA.

Estudos demonstram que esses parâmetros são diretamente influenciados pelas condições do processo produtivo, em estudos como os de Sartori *et al.* (2015) evidenciam, por exemplo, que o uso de peróxido de hidrogênio na clarificação do caldo pode reduzir significativamente a cor ICUMSA, indicando a sensibilidade dos indicadores físico-químicos às práticas industriais adotadas. Da mesma forma, pesquisas como as de Aguiar e Macri (2022) demonstram que o tratamento eficiente do caldo, especialmente no que se refere ao controle de pH, remoção de impurezas coloidais e condução térmica adequada, é determinante para a obtenção de açúcar de alto padrão.

Em seu estudo, Rein (2012) reforça que a presença de compostos indesejáveis, como dextranas e sais minerais, pode elevar a cor e comprometer a cristalização, revelando a importância da integração entre controle de processos e análises laboratoriais de rotina. Nesse contexto, o controle de qualidade do açúcar cristal deve ser entendido como um sistema integrado que envolve não somente a execução de análises laboratoriais, mas também o monitoramento contínuo das etapas industriais, desde a recepção e preparo da matéria-prima até a cristalização, secagem e armazenamento (MAPA, 2018).

A qualidade final está diretamente ligada à eficiência dessas etapas, e falhas em qualquer ponto da cadeia produtiva podem gerar perdas econômicas, rejeição de lotes e redução da competitividade da usina (Filho *et al.*, 2024). Assim, justifica-se a relevância deste estudo pela importância econômica e tecnológica do açúcar cristal no Brasil, pela necessidade de aprimoramento dos métodos analíticos utilizados na indústria e pela crescente demanda dos mercados consumidores por produtos mais puros, uniformes e estáveis.

Diante dessas considerações, surge a seguinte problemática: como os parâmetros físico-químicos utilizados no controle de qualidade e as etapas do processo produtivo influenciam a qualidade final do açúcar cristal na indústria sucroalcooleira brasileira?

Diante desse panorama, o presente artigo analisará o controle de qualidade aplicado ao açúcar cristal na indústria sucroalcooleira, considerando os parâmetros

físico-químicos utilizados como indicadores de qualidade e as etapas do processo produtivo que influenciam esses resultados.

2 A INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA E O PAPEL DO AÇÚCAR CRISTAL

A indústria sucroenergética brasileira configura-se como uma das mais relevantes cadeias produtivas do país, responsável pela geração de milhões de empregos diretos e indiretos e por parcela significativa das exportações do agronegócio. A produção de açúcar ocupa posição central nessa dinâmica, destacando-se pela expressiva demanda internacional e pela padronização tecnológica alcançada nas últimas décadas (Moraes; Zilberman, 2014).

Entre os diferentes tipos de açúcar produzidos, o açúcar cristal apresenta especial relevância devido à sua ampla aplicação em setores alimentícios, farmacêuticos e industriais, exigindo elevado rigor quanto aos parâmetros físico-químicos que determinam sua pureza, diferentemente do açúcar VHP (Very High Polarization), destinado sobretudo à exportação e refinamento posterior, o açúcar cristal é um produto amplamente consumido internamente (Filho *et al.*, 2024).

De acordo com Barbosa *et al.* (2017), o açúcar cristal apresenta vantagens competitivas como alta estabilidade, baixa higroscopicidade e longa vida útil, características que dependem diretamente da eficiência do processamento industrial. Sua qualidade influencia não somente a aceitação mercadológica, mas também o desempenho em aplicações específicas, como fermentações industriais e formulações alimentícias.

Além disso, o mercado internacional tem intensificado suas exigências quanto à cor, granulometria, pureza e uniformidade, tornando o controle de qualidade um fator decisivo para a competitividade das usinas brasileiras. Em seus estudos, Oliveira (2007) enfatiza que a competitividade do mercado internacional exige adoção de rígidos sistemas de controle de qualidade, já que países importadores estabelecem limites específicos para cor, granulometria e pureza.

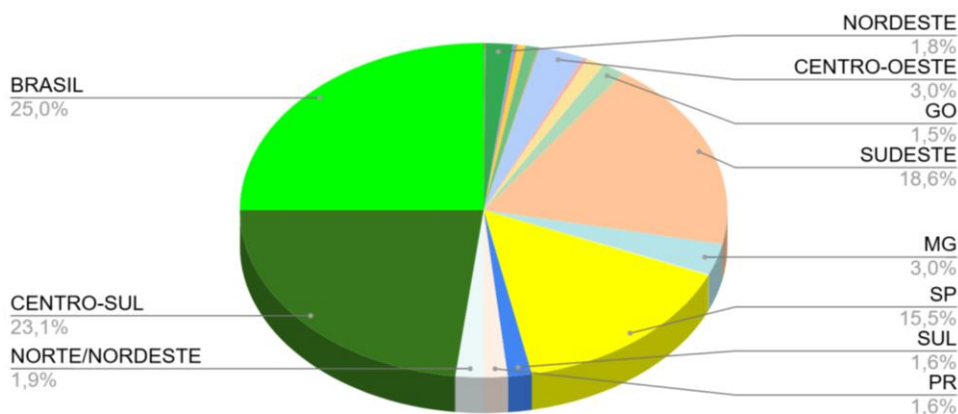
Além disso, o setor sucroalcooleiro brasileiro tem passado por profundas transformações tecnológicas, incluindo automação industrial, biotecnologia, controle avançado de processos (CAP) e integração de sensores digitais, ampliando a capacidade de monitoramento da qualidade do açúcar produzido (Solomon, 2016). Nesse contexto, a qualidade do açúcar cristal passa a ser compreendida como

elemento estratégico para a competitividade nacional, sobretudo em mercados como Europa, Oriente Médio e Ásia, que demandam padrões mais rigorosos.

A Figura 1 apresenta a distribuição da produção de açúcar cristal no Brasil, destacando a forte concentração no Centro-Sul, especialmente no Estado de São Paulo, principal polo sucroenergético do país. As regiões Nordeste e Sul também contribuem, embora em menor escala, refletindo diferenças climáticas, estruturais e tecnológicas entre as áreas produtoras, essa visualização permite compreender a relevância regional da canavicultura e sua influência direta na oferta nacional de açúcar cristal.

Figura 1 – Produção de açúcar cristal no período de 2023 a 2025.

Safra 2023 a 2025



Fonte: CONAB (2025)

3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO AÇÚCAR CRISTAL

Além disso, o setor sucroalcooleiro brasileiro tem passado por profundas transformações tecnológicas, incluindo automação industrial, biotecnologia, controle avançado de processos (CAP) e integração de sensores digitais, ampliando a capacidade de monitoramento da qualidade do açúcar produzido (Solomon, 2016). Nesse contexto, a qualidade do açúcar cristal passa a ser compreendida como elemento estratégico para a competitividade nacional, sobretudo em mercados como Europa, Oriente Médio e Ásia, que demandam padrões mais rigorosos.

A qualidade do açúcar cristal é definida a partir de um conjunto de parâmetros físico-químicos padronizados por metodologias internacionais, sobretudo as estabelecidas pela ICUMSA (2011). Esses parâmetros permitem avaliar a pureza, a

estabilidade e a adequação do produto às exigências da indústria alimentícia e farmacêutica, bem como às normas de exportação.

O controle de qualidade do açúcar cristal exige a aplicação de metodologias analíticas padronizadas, capazes de quantificar os principais parâmetros físico-químicos que determinam a pureza e a estabilidade do produto. A ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis) estabelece os métodos oficiais utilizados internacionalmente, garantindo reprodutibilidade e comparabilidade entre usinas e laboratórios. No Brasil, tais procedimentos também se alinham às exigências da Instrução Normativa MAPA n.º 47/2018, que define limites mínimos e máximos para classificação e comercialização do produto.

3.1 COR

A cor ICUMSA constitui um dos principais indicadores de qualidade, uma vez que reflete a presença de compostos orgânicos, fenólicos, pigmentos derivados da cana e substâncias formadas por reações de degradação térmica, quanto menor for a cor, mais puro e transparente é o açúcar. A Instrução Normativa MAPA n.º 47/2018 estabelece limites máximos para comercialização, sendo que o açúcar cristal padrão geralmente apresenta cor abaixo de 150 UI. Em seu estudo, Eggleston (2009) destaca que a cor está diretamente relacionada à eficiência da clarificação e ao controle térmico durante a evaporação.

A determinação da cor ICUMSA, parâmetro essencial para avaliação da qualidade visual e da presença de compostos orgânicos e fenólicos, é realizada por espectrofotometria (Figura 2), utilizando comprimento de onda de 420 nm após preparo adequado da solução de açúcar. A leitura é convertida em unidades ICUMSA de acordo com procedimentos padronizados, permitindo classificar o açúcar por categorias de cor e identificar possíveis falhas na clarificação, na evaporação ou na cristalização.

Figura 2 – Espectrofotômetro.



Fonte: Autor, 2025.

3.2 POLARIZAÇÃO (POL)

A polarização expressa o teor de sacarose é medida em graus Zucker ($^{\circ}\text{Z}$). Valores superiores a $99,3^{\circ}\text{Z}$ são recomendados para açúcares destinados à alimentação humana. Polarizações mais baixas podem indicar degradação térmica da sacarose, presença de outros açúcares ou contaminação por substâncias orgânicas. Em seus estudos, Lionetto *et al.* (2012) ressalta que a polarização é fundamental na definição da pureza aparente, parâmetro de grande importância para a indústria farmacêutica e de bebidas.

A polarização, que indica o teor de sacarose, é determinada por meio do polarímetro ou sacarímetro (Figura 3). A amostra é dissolvida em solução clarificante e submetida à leitura óptica, expressa em graus Zucker ($^{\circ}\text{Z}$). Valores superiores a $99,3^{\circ}\text{Z}$ indicam elevada pureza aparente, enquanto reduções desse valor podem sinalizar inversão da sacarose, presença de açúcares redutores ou contaminações decorrentes de degradação térmica.

Figura 3 – Sacarímetro.



Fonte: Autor, 2025.

3.3 TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade é crítico para a estabilidade durante o armazenamento, pois açúcares com valores acima do limite (geralmente 0,05%) tendem a apresentar empedramento, compactação e recristalização superficial quando expostos a ambientes úmidos. A higroscopicidade também aumenta, comprometendo a fluidez do produto e favorecendo reações químicas indesejáveis, como a formação de cor por caramelização lenta (Barbosa *et al.*, 2017).

Para a análise de umidade, aproximadamente 10 g da amostra são cuidadosamente pesados e distribuídos uniformemente no prato do determinador de umidade (Figura 4), após a colocação da amostra, a câmara do equipamento é fechada para garantir condições controladas de aquecimento e evitar interferências externas.

O processo inicia-se automaticamente, utilizando aquecimento por fonte halógena, que promove a evaporação da fração volátil, predominantemente água, durante a secagem, o equipamento realiza medições contínuas da massa, monitorando a variação gravimétrica decorrente da perda de umidade.

A análise é concluída quando o sistema detecta estabilidade de massa, condição que indica a completa remoção da umidade sob as condições estabelecidas. Esse ponto de estabilidade é alcançado, em média, após aproximadamente 5 minutos, dependendo das características físico-químicas da amostra. Ao término do procedimento, o determinador apresenta automaticamente o percentual de umidade e outros parâmetros relevantes, como massa final e massa seca.

A umidade é um fator crítico para a conservação do produto, pois valores acima do limite estabelecido aumentam o risco de empedramento, recristalização superficial e reações indesejáveis.

Figura 4 – Balança de umidade.



Fonte: Autor, 2025.

3.4 TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas, associado à condutividade elétrica, indica a presença de minerais e impurezas inorgânicas provenientes da água, solo ou processos inadequados de clarificação. Valores elevados de cinzas podem comprometer o sabor, interferir em formulações alimentícias e sinalizar falhas operacionais. Nos estudos de Sartori *et al.* (2015) mostram que a adoção de agentes oxidantes como peróxido de hidrogênio pode reduzir significativamente esses valores, evidenciando a importância do controle químico.

A análise de cinzas determina a presença de minerais e impurezas inorgânicas, realizada por calcinação da amostra em mufla (Figura 5) a altas temperaturas (aproximadamente 550 °C) até a completa eliminação da matéria orgânica. O resíduo mineral é pesado e expresso em porcentagem. Valores elevados indicam falhas no processo de clarificação, arraste de impurezas ou contaminações no processo industrial.

Figura 5 – Mufla.



Fonte: Autor (2025)

3.5 AÇÚCARES REDUTORES

Os açúcares redutores, como glicose e frutose, aumentam quando ocorre inversão da sacarose devido a pH inadequado, ação microbiológica ou aquecimento excessivo, esses compostos influenciam diretamente na coloração final do açúcar por promoverem reações de Maillard e caramelização, elevando a cor ICUMSA e reduzindo a estabilidade química do produto (Rein, 2012).

Os açúcares redutores, como glicose e frutose, são quantificados pelos métodos clássicos de titulação de Lane-Eynon (Figura 6), Fehling ou por técnicas instrumentais mais modernas, como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Níveis elevados de açúcares redutores indicam degradação da sacarose por ação térmica, microbiológica ou por ajustes inadequados de pH, refletindo diretamente na estabilidade química e na cor do açúcar.

Figura 6 – Método de titulação de Lane-Eynon utilizando um redutec.

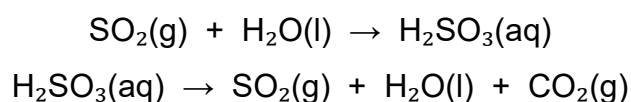


Fonte: Autor (2025)

3.6 SULFITO

O teor de sulfito constitui parâmetro essencial na avaliação da pureza química do açúcar cristal, pois o dióxido de enxofre (SO_2) é amplamente utilizado na etapa de sulfitação do caldo visando auxiliar na clarificação e reduzir compostos coloridos. Entretanto, resíduos excessivos podem representar risco à saúde, além de comprometer a aceitação comercial do produto. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da RDC n.º 14/2014, estabelece limites máximos de 10 mg/kg de SO_2 residual em açúcares destinados ao consumo humano.

No processo industrial, o SO_2 dissolvido no caldo reage com a água formando ácido sulfuroso (H_2SO_3), o qual atua como agente redutor. Durante o aquecimento, parte desse ácido sofre decomposição, liberando dióxido de carbono (CO_2), reação descrita de forma simplificada como:



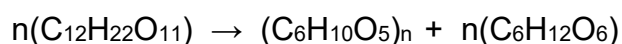
Essa decomposição explica a perda parcial de SO_2 ao longo da evaporação e destaca a importância do controle rigoroso desse aditivo. Segundo Eggleston e Harper

(2006), a presença residual de sulfito também pode influenciar a estabilidade da cor e participar de reações secundárias de oxirredução durante a evaporação.

Segundo Morilla, Alves e Aguiar (2015) discutem em seu estudo que o SO₂, embora eficiente, pode deixar resíduos no açúcar final, acarretando barreiras sanitárias e comerciais. Métodos analíticos como o de Monier-Williams (titulométrico) são comumente empregados para determinar o SO₂ residual em açúcar, sendo essenciais para garantir conformidade com limites regulamentares de segurança alimentar.

3.7 DEXTRANA

A dextrana é um polissacarídeo produzido pelo metabolismo de bactérias do gênero *Leuconostoc*, frequentemente presentes na cana deteriorada ou armazenada por longos períodos antes da moagem. Essas bactérias metabolizam a sacarose por meio da enzima dextrana-sacarase (ou sacarose dextrana-sintase), promovendo a polimerização da glicose e liberando frutose. A reação geral de formação da dextrana pode ser representada da seguinte forma:



Essa reação mostra que a glicose da sacarose é polimerizada formando a dextrana que é um polissacarídeo viscoso, enquanto a frutose é liberada no meio, esse biopolímero aumenta a viscosidade do caldo, reduz a eficiência da filtração e interfere na cinética de cristalização, prejudicando o tamanho, a pureza e a uniformidade dos cristais de sacarose (Eggleston; Legendre, 2015).

Além disso, altos níveis de dextrana elevam o consumo de vapor, aumentam problemas de incrustação e podem comprometer a qualidade final do açúcar cristal, tornando-o pegajoso e menos fluido. A ICUMSA (2011) recomenda métodos enzimáticos para sua determinação, especialmente o método GS7/31-1, baseado na ação da dextranase e posterior quantificação de produtos redutores. Estudos conduzidos por Eggleston *et al.* (2020) reforçam que a análise de dextrana é um dos indicadores mais sensíveis da qualidade da matéria-prima e da higiene industrial da usina.

Apesar dos efeitos adversos que a dextrana traz, a literatura não estabelece um limite legal universal para teor máximo de dextrana no açúcar cristal, no entanto, várias recomendações técnicas do setor e estudos de qualidade sugerem como referência prática valores de até cerca de 250–300 ppm (mg/kg) para açúcar cristal destinado ao consumo ou comércio, sendo que para açúcares de padrão exportação frequentemente se adota valor mais restrito, em torno de 150 ppm.

Acima desses valores, os riscos de problemas de cristalização, instabilidade no armazenamento e perdas industriais aumentam consideravelmente (Rodrigues, 2000). Essa faixa de referência permite servir como critério de “boa prática” para controles internos e para classificação de qualidade, ainda que não substitua a adoção de metodologias analíticas específicas e sistemáticas para a quantificação de dextrana nas amostras de açúcar.

Cada uma dessas metodologias desempenham um papel fundamental na avaliação da qualidade do açúcar cristal, permitindo que o laboratório industrial identifique desvios, ajuste etapas do processo produtivo e assegure que açúcar atenda aos padrões internacionais de mercado.

A integração entre as análises laboratoriais e o monitoramento do processo industrial garante maior eficiência, estabilidade e confiabilidade em toda a cadeia produtiva, e cada especificidade vai depender para qual tipo de cliente o produto será destinado.

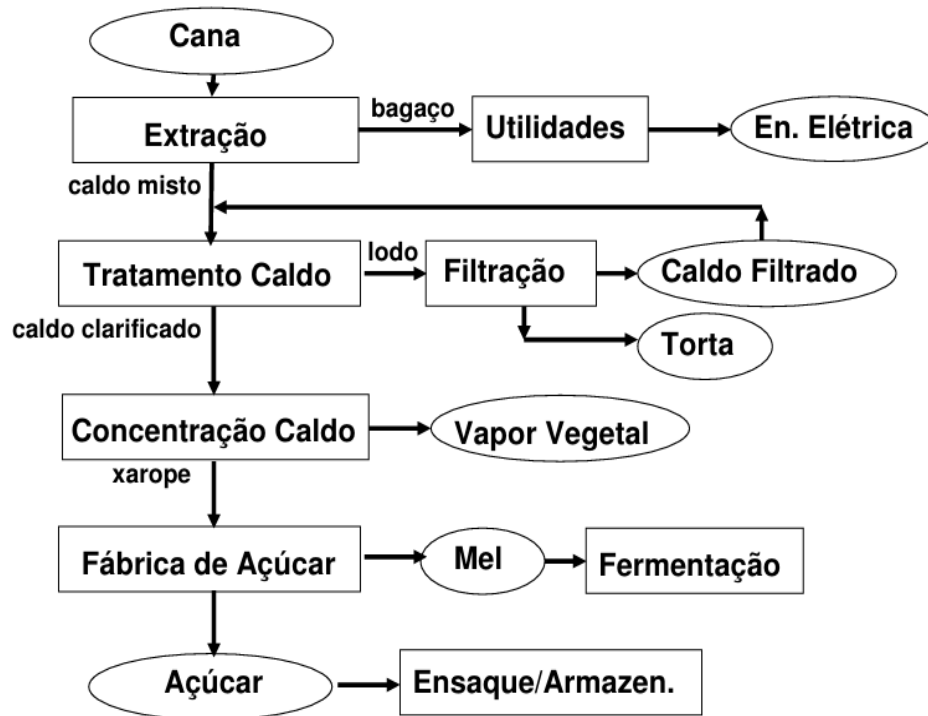
4 ETAPAS DO PROCESSO QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DO AÇÚCAR CRISTAL

O processo produtivo do açúcar envolve uma série de etapas interdependentes (Figura 7), nas quais cada variável operacional pode afetar diretamente os parâmetros físico-químicos avaliados no controle de qualidade. Dessa forma, compreender essas etapas e suas relações é essencial para otimizar o rendimento industrial e garantir a qualidade do açúcar cristal.

A cana-de-açúcar, matéria-prima essencial para o setor sucroenergético, é colhida majoritariamente por processos mecanizados nas regiões centro-sul, centro-oeste, sudeste, reduzindo o uso da queima e tornando a cadeia produtiva mais eficiente (CONAB,2023), já na região nordeste o uso da colheita continua sendo manualmente. A colheita mecanizada permite maior volume diário de processamento,

porém exige que a cana chegue rapidamente à usina para evitar perdas de sacarose por degradação enzimática e microbiológica (FAPESP, 2022).

Figura 7 – Processo de produção do açúcar cristal.



Fonte: UFSCAR (2025)

A qualidade da cana-de-açúcar é um fator determinante para a eficiência industrial e para a produção de açúcar cristal nos padrões físico-químicos exigidos pelo mercado. Matérias-primas com alta pureza, elevado teor de sacarose, baixos níveis de fibras e reduzida presença de impurezas minerais e vegetais favorecem maior rendimento na extração do caldo, minimizam perdas no processo e reduzem a formação de compostos indesejáveis, como açúcares redutores e pigmentos que elevam a cor ICUMSA. Estudos como os de Mitra, Kumar e Sanyal (2009) demonstram que a composição da cana influencia diretamente a clarificação, a filtração e a cristalização, etapas essenciais para obtenção de cristais uniformes, transparentes e de alta pureza.

Nas usinas, o processamento da cana segue uma sequência de etapas tecnológicas fundamentais. Inicialmente, a matéria-prima passa pela lavagem e preparo, onde é fragmentada para otimizar a extração. Em seguida, o caldo é obtido por moendas ou difusores, tecnologia que vem sendo aperfeiçoada para aumentar o rendimento industrial e reduzir o consumo energético (Aguiar, Macri, 2022). O caldo

extraído passa por processos de clarificação e tratamento químico, incluindo adição de cal e aquecimento controlado, responsáveis por remover impurezas coloidais e estabilizar o pH (Barbosa, Silva, Oliveira, 2022). Após a clarificação, o caldo limpo segue para a evaporação, etapa no qual a água é retirada em múltiplos efeitos, concentrando-se o xarope (Barbosa, Silva, Oliveira, 2022).

A etapa final envolve a cristalização, realizada em tachos a vácuo, nos quais o xarope supersaturado dá origem aos cristais de sacarose. Esses cristais são então separados do mel residual por centrifugação e seguem para secagem, peneiramento e armazenagem, resultando em açúcares de diferentes granulometrias e purezas (Barbosa, Silva, Oliveira, 2022). Estudos recentes de análise de ciclo de vida demonstram que a modernização de cada uma dessas etapas, desde a extração até os sistemas de evaporação e cristalização tem reduzido impactos ambientais e ampliado a eficiência energética do setor (Rodrigues, Machado, 2024).

Dentre as etapas citadas anteriormente, a primeira etapa crítica é o tratamento do caldo, que inclui correção de pH, adição de coagulantes, aquecimento e clarificação. Em seus estudos Aguiar e Macri (2022) destacam que essa fase é determinante para a remoção de sólidos suspensos, pigmentos, compostos coloidais e impurezas minerais, todos responsáveis pela elevação da cor ICUMSA e pela redução da pureza aparente.

Os métodos de clarificação mais comuns são: sulfitação, fosfatação e carbonatação, cada um com diferentes eficiências e características. A sulfitação, por exemplo, utiliza dióxido de enxofre para descolorir compostos orgânicos, enquanto a fosfatação emprega fosfato tricálcico para precipitar impurezas. Já a carbonatação, amplamente usada em refinarias, produz açúcares de elevada pureza e baixa cor.

Durante a etapa de evaporação, na qual o caldo é concentrado até a supersaturação para viabilizar a cristalização, o controle da temperatura é um parâmetro crítico. Temperaturas excessivas promovem a degradação térmica da sacarose levando à formação de açúcares redutores, esses compostos, por sua vez, atuam como precursores em reações de caramelização, intensificando a cor do produto (Solomon 2016).

A cristalização é considerada a etapa central do processo, ao determinar a forma, o tamanho e a uniformidade dos cristais. Impurezas residuais podem atuar como núcleos heterogêneos, gerando cristais irregulares e suscetíveis ao aprisionamento de cor e de compostos orgânicos. A literatura destaca que cristais

heterogêneos apresentam maior área superficial e, conseqüentemente, maior tendência à higroscopicidade (Rein, 2012). O controle preciso da supersaturação, das taxas de nucleação e do crescimento cristalino é fundamental para obter um açúcar uniforme e de alta qualidade.

Posteriormente, as etapas de centrifugação e secagem removem o mel remanescente e reduzem a umidade. Falhas na secagem podem elevar o teor de umidade e favorecer o empedramento. A temperatura do ar de secagem e o tempo de exposição precisam ser adequados para evitar tanto o excesso quanto a insuficiência de remoção da água.

Por fim, o armazenamento exerce papel decisivo na estabilidade do produto, ambientes com alta umidade relativa estimulam a recristalização superficial dos grãos e aumentam o risco de compactação. Em seus estudos, Barbosa *et al.* (2017) enfatizam que condições inadequadas de estocagem podem comprometer a cor e a fluidez, mesmo quando o açúcar deixa a fábrica nos padrões exigidos.

Assim, cada etapa do processo produtivo representa um ponto crítico no qual a qualidade pode ser preservada, reforçando a importância de um monitoramento contínuo e integrado.

5 IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade do açúcar cristal é essencial para assegurar a conformidade com normas técnicas, garantir a segurança dos consumidores e manter a competitividade da indústria sucroalcooleira. Ele abrange análises químicas, físico-químicas e instrumentais, que servem como indicadores do desempenho das etapas de clarificação, evaporação e cristalização (MAPA, 2018).

Segundo Oliveira (2007), o controle de qualidade funciona como ferramenta estratégica para decisões operacionais, permitindo ajustes imediatos no processo produtivo. Quando integrado a sistemas de automação e sensores online, esse controle torna-se ainda mais eficiente, garantindo monitoramento contínuo e resposta rápida a desvios.

Além disso, a rastreabilidade do lote ganha cada vez mais importância, especialmente em exportações. Usinas devem registrar parâmetros físico-químicos, origem da matéria-prima, condições de processamento e análises de liberação do produto, essa rastreabilidade assegura transparência e confiabilidade, atendendo às exigências de mercados internacionais.

Outro ponto relevante diz respeito à calibração e manutenção de instrumentos analíticos, que garante precisão e confiabilidade aos resultados obtidos, por isso que laboratórios industriais que não mantêm rotina de calibração podem apresentar erros sistemáticos, levando a decisões equivocadas no processo produtivo. Nos últimos anos, o avanço de tecnologias como espectroscopia, NIR, modelagem quimiométrica, análise de imagens e inteligência artificial transformou o controle de qualidade.

Segundo Otsuka *et al.* (2023) demonstram em seus estudos que essas ferramentas permitem análises rápidas, não destrutivas e de alta precisão, reduzindo o tempo de resposta e favorecendo a automação, assim, o controle de qualidade não deve ser visto como etapa isolada, mas como um sistema integrado que garante eficiência operacional, estabilidade do produto e competitividade no mercado global.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle de qualidade do açúcar cristal demonstrou ser um elemento indispensável para garantir a pureza, a estabilidade e a conformidade do produto com os padrões exigidos pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e pelo mercado internacional. A análise integrada dos parâmetros físico-químicos, como cor, ICUMSA, polarização, umidade, cinzas, condutividade elétrica, açúcares redutores, sulfito, teor de enxofre e dextrana evidencia que esses indicadores refletem diretamente as condições operacionais do processo produtivo.

Os resultados discutidos neste estudo evidenciam que a eficiência das etapas de clarificação, evaporação e cristalização exerce influência decisiva sobre a qualidade final do açúcar. Qualquer falha nessas fases pode comprometer a pureza aparente, intensificar o escurecimento e reduzir a estabilidade físico-química do produto. Assim, o processo produtivo deve ser compreendido como um sistema contínuo e interdependente, no qual ajustes precisos são essenciais para reduzir perdas e assegurar padrões elevados.

As metodologias analíticas padronizadas pela ICUMSA, amplamente adotadas na indústria sucroalcooleira, se destacam como ferramentas fundamentais para a identificação rápida de não conformidades e para a tomada de decisões operacionais. O avanço de tecnologias modernas, como espectroscopia, NIR, sensores online e sistemas de automação, fortalece ainda mais a capacidade de monitoramento em tempo real, ampliando a precisão das análises e a competitividade do setor.

Dessa forma, conclui-se que o controle de qualidade do açúcar cristal não deve ser compreendido como uma etapa isolada, mas como um componente estratégico da gestão industrial. A integração entre análises laboratoriais rigorosas, boas práticas operacionais e tecnologias avançadas garante a produção de um açúcar que atende aos padrões internacionais, reforça a competitividade da indústria brasileira e contribui para a melhoria contínua da cadeia sucroalcooleira. Recomenda-se, ainda, o aprofundamento de estudos voltados à automação analítica e ao uso de ferramentas de inteligência artificial, visando processos cada vez mais precisos, sustentáveis e eficientes.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. A.; MACRI, P. R. Qualidade do caldo de cana-de-açúcar e implicações no processo de fabricação de açúcar. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. 1–10, 2022.
- ALVES, R. S.; ESCARELA, V. A. C.; SANTOS, P. R. A.; BARBOZA, T. O. C.; CHIODEROLI, C. A. Controle estatístico de qualidade aplicado à quantificação das perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da rotação do extrator primário **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-009-0057-x>. Acesso em: 28 de set. 2025.
- BARBOSA, M. H. P.; SILVA, F. L.; OLIVEIRA, R. A. Qualidade do açúcar cristal: parâmetros físico-químicos e influência das etapas do processamento. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 36, n. 4, p. 24–32, 2017.
- CAMPOS, A. T.; LUNA, S.; QUINTELLA, C. Prospecção tecnológica sobre o impacto ambiental causado pela concentração irregular do teor de enxofre em diesel no Brasil. *Cadernos de Prospecção*, v. 11, 2018. DOI: 10.9771/cp.v11i2.23217
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 4º Levantamento – Safra 2024/25: tabela de dados – produção de cana-de-açúcar e subprodutos. Brasília: **Conab**, 17 abr. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/4o-levantamento-safra-2024-25/tabela-de-dados-producao-de-cana-de-acucar-e-subprodutos>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v.12, safra 2024/25, n.4 – 4º Levantamento. Brasília: **Conab**, abril 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/4o-levantamento-safra-2024-25/boletim-cana-de-acucar-4o-levantamento-2024-25>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar. Brasília: **Conab**, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>.
- EGGLESTON, G. Chemical and physical properties of sugarcane and sugarbeet juices and their influence on sucrose crystallization. **International Sugar Journal**, v. 111, n. 1326, p. 1–14, 2009.
- Filho, L. L., Oliveira, G. A. de, Marques, L. G., Medrano, M. del C. F., Santos Junior, J. A. dos, Araújo, L. A. de, Alves, J. da S., & Araujo, R. B. de. (2024). Panorama do setor sucroalcooleiro brasileiro: da produção ao processamento dos resíduos associados a cadeia de cana-de-açúcar. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, 22(6), e5076. <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-050>
- ICUMSA – International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. ICUMSA Methods Book. London: **ICUMSA**, 2011.
- LIONETTO, M. G.; MAIORANO, E.; LUCERI, R. Effects of sucrose purity on industrial crystallization processes. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 241–248, 2012.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 47, de 20 de setembro de 2018. Aprova o Regulamento Técnico do Açúcar. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 set. 2018.

MITRA, S. K.; KUMAR, V.; SANYAL, P. Measuring technological aspects of sugarcane treatment. **Sugar Tech**, v. 11, p. 226–230, 2009. Disponível em: cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103083604. Acesso em: 28 de set. 2025.

MORAES, M. A. F. D.; ZILBERMAN, D. Production of sugarcane and ethanol in Brazil: technological and economic outlook. **Energy Policy**, v. 68, p. 461–470, 2014.

MORILLA, C. H. G.; ALVES, L. R. A.; AGUIAR, C. L. Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar por sulfitação: barreiras comerciais e impactos econômicos. **A Economia em Revista**, v. 24, n. 1, p. 1–11, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003092531>. Acesso em: dia mês ano.

OTSUKA, M.; HAYASHI, Y.; MIYAZAKI, K.; MIZU, M.; OKUNO, M.; SASAKI, T. Quality evaluation of white sugar crystals using the friability test and their non-destructive prediction using near-infrared spectroscopy. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 82, 2023, p. 104390. DOI: 10.1016/j.jddst.2023.104390.

OLIVEIRA, E. A. Parâmetros de qualidade do açúcar e sua influência na comercialização internacional. **Stab – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 25, n. 3, p. 18–27, 2007.

PAULINO, Oscar F. T. *Produção de Açúcar: material de apoio* — Curso de Pós-Graduação Gestão do Setor Sucroalcooleiro, Centro de Ciências Agrárias, USP, s/d. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/Producao-de-Acucar-materialdeapoio.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2025.

RODRIGUES, T. G.; MACHADO, R. L. Life Cycle Assessment of the Sugarcane Supply Chain in the Brazilian Midwest Region. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 285, 2024. DOI: 10.3390/su16010285.

RODRIGUES, M. G.F. **Dextranas em açúcares e aguardentes**: sua determinação e participação na formação de flocos. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-24102025-172431/pt-br.php>. Acesso em: 02 dez. 2025.

REIN, P. Cane Sugar Engineering. Berlin: **Bartens**, 2012.

SARTORI, J. A. de S.; MAGRI, N. T. C.; AGUIAR, C. L. de. Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por peróxido de hidrogênio: efeito da presença de dextrana. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 299–306, 2015.

SOLOMON, S. Post-harvest deterioration of sugarcane. **Food Chemistry**, v. 199, p. 12–19, 2016.

SP Labor. Como funciona um determinador de umidade? Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/balanca-determinadora-de-umidade-2/como-funciona-um-determinador-de-umidade-moc-63-shimadzu/>. Acesso em: 06 dez. 2025.