



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

JONAS LEITE CAVALCANTE NETO

**Desenvolvimento de Cerveja Artesanal de Seriguela (*Spondias purpurea* L.)
Utilizando Leveduras Seleccionadas pelo Processo Criogênico**

Campina Grande - PB

2024

Jonas Leite Cavalcante Neto

**Desenvolvimento de Cerveja Artesanal de Seriguela (*Spondias purpurea* L.)
Utilizando Leveduras Seleccionadas pelo Processo Criogênico**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador(es):

Prof. Dr Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof. Dra. Severina de Sousa

C377d

Cavalcante Neto, Jonas Leite.

Desenvolvimento de cerveja artesanal de seriguela (*Spondias purpurea* L.) utilizando leveduras selecionadas pelo processo criogênico / Jonas Leite Cavalcante Neto. – 2026.

76 f. : il. color.

Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

“Orientação: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, Profa. Dra. Severina de Sousa”.

Referências.

1. Cerveja Artesanal. 2. Fermentação Alcoólica. 3. Processo Criogênico. 4. Leveduras Cervejeiras. 5. Produção Artesanal. I. Mata, Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti. II. Sousa, Severina de. III. Título.

Jonas Leite Cavalcante Neto

**Desenvolvimento de Cerveja Artesanal de Seriguela (*Spondias purpurea* L.)
Utilizando Leveduras Seleccionadas pelo Processo Criogênico.**

TESE

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

MÁRIO EDUARDO R.M. CAVALCANTI MATA
Orientador (UEALI) – UFCG

SEVERINA DE SOUSA
OrientadorA (UEALI) – UFCG

Renata Duarte
Examinador Externo – UFCG

Manoel Tolentino Leite Filho
Examinador Externo – UFCG

Campina Grande – PB

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar expressando minha profunda gratidão a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada. Sem sua orientação e bênçãos, não seria possível superar os desafios e alcançar os objetivos traçados. A Ele, dedico este trabalho com o coração cheio de gratidão, pois sua presença foi fundamental em cada etapa deste processo.

Agradeço profundamente aos meus orientadores, Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata e Dr. Severina de Sousa, por suas paciências, dedicações e valiosas orientações ao longo desta jornada acadêmica. Suas expertises e confianças no meu potencial foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo, e serei eternamente grato pela generosidade e pelos ensinamentos que recebi ao longo do caminho.

Agradeço também à minha família, especialmente aos meus pais, Henrique José Marinho Leite e Luzia de Holanda Marinho, pelo apoio incondicional em todos os momentos. Vocês sempre me incentivaram a seguir meus sonhos e nunca mediram esforços para me oferecer as melhores condições para que eu pudesse me dedicar aos estudos. À minha namorada, Yara Cristina, por sua paciência, carinho e por estar ao meu lado em todos os momentos, minha mais sincera gratidão.

Gostaria também de agradecer aos meus colegas de laboratório, Manoel Tolentino, Alexandre Lúcio e Manoel Pessoa, por toda a colaboração, apoio e pelas discussões construtivas que tornaram esta jornada mais enriquecedora e produtiva. A amizade e o companheirismo de vocês fizeram toda a diferença no desenvolvimento deste trabalho, e sou profundamente grato por compartilhar essa experiência com cada um de vocês.

Por fim, sou imensamente grato aos professores do programa de mestrado e a todos que, de alguma forma, contribuíram para este projeto. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo, e sem a colaboração e o incentivo de cada um, não seria possível concretizá-lo.

Sumário

LISTA DE FIGURA.....	8
LISTA DE TABELA.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Historico	15
2.2 Legislação.....	15
2.3 Materia prima para produção de cerveja	15
2.4 Água.....	15
2.5 Malte.....	16
2.6 Lupulo.....	17
2.7 Fermento.....	17
2.8 Cerveja artesanal	19
2.9 Consumo.....	19
2.10 Spondias.....	22
2.11 Metodologia de seleção e isolamento de leveduras.....	23
2.12 Tratamento de congelamento-descongelamento e triagem de leveduras resistentes ao estresse.....	24
2.13 Meio sintético	24
2.14 Etapas da produção de cerveja	24
3 OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVO GERAL.....	27
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	27
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 MATERIAS-PRIMAS	28
4.2 METODOS	28

4.2.1 Colheita e despulpamento.....	28
4.2.2 Avaliação da cor das polpas.....	29
4.2.3 Caracterização química e físico-química das polpas.....	29
4.2.4 Preparo do mosto.....	30
4.2.5 Preparo e adição da polpa.....	31
4.2.6 Desenvolvimento e obtenção da levedura selecionada.....	32
4.2.7 Fermentação	32
4.2.8 Cinética de fermentação	34
4.2.9 Cálculo de produtividade, rendimento do produto e percentual conversão.	34
Produtividade (g l ⁻¹ h ⁻¹)	34
Percentual de conversão (%)	34
Rendimento do produto	34
4.2.10 Maturação da cerveja	35
4.2.11 Carbonatação, envase e armazenamento	35
4.2.12 Coloração das cervejas.....	35
4.2.13 Análise físico-químicas da cervejas	36
4.2.14 Análises dos compostos bioativos.....	36
4.2.15 Análise estatística.....	36
5. RESULTADOS E DISCURSOES	38
5.1 Análise dos parâmetros físico-químicos da polpa de seriguela.....	38
5.1.2 Cinética de fermentação	40
5.1.3 Parâmetros fermentativos	47
5.1.4 Análise físico-química das cervejas	49
5.1.5. Análise dos compostos bioativos das Cervejas	54
5.1.6. Diagrama de Pareto.....	58
5.1.7. Diagrama de Pareto compostos bioativos	61
5.1.8. Grafico de dispersão compostos fisico-quimicos.....	62

5.1.9. Grafico de dispersão compostos bioativos	65
5.1.10. Grafico de valores observados x preditos para compostos fisico-quimicos.....	67
5.1.11. Grafico de valores observados x preditos para compostos bioativos.....	69
6 CONCLUSÃO	70
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
II CONCLUSÃO GERAL	78

LISTA DE FIGURA

Figura 1-Malte em graos.....	17
Figura 2- Fluxograma básico do processo produção de cerveja	25
Figura 3- Fluxograma de despulpamento	28
Figura 4- Seriguela.....	29
Figura 5- Rampa de brasagem	30
Figura 6- Fermentadores de bancada.....	33
Figura 7- Variação da Acidez Titulável em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica.....	41
Figura 8- Variação do pH em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica	42
Figura 9- Variação do Brix em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica	43
Figura 10- Variação do teor alcoolico em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica.....	44
Figura 11- Variação dos Açucares Redutores em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica.....	45
Figura 12- Variação dos Açucares Totais em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica.....	46
Figura 13- Aspecto visual das cervejas produzidas nas condições (A) pré-tratamento criogênico e (B) pós-tratamento criogênico, nas diferentes amostras (V1 a V9)	51
Figura 14- Superfície de resposta das análises fisico-quimicas das cervejas pre tratamento criogênico.....	52
Figura 15- Superfície de resposta das análises fisico-quimicas das cervejas pós tratamento criogênico.....	53
Figura 16- Superfície de resposta compostos bioativos pre tratamento criogenico.....	56
Figura 17-Superfície de resposta compostos bioativos pos tratamento criogenico	57
Figura 18-Diagrama de Pareto análises fisico-quimicas pre seleção	58
Figura 19-Diagrama de Pareto análises fisico-quimicas pos seleção.....	59
Figura 20-Diagrama de Pareto análises compostos bioativos pre seleção	61
Figura 21-Diagrama de Pareto análises compostos bioativos pos seleção.....	61
Figura 22-Grafico de dispersão levedura pre seleção	63
Figura 23- Grafico de dispersão levedura pos seleção.....	64

Figura 24-Grafico de dispersão levedura pre seleção	65
Figura 25-Grafico de dispersão levedura pos seleção.....	66
Figura 26-Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para levedura pre seleção.....	67
Figura 27-Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para levedura pos seleção.....	68
Figura 28-Valores experimentais versus valores previstos (bioativos) pelo modelo para levedura pre seleção.....	69
Figura 29-Valores experimentais versus valores previstos (bioativos) pelo modelo para levedura pós seleção.	70

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Principais países produtores de cerveja entre os anos de 2012 e 2013 (em milhões de HI).....	21
Tabela 2- Níveis reais e codificados para as variáveis independentes do planejamento fatorial completo 3^2 incluindo os pontos centrais.	37
Tabela 3- Matriz de planejamento fatorial completo 3^2	37
Tabela 4- Rendimento total da polpa de seriguela.....	38
Tabela 5- Caracterização físico-química da polpa de seriguela.....	38
Tabela 6- Determinação da cor da polpa de seriguela.....	40
Tabela 7- Parâmetros Fermentativos Utilizando Leveduras Pré-selecionadas.....	47
Tabela 8- Parâmetros Fermentativos Utilizando Leveduras Pós-selecionadas.....	47
Tabela 9-Análise físico-química das cervejas de Seriguela utilizando levedura pré-seleção.....	49
Tabela 10- Análise físico-química das cervejas de Seriguela utilizando levedura pós-seleção.....	49
Tabela 11- Análise dos compostos bioativos das cervejas utilizando levedura pré-seleção.....	54
Tabela 12- Análise dos compostos bioativos das cervejas utilizando levedura pós-seleção.....	55

Desenvolvimento de Cerveja Artesanal de Seriguela (*Spondias purpurea* L.) Utilizando Leveduras Seleccionadas pelo Processo Criogênico.

RESUMO

A produção de cervejas artesanais está em crescimento, especialmente devido à demanda por produtos de alta qualidade e sabores diferenciados. Este estudo investiga a produção de cerveja artesanal de seriguela (*Spondias purpurea* L.) utilizando leveduras seleccionadas por meio de um processo criogênico. A seriguela, uma fruta tropical rica em nutrientes, confere características únicas à bebida, com potencial para aumentar o valor funcional da cerveja. As leveduras, submetidas a ciclos de congelamento-descongelamento, mantêm suas propriedades genéticas e metabólicas, permitindo uma fermentação eficiente e controlada. Durante a produção, foram realizados experimentos controlados para otimizar parâmetros como temperatura, tempo de fermentação e teor de nutrientes no mosto. O foco principal foi o desenvolvimento de uma cerveja utilizando leveduras seleccionadas e a verificação da eficiência do processo fermentativo no produto final. A incorporação de técnicas avançadas de seleção de leveduras e o uso de frutas regionais mostram o potencial de inovação no mercado cervejeiro. Espera-se que este trabalho contribua para a inovação na produção de cervejas artesanais, especialmente ao explorar frutas tropicais e processos avançados de seleção de leveduras, ampliando a diversidade e a qualidade no setor.

Palavras-chave: Fermentação alcoólica, Processo criogênico Leveduras cervejeiras
Produção artesanal

Development of Craft Beer from Seriguela (*Spondias purpurea* L.) Using Yeasts
Selected by the Cryogenic Process

ABSTRACT

The production of craft beers is growing, especially due to the demand for high-quality products with differentiated flavors. This study investigates the production of craft beer from seriguela (*Spondias purpurea* L.) using yeasts selected through a cryogenic process. Seriguela, a tropical fruit rich in nutrients, imparts unique characteristics to the beverage, with potential to enhance the functional value of the beer. The yeasts, subjected to freeze-thaw cycles, maintain their genetic and metabolic properties, allowing for efficient and controlled fermentation. During production, controlled experiments were conducted to optimize parameters such as temperature, fermentation time, and nutrient content in the wort. The main focus was on developing a beer using selected yeasts and verifying the efficiency of the fermentation process in the final product. The incorporation of advanced yeast selection techniques and the use of regional fruits demonstrate the potential for innovation in the brewing market. This work is expected to contribute to innovation in craft beer production, particularly by exploring tropical fruits and advanced yeast selection processes, expanding diversity and quality in the sector.

Keywords: Alcoholic fermentation, Cryogenic process, Brewing yeasts, Craft production.

1. INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais antigas e populares do mundo, apreciada em diversas culturas e países. Seu consumo tem uma longa história, remontando a milhares de anos, e continua a ser uma das bebidas mais consumidas globalmente. Com suas características únicas de sabor, aroma e variedade, a cerveja desempenha um papel importante na indústria de bebidas e na cultura social em muitas partes do mundo.

O consumo de cerveja tem uma presença significativa em diferentes culturas e regiões. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), o consumo global de cerveja tem aumentado consistentemente nas últimas décadas. Em 2019, estima-se que o consumo mundial de cerveja ultrapassou a marca de 190 bilhões de litros (OMS, 2019).

A cerveja artesanal tem ganhado destaque nas últimas décadas, com uma ênfase na qualidade, criatividade e inovação (Brewers Association, 2019). Além do seu apelo cultural e histórico, a cerveja também tem sido objeto de estudos científicos abrangentes. Pesquisas como as de Sáenz-Navajas et al. (2014) analisam os compostos voláteis que contribuem para os aromas complexos das cervejas, enquanto as investigações de Bamforth (2009) se aprofundam na química e na microbiologia do processo de fabricação. O estudo de qualidade e segurança da cerveja, incluindo a detecção de contaminantes e estabilidade, é uma área em constante evolução (Hough et al., 2009).

Na sua fabricação diversos componentes podem ser incrementados, além do malte de cevada, cereais tal como o milho, arroz, sorgo, trigo (FALTERMAIER et al., 2013; FILMORE, 2001; HOUGH, 1990; BRASIL, 2009; LIMURE E SATO, 2013), frutas como acerola e abacaxi (PINTO, 2015), jaboticaba (Imaizumi, Vitor Massami, 2019) e até a utilização de plantas amargas substituindo o lupulo carqueja, quina, alcachofra, pau tenente e guatambu (GUILHERME LORENCINI SCHUINA, 2018). Esses ingredientes podem contribuir para a redução dos custos de produção, além de proporcionar características físico-químicas e sensoriais distintas, devido à inclusão de componentes não convencionais. Dentro deste contexto, o uso de polpa de seriguela pode agregar valor à bebida, principalmente na obtenção de boas características sensoriais.

As frutas do gênero *Spondias* apresentam importância econômica significativa para o Nordeste do Brasil. Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil encontram-se inúmeras frutas nativas e exóticas pouco conhecidas e exploradas fora de suas áreas de produção, a exemplo da seriguela (*Spondias purpurea* L.), com potencial para o consumo fresco e também para o processamento. Estudos comprovam que a adição de outros ingredientes na fabricação de cerveja agrega compostos bioativos, aumentando o valor nutricional da bebida

(RAMPAZZO, 2014).

A seriguela, fruta característica das regiões tropicais, apresenta um perfil sensorial único e uma composição química rica em compostos bioativos, como antioxidantes e vitaminas. A utilização dessa fruta na produção de cerveja artesanal pode conferir características singulares à bebida, como aromas frutados e notas tropicais, proporcionando uma experiência sensorial diferenciada aos consumidores.

A seleção cuidadosa de leveduras é fundamental para o sucesso da fermentação da cerveja de seriguela. As leveduras desempenham um papel crucial na produção de cervejas, influenciando diretamente suas características sensoriais, como sabor, aroma e estabilidade. O processo criogênico de seleção de leveduras oferece uma abordagem eficiente para a preservação e seleção de cepas com características desejáveis.

Estudos têm demonstrado os benefícios da seleção de leveduras pelo processo criogênico na produção de cervejas artesanais. De acordo com Costa et al. (2020), o congelamento e a preservação de leveduras por meio desse processo permitem a manutenção das características genéticas e metabólicas das cepas, garantindo uma fermentação consistente e previsível. Além disso, Carvalho et al. (2018) relatam que o processo criogênico pode promover a seleção de leveduras com capacidade de produzir compostos aromáticos específicos, agregando complexidade e singularidade às cervejas produzidas.

Diante do exposto, o presente projeto teve como objetivo elaborar uma cerveja artesanal de seriguela a partir de leveduras selecionadas pelo processo criogênico, caracterizá-la quanto aos aspectos físico-químicos e quanto aos compostos bioativos sendo este um potencial promissor para a obtenção de cervejas com características sensoriais distintas e de alta qualidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTORICO

A cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo. Parte do malte de cevada poderá ser substituída por adjuntos cervejeiros, cujo emprego é limitado a uma quantidade máxima. Consideram-se adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira e os demais cereais aptos para o consumo humano, malteados ou não- malteados, bem como os amidos e açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2009).

2.2 LEGISLAÇÃO

Conforme o Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, publicado no Diário Oficial da União, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, estabelece-se a padronização, classificação, registro, inspeção e fiscalização da produção e comercialização de bebidas. A cerveja é definida como uma bebida obtida pela fermentação tranquila do mosto cervejeiro, proveniente do malte de cevada e água potável, pela ação de fermento, com a adição de lúpulo, conforme disposto na Seção III, Artigo 36, desse decreto (BRASIL, 2009). Adicionalmente, o uso de adjuntos cervejeiros também está regulamentado, sendo permitido até o limite de 45% em relação ao extrato primitivo. Os adjuntos cervejeiros compreendem a cevada cervejeira e outros cereais próprios para o consumo humano, maltados ou não, além de amidos e açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2009).

2.3 MATERIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA

A cerveja é uma bebida produzida a partir de água e malte de cevada, que pode ou não ser parcialmente interrompida por adjuntos, lúpulo, e é submetida ao processo de fermentação alcoólica, catalisada pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

2.4 ÁGUA

No processo de fabricação de cerveja a água é uma das principais matéria prima utilizada pois vai ser realizada nela todas as reações químicas e bioquímicas do processada cerveja. Do ponto de vista quantitativo é a principal matéria prima, visto que 92 a 95% do peso da cerveja é constituído de água (ALMEIDA e SILVA, 2005). Em termos qualitativos existem técnicas que permitem modificação da água, através da remoção ou adição de minerais (MORADO, 2009).

2.5 MALTE

O malte se origina da germinação do grão da cevada, uma planta da família das gramíneas nativa cultivada em regiões de climas temperados que apresenta alto teor de amido. Quando colocado sob condições ambientais controladas, o grão torna-se macio e fácil de quebrar. Assim o amido torna-se mais acessível, dando origem a enzimas que provocam modificações nas substâncias contidas no grão (SAMPA BEER, 2013).

Venturini Filho (2000) cita que o principal cereal utilizado na maltagem é a cevada, gramínea da espécie *Hordeum vulgare*. L. Alguns países usam o sorgo, milho e trigo entre outros para produzirem maltes desses cereais (HOUGH et al, 1971). Qualquer tipo de cereal pode ser utilizado para malteação, mas a nomenclatura por cereais deverá conter “malte de”. Exemplo: Malte de milho, malte de trigo, malte de sorgo, entre outros. Apenas a cevada maltada recebe o nome de malte propriamente dito (ARTEBREW, 2013).

A utilização do malte para o processo de obtenção da bebida deve-se pelo seu alto poder diastásico, ou seja, sua alta atividade enzimática, mais precisamente, a atividade da invertase do grão. As principais enzimas presentes no malte são α -amilase, β -amilase, maltase e protease. Essas enzimas, ativadas durante o processo de germinação do grão, são importantes para a transformação do amido, presente no próprio malte e originalmente na cevada, em açúcares, os quais serão consumidos pelas leveduras durante o processo de fermentação com consequente produção de álcool (OETTERER et al., 2006).

O malte apresenta variações em tamanho e coloração, influenciando diretamente as características sensoriais da cerveja, como cor, aroma e sabor. Hasdwick (1995) sugere que o malte ideal para a produção de cerveja do estilo Pilsen deve ter um peso de grãos em torno de 35,1 g, em base seca. De acordo com Reinold (1995), o malte deve possuir umidade entre 4% e 5%, extrato de no mínimo 80%, poder diastático de pelo menos 350 WK (Windisch-Kolbach), pH entre 5,5 e 6,0, e uma cor após a fervura de 6,0 a 7,5 EBC (European Brewery Convention). Além disso, a proteína total não deve exceder 11,5% e o nitrogênio solúvel deve estar na faixa de 610 a 800 mg por 100 g. O malte também deve fornecer cascas que atuam como auxiliares na filtração, facilitando a clarificação do mosto cervejeiro (Venturini Filho, 1993). Na Figura 1, apresenta-se o aspecto visual do malte em grão sem moer

Figura 1-Malte em graos



Fonte: Spiess (2015)

2.6 LUPULO

O lúpulo é uma trepadeira perene originária de climas temperados. Na fabricação da cerveja são usadas apenas as flores fêmeas. Suas resinas e óleos essenciais conferem à bebida o sabor amargo e o aroma característico (SOCIEDADE DA CERVEJA, 2012). É considerado na atualidade, em nível mundial, como um ingrediente indispensável para a produção da cerveja (DRAGONE e SILVA, 2010).

É responsável diretamente pelo aroma e amargor do produto final, sendo estes fatores obtidos devido à adição das flores femininas ou frutos delas decorrentes, que são ricas em glândulas amarelas contendo lupulina. Além de aroma e amargor, o lúpulo apresenta ação anticéptica, pois os ácidos isoalfa são bacteriostáticos; contribui também para a estabilidade do sabor e da espuma da cerveja (VENTURINI FILHO & CEREDA, 2001).

O lúpulo pode ser comercializado na forma de flores secas, em pellets e como extrato, sendo os dois últimos mais concentrados e facilmente armazenados e manipulados. Apresenta ação antisséptica, em função dos ácidos iso- α formados durante a fervura do mosto, bacteriostáticos (VENTURINI FILHO, 2000). Conforme Hutkins (2006), o teor de amargor contribuído pelo lúpulo é expresso em termos de Unidade Internacional de Amargor (IBU). Um IBU equivale aproximadamente 1mg de ácidos iso- α por litro de cerveja.

2.7 FERMENTO

A levedura, ou fermento; é um microrganismo eucarionte, unicelular, desprovido de clorofila e pertencente ao Reino Fungi, que se reproduz geralmente por gemulação ou brotamento (SHWAN, CASTRO, 2001).

Ao longo dos anos, a classificação taxonômica e os nomes das leveduras de cerveja passaram por várias revisões. A levedura de cerveja pertence ao grupo *Saccharomyces cerevisiae*; no entanto, as cepas variam consideravelmente entre laboratórios e em relação às

espécies não cervejeiras, devido à seleção ao longo do tempo e às condições específicas das cervejarias (Gallone et al., 2020).

Pesquisas recentes indicam que as leveduras de cerveja foram domesticadas através de séculos de crescimento em ambientes de fermentação criados pelo homem. A forte pressão seletiva ao longo de muitas gerações levou ao surgimento de fenótipos desejáveis, mas também afetou drasticamente a estrutura genômica e a estabilidade do genoma dos domesticados (Gallone et al., 2020).

De acordo com Harrison & Schaechter (2009), as leveduras cervejeiras podem se classificar em leveduras de alta e de baixa fermentação. As cepas "Ale" de *S. cerevisiae* são capazes de fermentar glicose, sacarose, frutose, maltose, galactose, rafinose, maltotriose e ocasionalmente trealose. Cepas "large" são distinguíveis por serem capazes de também fermentar o dissacarídeo melibiose. *S. cerevisiae* var. *diastaticus* pode utilizar dextrinas.

A sacarose é utilizada primeiro e a hidrólise resultante causa um aumento transitório na concentração de frutose. Frutose e glicose são usadas quase que simultaneamente, desaparecendo do mosto em torno de 24 horas. Após a complementação da assimilação de glicose, inicia-se o consumo de maltose, o açúcar em maior quantidade no mosto. Maltotriose é utilizada em seguida à assimilação de toda a maltose. Polissacarídeos superiores, como as dextrinas, não são utilizados pelas leveduras cervejeiras, mas contribuem para o sabor e o corpo da cerveja.

A conversão da matéria-prima em álcool é realizada por microrganismos, geralmente leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, através do processo de fermentação alcoólica. Para que a fermentação ocorra de forma eficiente e dentro das especificações técnicas adequadas, é essencial adicionar ao mosto uma quantidade adequada de leveduras, capaz de converter os açúcares em álcool e gás carbônico. Sob condições controladas, as leveduras metabolizam os açúcares fermentáveis, produzindo álcool, gás carbônico, energia na forma de ATP e calor (Yokoya, 1995; Boza; Horii, 2000).

Quando ocorre o processo de fermentação, estão sendo consumidos os açúcares fermentescíveis, como a maltose, a glicose, a frutose, a galactose, a manose e a maltotriose, sendo o etanol o principal produto formado da degradação desses açúcares (MORADO, 2009). Conforme Eblinger e Naziber (2012), durante a fermentação o pH decresce pelo menos em uma unidade devido aos ácidos orgânicos produzidos. O pH da cerveja deve variar entre 4,3 a 4,6.

O uso de leveduras não convencionais pela indústria cervejeira vem crescendo a cada ano. A busca por características de aromas e sabor proporcionados durante a fermentação pelas leveduras não convencionais torna a cerveja mais interessante e mais valorizada.

2.8 CERVEJA ARTESANAL

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais antigas e amplamente consumidas em todo o mundo, produzida por meio da fermentação alcoólica por leveduras, que convertem os açúcares presentes no mosto de malte em álcool etílico e dióxido de carbono (Miller et al., 2020).

É uma bebida complexa, composta por diversos constituintes derivados principalmente de matérias-primas como água, fermento, malte e lúpulo (Clark et al., 2019). A escolha do malte desempenha um papel crucial na determinação das características sensoriais da cerveja, como aroma, cor e sabor (Jones et al., 2021).

No passado, as cervejas eram únicas devido à produção em pequena escala e à falta de controle sobre ingredientes e processos. No entanto, a pasteurização e os avanços da Revolução Industrial permitiram a produção em massa com alta qualidade e baixa variabilidade (Garcia et al., 2018).

As cervejas podem ser classificadas em dois tipos principais: as produzidas por fermentação baixa e as por fermentação alta (Smith et al., 2020). Os fenóis presentes na cerveja, provenientes do malte e do lúpulo, contribuem para suas características sensoriais e possuem propriedades antioxidantes (Brown et al., 2019).

A introdução de frutas na fabricação de cerveja é uma prática relativamente recente, permitida após contornar a Lei da Pureza alemã. Isso resultou em uma variedade de novos sabores e no aumento do teor de compostos bioativos (Thomas et al., 2021).

Embora o mercado global seja dominado por cervejas produzidas em massa, as cervejas artesanais têm ganhado destaque nos últimos anos (Roberts et al., 2020). No entanto, a definição de "cerveja artesanal" ainda carece de uniformidade, o que permitiu que grandes empresas capitalizassem o segmento lançando produtos de estilo artesanal ou adquirindo cervejarias menores (Johnson et al., 2018).

O envelhecimento de cervejas em barris de carvalho é uma prática comum que melhora suas propriedades organolépticas e estabilidade. Além disso, os barris retêm compostos das bebidas, contribuindo para suas características distintas (Taylor et al., 2021).

2.9 CONSUMO

A cerveja é uma bebida tradicional, natural e mundial, com baixo teor calórico e sem gordura, composta por ácidos e vitaminas orgânicas provenientes do malte, proteínas, lúpulo (que possui propriedades sedativas leves e estimulantes do apetite) e água. Em comparação com outras bebidas alcoólicas, a cerveja possui um valor nutricional mais elevado devido à presença de minerais e nutrientes essenciais, como potássio, magnésio, cálcio e sódio. Além disso, o uso de cereais e malte na produção de cerveja pode contribuir para a ingestão de compostos antioxidantes naturais, como os polifenóis (DOS SANTOS et al., 2021).

Pesquisas indicam que atributos como aroma, carbonatação e formação de espuma são importantes para distinguir a percepção dos consumidores em relação às marcas mais populares de cerveja (MARTINS et al., 2020). A cerveja artesanal, em particular, tem sido escolhida por sua variedade de sabores, como cervejas maltadas de cevada, castanha e mel, o que aumenta a probabilidade de ser de qualidade superior às cervejas comerciais (ARAÚJO et al., 2020).

O mercado mundial de cerveja é extremamente competitivo e tem se tornado ainda mais nos últimos anos. Na Europa, América do Norte e Japão, houve uma queda nas vendas de cerveja, parcialmente associada à expansão da cerveja do tipo lager nesses mercados (GARCIA et al., 2019). Esses mercados também estão pressionando por cervejas de alta qualidade e consistência a custos menores, levando os fabricantes a substituir o malte por adjuntos mais baratos (SILVA et al., 2021).

A pesquisa de consumidor tem sido valorizada no mercado de cerveja, fornecendo insights além do sabor e oferecendo um entendimento mais profundo das experiências dos consumidores com os produtos (PEREIRA et al., 2018). Isso tem sido especialmente relevante diante da tendência crescente de consumo de cervejas especiais ou artesanais em diversos países, como México, Estados Unidos da América e Nova Zelândia (LOPES et al., 2020).

Estudos têm analisado as características da cerveja com base nas preferências dos consumidores, buscando identificar atributos que definem uma cerveja como única em termos de combinação de aspectos sensoriais, cognitivos e emocionais (FERREIRA et al., 2019). Esses estudos têm contribuído para o desenvolvimento de medidas baseadas no consumidor, auxiliando na caracterização das cervejas em diferentes contextos (RODRIGUES et al., 2021).

Além disso, a análise dos hábitos, atitudes e motivações dos consumidores de cerveja, tanto artesanais quanto industriais, tem sido explorada em diversos estudos (COSTA et al., 2020). Essas pesquisas têm proporcionado insights importantes sobre as preferências e comportamentos dos consumidores, auxiliando as empresas na elaboração de estratégias de marketing mais eficazes (SILVA et al., 2019).

Atualmente, o Brasil se posiciona como o terceiro maior produtor de cerveja no cenário mundial, sendo superado apenas pela China e pelos Estados Unidos. Além disso, observa-se uma tendência de crescimento exponencial na produção global de cerveja, conforme evidenciado na Tabela 1 que demonstra um crescimento de 2,03% em território brasileiro.

Tabela 1- Principais países produtores de cerveja entre os anos de 2012 e 2013 (em milhões de Hl)

País	2012	2013
China	490.200	506.500
EUA	230.065	224.093
Brasil	132.800	135.500
Alemanha	94.618	94.365
Rússia	97.600	88.600
México	82.500	82.500
Japão	57.675	57.200
Reino Unido	42.962	42.420
Polônia	39.290	39.560
Espanha	33.031	32.700
África do Sul	31.500	31.500
Vietnã	29.800	31.300
Ucrânia	30.050	27.600
Nigéria	24.000	26.500
Holanda	24.272	24.000
Colômbia	22.550	23.300
Tailândia	23.700	23.100
Venezuela	21.470	22.420
Coreia do Sul	20.313	20.920
Índia	19.500	19.900
Mundo (total)	1.961.974	1.972.972

Fonte: Adaptado de Barth Haas Report.

Por fim, a tendência atual no consumo de cervejas especiais tem impulsionado a inovação e a criatividade no mercado cervejeiro, com a introdução de novos sabores, texturas e ingredientes alternativos nas cervejas (GOMES et al., 2021). Essa diversificação tem sido uma estratégia adotada por várias cervejarias comerciais para atrair consumidores mais exigentes e explorar novos nichos de mercado (SANTOS et al., 2020).

2.10 SPONDIAS

A região Nordeste do Brasil destaca-se como um grande produtor de frutos tropicais nativos e cultivados, devido às suas condições climáticas favoráveis (SILVA et al., 2017). O xtratativismo é uma prática comum na exploração das frutas de Spondia Seriguela, que apresentam grande potencial agroindustrial e são encontradas naturalmente nas regiões semiáridas, subúmidas e semiúmidas do Nordeste Brasileiro. Essas frutas, devido à sua boa aparência, alto teor de vitamina C e glicídios, além de aroma agradável e sabor agridoce, são bastante apreciadas tanto para consumo in natura quanto industrializado (AZEVEDO et al., 2012).

A Seriguela (*Spondia Seriguela* Arruda Câmara) é uma árvore frutífera nativa do nordeste do Brasil conhecida por sua adaptação à seca (SILVA et al., 2017). Seus frutos são ricos em vitamina C e sais minerais, sendo utilizados tanto na alimentação humana quanto na animal, desempenhando um papel importante para as populações rurais do Semiárido, especialmente durante os períodos de seca. Os frutos da Seriguela são comercializados por pequenos agricultores em diversas formas, como polpa, suco, refrescos, doces, sorvetes, licores, xaropes, compotas e barras de cereal (SANTOS et al., 2015; FERREIRA et al., 2018).

Os frutos da Seriguela têm formato elipsoidal, com tamanho variando de 3 a 5 cm de comprimento e 2 a 3 cm de diâmetro, e apresentam uma coloração amarela a avermelhada quando maduros. Sua polpa, quando madura, é doce e succulenta, com sabor agradável e levemente ácido (BARROS et al., 2011).

Estudos têm demonstrado que o suco de Seriguela possui propriedades antioxidantes e pode ser considerado como um alimento funcional (MARTINS et al., 2018). Devido à sua acidez, os frutos da Seriguela geralmente não são consumidos in natura. Para a industrialização, passam por processos de seleção, lavagem, despulpamento, refino, envasamento ou ensacamento, pasteurização (opcional) e congelamento. A Seriguela é amplamente utilizada na produção de sucos, néctares, sorvetes, geleias, vinhos e licores, especialmente na região nordeste do Brasil, onde a polpa de Seriguela é muito apreciada (NASCIMENTO et al., 2009).

Estudos sobre a composição nutricional da polpa de Seriguela revelaram altos níveis de potássio, magnésio, fósforo e cobre em comparação com outras frutas, bem como níveis elevados de compostos fenólicos, antioxidantes e carotenoides, conferindo-lhe um alto valor nutricional e funcional (ALMEIDA et al., 2011).

A demanda pelos frutos da Seriguela deve-se, principalmente, às suas excelentes características para a industrialização, aliadas ao seu aroma e sabor agradáveis. No entanto, a falta de plantios organizados resulta em uma comercialização principalmente em feiras livres durante a safra, para consumo in natura ou para a produção de polpas congeladas, sorvetes, sucos e geleias. Na região nordeste do Brasil, a safra da Seriguela ocorre principalmente de

agosto a outubro, com a comercialização dos frutos ao longo das rodovias (CARVALHO et al., 2011).

A Seriguela, por sua vez, é esférica, com até 5 cm de comprimento em sua maior dimensão e peso médio de 50 g. Sua pele é amarelo-dourada ou avermelhada, e sua polpa, quando madura, é suculenta e levemente ácida. A fruta é consumida fresca ou processada como geleia e suco, e estima-se que seu teor total de carotenoides seja alto em comparação com outras frutas tropicais (SOUSA et al., 2011).

O interesse pelas frutas de *Spondia* está em crescimento devido aos seus sabores e aromas agradáveis. No entanto, há desafios em relação à produção concentrada em determinadas regiões, insuficiente para atender à demanda do mercado, e à exploração extrativista, bem como à falta de conhecimentos tecnológicos acumulados em nutrição e processamento. A comercialização das frutas ainda é predominantemente local, com produção de polpas congeladas, sucos, sorvetes, picolés e geleias, entre outros produtos. A fim de expandir os mercados e a cadeia produtiva, são necessárias pesquisas adicionais sobre as características nutricionais das frutas e o desenvolvimento de novos processos tecnológicos (OLIVEIRA et al., 2011).

Estudos recentes demonstraram que extratos de sementes de *Spondia Seriguela* apresentam alto conteúdo fenólico e boa atividade antioxidante, sugerindo um potencial para substituição de antioxidantes sintéticos (DIAS et al., 2019). Os polifenóis, encontrados naturalmente em frutas e vegetais, são componentes importantes também nos produtos derivados da *Seriguela* (ZAPATA et al., 2019).

2.11 METODOLOGIA DE SELEÇÃO E ISOLAMENTO DE LEVEDURAS

As leveduras utilizadas na produção da cerveja pertencem ao gênero *Saccharomyces* e estão distribuídas na espécie *S. cerevisiae*, sendo responsáveis pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, metabolizando os açúcares fermentescíveis para produzir álcool, gás carbônico, energia na forma de ATP e calor (CURI, 2006). São responsáveis por determinar características como sabor e aroma da cerveja, classificando assim em dois principais tipos: Ale e Lager.

Leveduras Ale são predominantemente classificadas como *S. cerevisiae*, embora algumas cepas sejam, na verdade, híbridos entre *S. cerevisiae* e *S. kudriavzevii* (GONZALEZ & QUEIROL, 2008). Já leveduras Lager são *S. pastorianus*, uma espécie domesticada, proveniente da fusão entre os genomas das espécies *S. cerevisiae* e *S. eubayanus*, gerando um híbrido tetraploide. Portanto, *S. pastorianus* trata-se de uma espécie exclusiva do meio produtivo, e ausente naturalmente no ambiente (LIBKIND, et.al., 2011).

O fermento úmido obtido foi submetido a e pressão fixas. Para essa etapa, foi realizado congelamentos prévios a uma temperatura de -196 °C, usando respectivamente o nitrogênio líquido, por imersão da amostra e ajustando o tempo para obter um melhor resultado.

2.12 TRATAMENTO DE CONGELAMENTO-DESCONGELAMENTO E TRIAGEM DE LEVEDURAS RESISTENTES AO ESTRESSE

As Culturas na fase exponencial tardia (aproximadamente 1×10^8 células por ml) foram adicionadas em meio sintético de YPD em microtubos de 10 ml e imersas diretamente em nitrogênio líquido por 10 min antes de descongelar em banho-maria a 30°C por 10 min. Posteriormente, as células de levedura foram agitadas a fim de homogenizar e melhorar sua capacidade de ploriferação.

Após repetidos o ciclo de congelamento-descongelamento (podendo chegar até 10), as células foram diluídas e semeadas em tubos de ágar YPD com a seguinte composição: 10g/L de extrato de levedura; 20g/L de glicose; 20g/L de Peptona bacteriologica em seguida 1ml de amostra foi retirado e submetido a diluição seriada a fim de chegar em um quantitativo visível na camara de newbower a fim de visualizar o as colonias presentes no meio.

2.13 MEIO SINTETICO

Para o preparo do inoculo nos ensaios de fermentação utilizou-se o meio de cultura YPD (Yeast Peptone Dextrose), com a seguinte composição: 10g/L de extrato de levedura; 20g/L de glicose; 20g/L de Peptona bacteriologica, tendo o Ph ajustado para 5,0 com Hcl 0,25 M. Como o microorganismo utilizando sendo a *saccharomyces cerevisiae* comercial, na forma de fermento liquido.

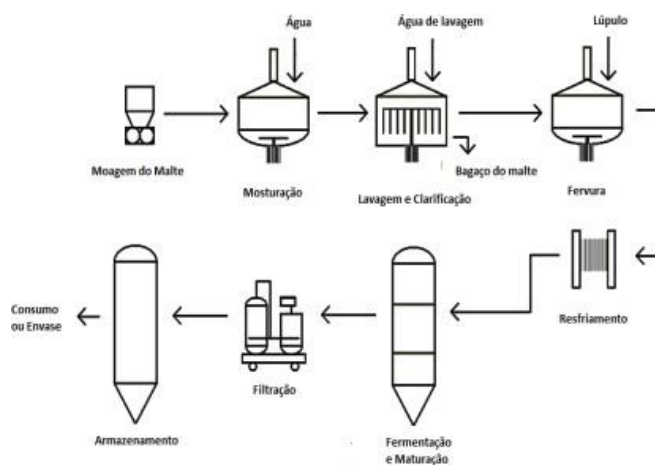
2.14 ETAPAS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA

A escolha dos ingredientes é crucial para garantir a qualidade da cerveja. Os principais ingredientes incluem malte, água, lúpulo e levedura. Cada um tem uma função essencial no processo:

O processamento industrial de cerveja pode ser dividido em operações essenciais: moagem do malte; mosturação ou tratamento enzimático do mosto; filtração; fervura; tratamento do mosto (remoção do precipitado, resfriamento e aeração); fermentação; maturação e clarificação (ALMEIDA; SILVA, 2005). Essa sequência de etapas requer um vasto conhecimento teórico e prático, pois envolve uma série de reações químicas e bioquímicas. Por isso, é necessário um acompanhamento rigoroso durante todo o processo,

a fim de garantir que as condições sejam adequadas para o sucesso da fermentação e a obtenção de um produto final de qualidade (MORADO, 2009); Venturini Filho (2000) cita, ainda, como parte do processo a filtração, pasteurização e o envasamento das bebidas. Logo a baixo pode-se observar um fluxograma básico de produção de cerveja;

Figura 2- Fluxograma básico do processo produção de cerveja



Fonte: Scrib 2024

A moagem tem por objetivo quebrar o grão do cereal e expor o seu amido interno, aumentando a superfície de contato com as enzimas do malte, favorecendo a hidrólise. Essa etapa tem relação direta com a rapidez das transformações físicoquímicas, rendimento, clarificação e qualidade final da cerveja (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010). Pode ser executada em equipamentos que permitam a exposição do conteúdo interno do cereal, do tipo moinhos de rolos, discos ou martelos. (VENTURINI FILHO, 2000).

Durante a mosturação, o malte moído é misturado com água quente para ativar as enzimas que convertem os amidos em açúcares fermentáveis. A temperatura e o tempo de mosturação são cruciais e ocorre entre 62°C e 72°C, ativando enzimas como a amilase, que transforma o amido em maltose. O processo dura cerca de 60 a 90 minutos (Fix, 1999). O controle preciso da temperatura e do tempo garante uma conversão eficiente de amido em açúcar, determinando o teor alcoólico e o sabor da cerveja.

Após a mosturação, o líquido açucarado (mosto) é separado dos sólidos. Essa etapa é conhecida como clarificação, recirculação ou filtração e é feita usando a própria casca do grão como filtro. O mosto é recirculado várias vezes para garantir que saia claro antes de ser transferido para a fervura (Narziss, 2005). O mosto clarificado é fervido para esterilizar e concentrar o líquido. Nessa etapa ocorre a adição do lúpulo, normalmente feita em duas etapas: no início da fervura, para conferir o amargor e mais ao final da fervura, responsável por conferir o aroma característico de cerveja isso ocorre devido a extração dos alfa-ácidos

do lúpulo. O processo leva normalmente de 80/90 minutos de fervura efetiva e mais trinta minutos para o aquecimento do líquido (PAPAZIAN, 2015).

Logo após o término da fervura, o mosto é transferido para outro tanque através de bombeamento. O principal objetivo dessa operação unitária é facilitar a decantação das proteínas desnaturadas que foram formadas durante a fervura e realizar o resfriamento do mosto. Esse processo de repouso, que dura cerca de 30 minutos, permite que essas proteínas e outros sólidos em suspensão se depositem no fundo do tanque, resultando em um mosto mais claro e limpo (Morado, 2009). Resfriar rapidamente minimiza o risco de contaminação e evita a formação de compostos indesejados, como diacetil.

O processo de fermentação é iniciado após a inoculação da levedura, com o mosto já devidamente resfriado e aerado. Nessa etapa, ocorre a liberação de CO₂ e calor nessa fase do processo (SANTOS, 2008). Após a fermentação primária, a cerveja passa por um período de maturação, que ajuda a suavizar os sabores e clarificar a bebida. A maturação ocorre em baixas temperaturas conferindo melhora no sabor e a estabilidade da cerveja.

Por fim após a etapa de maturação ocorre a carbonatação que é o processo pelo qual o gás carbônico é dissolvido na cerveja, criando a efervescência. A carbonatação pode ser realizada de duas maneiras; de maneira natural com adição de açúcar para fermentação secundária em garrafa (priming) ou de forma forçada, injetando CO₂ diretamente no barril ou garrafa. Ao final de tudo inicia-se o envase onde as garrafas são previamente esterilizadas e, após o envase, podem passar por um processo de carbonatação natural ou forçado e além disso a cerveja pode ser pasteurizada para garantir maior estabilidade (Kunze, 2004).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Explorar e aprimorar cepa de levedura com potencial para a produção de cerveja, utilizando o estresse criogenico e desenvolver uma cerveja artesanal inovadora adicionada de polpa de seriguela.

3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Caracterizar a polpa de frutas do gênero Spondias (Seriguela) quanto aos aspectos físicos, físico-químicos e bioativos;
- Identificar uma cepa de levedura adequada e submetela ao estresse criogenico com nitrogenio liquido;
- Desenvolver uma cerveja artesanal adicionando diferentes concentrações de polpa de seriguela, utilizando as leveduras selecionadas;
- Avaliar os parametros cineticos envolvidos na fermentação da cerveja;
- Determinar as características físico-químicas e compostos bioativos da cerveja antes e após a aplicação dos processos criogenicos.

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAS-PRIMAS

O malte, o lupulo e a levedura (US-05) utilizada foram adquiridas pela loja especializada em cervejas artesanais Villa do Malte, localizada na cidade de Recife-Pe. A agua mineral utilizada foi obtida no comercio local na cidade de campina grande.

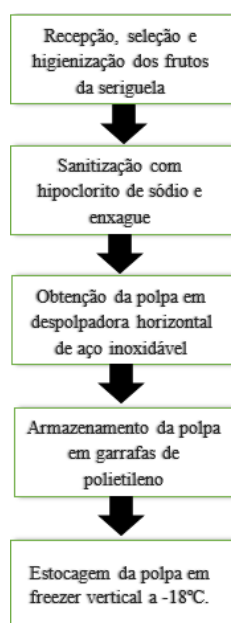
Os experimentos foram realizados nos Laboratorios de Quimica de Alimentos (LQA), Laboratorio de Analise Sensorial e no setor da AgroIndustria do curso de Engenharia de Alimentos do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da UFCG, campus Campina Grande.

4.2 METODOS

4.2.1 COLHEITA E DESPOLPAMENTO

Foram utilizados frutos de seriguela em estágio de maturação maduro, provenientes de propriedades localizadas na região de Campina Grande-PB. Todos os frutos foram transportados em recipientes termicos ate o setor da agroindustria onde ocorreu a seleção dos frutos. Foram excluidos os frutos que apresentavam avançado estado de maturação e danos tanto na casca como na polpa. Realizou-se limpeza com agua corrente pare retirada de residuos e em seguida uma sanitização utilizando hipoclorido de sodio 100 mg.L-1 por 5 minutos e posteriormente a despolpa conforme figura 1.

Figura 3- Fluxograma de despulpamento



Fonte : O Autor

Para a realização deste estudo, empregamos duas despoldadoras devidamente higienizadas com solução de hipoclorito, cada uma equipada com telas de diferentes espessuras (1 mm e 0,5 mm, respectivamente). O objetivo primordial desse processo era aprimorar a textura e consistência da polpa das frutas em análise. Uma vez despoldadas, as polpas foram cuidadosamente acondicionadas em sacos de polietileno de alta densidade, cada um com capacidade para 200 g. Em seguida, submetemos as polpas envasadas a um processo de pasteurização, mantendo uma temperatura constante de 60 °C ao longo de 30 minutos, assegurando a redução de microrganismos indesejados. Para garantir a preservação da qualidade, as polpas passaram por um resfriamento em água gelada antes de serem armazenadas em um freezer de congelamento, onde permaneceram sob condições ideais.

Figura 4- Seriguela



Fonte: O autor

4.2.2. AVALIAÇÃO DA COR DAS POLPAS

Os parâmetros de cor foram determinados utilizando-se o espectrofotômetro Mini scan Hunter Lab XE Plus com iluminante D65, ângulo de observação de 10° e calibrado com placa padrão preta e branca (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0).

4.2.3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS POLPAS

Antes de armazenadas, as polpas foram caracterizadas quanto aos aspectos físicoquímicos (sólidos solúveis (Briks°), Teor de água, acidez total, pH, vitamina C, açúcares redutores e sólidos totais,) de acordo com a metodologia empregada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.4. PREPARO DO MOSTO

Inicialmente, foram utilizados 5,150 kg de malte, cuidadosamente moídos para garantir a qualidade do processo. Esse total era composto por 5 kg de malte pilsen e 0,150 kg de malte caramelo. A combinação desses maltes é essencial para fornecer os açúcares necessários à fermentação. Em seguida, foram adicionados 20 litros de água mineral e 30 g de lúpulo Magnum, que possui 14% de alfa-ácido, ingrediente crucial para o amargor da cerveja. Todos esses elementos foram selecionados meticulosamente para a formação do mosto, que é a base da cerveja.

O processo seguinte foi a brasagem, uma etapa fundamental para a conversão dos amidos presentes no malte em moléculas de glicose, que serão fermentadas pelas leveduras. Conforme indicado na Figura 6, essa fase é responsável pela hidrólise dos amidos. A brasagem foi realizada em uma rampa única (Figura X), com a temperatura inicial de 65°C mantida por 60 minutos, seguida de um aquecimento até 76°C por mais 10 minutos, conforme a técnica descrita por Silva (2005). Essa etapa é crucial para liberar os açúcares fermentáveis e preparar o mosto para a fermentação.

Figura 5- Rampa de brasagem



Fonte: O autor

Após a conversão dos amidos, o mosto foi filtrado utilizando um Grain Bag (BIAB), um saco de filtração que retém as cascas dos grãos de malte. Esse material age como um filtro natural, ajudando a clarear o mosto. O mosto filtrado foi extraído por meio de uma torneira na base do caldeirão e recirculado manualmente no mesmo ambiente. Durante essa recirculação, o mosto passou por um processo de clarificação, em que as partículas sólidas restantes foram retidas pelas cascas do malte depositadas no Grain Bag.

Após a clarificação, o mosto foi transferido para outro recipiente para a etapa de fervura. Durante essa fase, os açúcares extraídos nas etapas anteriores foram concentrados até atingir um teor de sólidos solúveis de 15°Brix. O lúpulo, responsável pelo amargor da cerveja, foi adicionado logo no início da fervura. Como o objetivo era realçar características frutadas na cerveja, optou-se por não adicionar lúpulo de aroma, que geralmente é incluído no final da fervura para proporcionar um aroma mais característico.

Concluída a fervura, o mosto foi rapidamente resfriado até atingir 17°C, temperatura ideal para a fermentação por leveduras do tipo Ale, que realizam a fermentação em temperaturas mais altas. Após o resfriamento, o mosto foi transferido para o fermentador, com o cuidado de deixar para trás o "trub", uma camada de resíduos proteicos que se forma no fundo do recipiente. Essa separação garante que o mosto fique límpido, sem a presença de partículas sólidas indesejadas.

A partir do mosto com uma concentração inicial de 12°Brix, foram preparados outros dois mostos com concentrações diferentes, um com 15°Brix e outro com 18°Brix. Essas diferentes concentrações foram utilizadas em um estudo da cinética de fermentação, com o objetivo de analisar como a variação no teor de açúcar afeta o processo fermentativo e as características finais da cerveja. Esse estudo é de grande importância para ajustar o perfil sensorial da bebida e suas propriedades, garantindo que atendam às preferências e padrões desejados.

4.2.5. PREPARO E ADIÇÃO DA POLPA

Após o processo de descongelamento natural, as polpas de frutas foram cuidadosamente homogeneizadas e tiveram seus sólidos solúveis ajustados para atingir concentrações de 12, 15 e 18°Brix, os mesmos níveis utilizados para o mosto de malte. O ajuste dos °Brix foi realizado através da chaptalização, que consiste na adição de sacarose (C₁₂H₂₂O₁₁) e açúcar comercial, na forma de mel. O mel foi previamente esterilizado por meio de calor, garantindo a eliminação de possíveis contaminantes no mosto que será fermentado, conforme os procedimentos descritos por Brasil (1997).

As polpas de frutas foram então incorporadas ao mosto em três concentrações diferentes: 5%, 10% e 15%. Esse processo foi feito com agitação constante para assegurar uma homogeneização completa e promover a aeração do mosto. A aeração é essencial para que as leveduras tenham acesso aos nutrientes necessários, garantindo um processo de fermentação saudável e eficiente. Além disso, essa etapa é crucial para que a cerveja final adquira as características sensoriais desejadas, como sabor e aroma específicos das frutas.

4.2.6. DESENVOLVIMENTO E OBTENÇÃO DA LEVEDURA SELECIONADA

Para o preparo do inóculo nos ensaios de fermentação, foi utilizado o meio de cultura YPD (Yeast Peptone Dextrose), composto por 10 g/L de extrato de levedura, 20 g/L de glicose e 20 g/L de peptona bacteriológica, com o pH ajustado para 5,0 utilizando HCl 0,25 M. O micro-organismo utilizado foi **Saccharomyces cerevisiae** (A-01), na forma de fermento líquido comercial.

As culturas, em fase exponencial tardia e contendo aproximadamente 1×10^8 células por ml, foram adicionadas ao meio sintético YPD em microtubos de 10 ml e rapidamente imersas em nitrogênio líquido por 10 minutos. Após esse período, as amostras foram descongeladas em banho-maria a 30°C, também por 10 minutos. Em seguida, as células de levedura foram agitadas para garantir a homogeneização e melhorar sua capacidade de proliferação.

O processo foi repetido em ciclos de congelamento e descongelamento, podendo chegar a até 10 ciclos. Após cada ciclo, 1 ml da amostra foi retirado e submetido a diluições seriadas para contagem viável de células, utilizando a câmara de Neubauer para visualizar as colônias presentes.

Após 40 minutos de exposição ao nitrogênio, observou-se uma redução de 40% nas unidades viáveis de leveduras. As células restantes foram introduzidas em um meio adequado ao seu desenvolvimento e transferidas para béqueres, onde foram agitadas por 12 horas para melhorar a homogeneização e estimular sua proliferação. Em seguida, foram direcionadas ao processo de fabricação de cerveja. Esse método permite uma seleção e preparação eficientes das leveduras, garantindo uma população celular adequada e saudável, essencial para o sucesso da fermentação e, conseqüentemente, para a qualidade final da cerveja.

4.2.7. FERMENTAÇÃO

Para a preparação, um sachê de levedura A-01 da Fermentis, comercializado na forma desidratada, foi utilizado. Foi realizada uma prévia hidratação da levedura, utilizando YPD, com leve agitação mecânica por cerca de 6h.

Antes de adicionar o mosto contendo fruta, foram preparados 9 fermentadores com capacidade de 2,5 litros (conforme figura 8). Esses fermentadores foram previamente higienizados e sanitizados com álcool 70%, garantindo condições adequadas para o processo de fermentação.

Esse procedimento de reidratação da levedura e preparação dos fermentadores é essencial para garantir um ambiente limpo e propício para a fermentação, evitando

contaminações que possam comprometer o resultado final da cerveja. O cuidado na manipulação dos ingredientes e dos equipamentos é fundamental para garantir a qualidade e segurança do produto final.

Figura 6- Fermentadores de bancada



Fonte: O autor

Após a adição do mosto e da concentração de polpa de fruta, 15 ml de levedura por processo de estresse foram adicionados em 9 fermentadores, contendo 2,5 litros de mosto e 15 ml de leveduras sem o processo de estresse foram adicionadas em outros 9 fermentadores. Em seguida, o conteúdo foi agitado com um bastão de vidro para promover a homogeneização e aeração do mosto. Cada fermentador recebeu uma concentração final de 0,6 g de levedura por litro de mosto.

Os fermentadores foram então levados para o freezer, onde um controlador de temperatura manteve a temperatura constante em 23°C para permitir o início do processo de fermentação. Esse ambiente controlado é essencial para garantir condições ideais para o crescimento e atividade das leveduras, que são responsáveis pela transformação dos açúcares presentes no mosto em álcool e outros compostos durante a fermentação. Manter a temperatura estável durante a fermentação é crucial para controlar o perfil de sabor e aroma da cerveja, além de garantir uma fermentação eficiente e completa. O uso do freezer com controlador de temperatura proporciona o ambiente controlado necessário.

4.2.8 CINETICA DE FERMENTAÇÃO

Após a inoculação da levedura, foi retirada uma amostra de cada tratamento correspondente ao tempo zero da cinética de fermentação. A partir deste ponto, foram coletadas amostras de 50 ml de mosto em fermentação a cada 6 horas até atingir 24 horas de fermentação, sendo a partir deste momento uma coleta realizada com 12 horas e as demais realizadas a cada 24 horas até que a fermentação atinja 240 horas. As amostras coletadas foram congeladas para a análise posterior, as quais se avaliou a concentração de Solídos Solúveis (°Brix), concentração de etanol (°GL), Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Totais (AT), pH (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008) e acidez total titulável.

4.2.9. CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE, RENDIMENTO DO PRODUTO E PERCENTUAL CONVERSÃO.

- Produtividade ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$)

Para determinar a quantidade de álcool produzido em um determinado tempo, em hora, foi utilizada a Equação

$$\text{Produtividade } (\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}) = \frac{P(\text{g L}^{-1})}{T(\text{h})}$$

Em que: P - Concentração de etanol (g L^{-1}); T – tempo de fermentação (h).

- Percentual de conversão (%)

O percentual de conversão no fermentado, para produção do etanol antes da destilação, foi calculado pela Equação

$$\text{Converção } (\%) = \frac{P_o - P_f}{S_o - S_f} * 100$$

Em que P_o – concentração de etanol experimental ; S_o - concentração inicial de Açúcares totais; P_f – concentração de etanol final; S_f – concentração de açúcares final.

- Rendimento do produto

Para determinação da conversão do substrato (açúcar) em produto (etanol), foi utilizada a Equação

$$y_s^p = \frac{P - P_0}{S_0 - S}$$

Em que: S - Concentração final de substrato $g * L^{-1}$; S_0 - Concentração inicial de substrato ($g * L^{-1}$); P - Concentração final de produto ($g * L^{-1}$); P_0 - Concentração inicial de produto ($g * L^{-1}$)

4.2.10. MATURAÇÃO DA CERVEJA

Após o processo de fermentação das cervejas, a temperatura foi reduzida para 12°C para uma maturação durante 7 dias e posteriormente novamente reduzida a temperatura para 5°C durante 3 dias (A maturação da cerveja é importante para proporcionar um ganho significativo de aroma e sabor).

4.2.11. CARBONATAÇÃO, ENVASE E ARMAZENAMENTO

Passados o período de maturação verificou-se o volume de cerveja obtido para então assim ser feita o envase. foram utilizadas garrafas âmbar de 300 ml, previamente lavadas e sanitizadas com álcool 70% e adicionada nas mesmas 2,5g de açúcar para realização do ‘Priming’ (termo inglês usado para adição de açúcar ao mosto. Como não foi realizada pasteurização na cerveja deste estudo, a bebida ainda possui uma quantidade de levedura suficiente o bastante para fermentar uma pequena quantidade de açúcar fermentencível e produzir CO₂ necessário para uma carbonatação da cerveja engarrafada. Finalizado o envase, as cervejas voltaram para o freezer e armazenadas a 22°C por 13 dias para induzir a nova fermentação e com isso carbonatar a cerveja. Após o período de carbonatação, a cerveja foi refrigerada a 4°C até o momento de ser realizada a análise físico-química.

4.2.12. COLORAÇÃO DAS CERVEJAS

A cor da cerveja foi medida por espectrofotometria num comprimento de onda de 430 nm utilizando água destilada como branco. As experiências foram realizadas incluindo uma cerveja comercial como controle (HIRALAL et al., 2014).

4.2.13. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS DA CERVEJAS

As amostras de cervejas foram avaliadas quanto à concentração de Sólidos Solúveis (°Brix), concentração de etanol (°GL), pH, cor, acidez total titulavel, densidade relativa (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.2.14. ANALISES DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

As cervejas elaboradas deste trabalho e armazenadas a 4°C foram retiradas da refrigeração e colocadas em temperatura ambiente até estabilização da temperatura. Após abertas, as amostras foram descarboxadas para não interferirem na análise.

As amostras de cervejas foram avaliadas quanto a concentração de flavonoides e antocianinas segundo metodo de FRANCIS 1982. A absorbância foi medido nos extratos etanólico em espectrofotômetro (BiospectroSP-220) a 374 nm para flavonoides e 535 nm para antocianinas. Para a determinação de fenolicos e taninas utilizou-se a metodologia de Goldstein e Swain (1963) realizando a leitura a 765 nm para fenolicos e 725 para antocianinas. Todos os resultados foram expressos em mg/100g.

4.2.15. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Buscando otimizar as condições de operação para os processos de fermentação foi adotado o planejamento fatorial completo 3^2 , totalizando nove experimentos foi realizado para avaliar a influência das variáveis independentes: Concentração de Solidos soluveis (12, 15, 18 Brix°) e quantidade de polpa acrescentada ao mosto (5, 10, 15%) sobre as variáveis dependentes: Brix residual, teor alcoolico, Ph, densidade relativa, cor, quantidade de compostos flavonoides, quantidade de compostos taninos, fenolicos totais, antociainas.

Para cade variável independente foram definidos os dois níveis codificados alto (+1) e baixo (-1) e o ponto central (0), conforme a Tabela 2. Na Tabela 3 encontra-se a matriz de planejamento fatorial completo 3^2 .

Tabela 2- Níveis reais e codificados para as variáveis independentes do planejamento fatorial completo 3^2 incluindo os pontos centrais.

Variavel	Nível baixo	Ponto Central	Nível alto
	(-1)	(0)	(+1)
Brix°	12	15	18
Polpa	5	10	15

Tabela 3- Matriz de planejamento fatorial completo 3^2 .

Ensaio	Brix°	Concentração de polpa %
1	(-1) 12	(-1) 5
2	(-1) 12	(0) 10
3	(-1) 12	(+1) 15
4	(0) 15	(-1) 5
5	(0) 15	(0) 10
6	(0) 15	(+1) 15
7	(+1) 18	(-1) 5
8	(+1) 18	(0) 10
9	(+1) 18	(+1) 15

Após execução da matriz de planejamento as variáveis foram avaliadas mediante análise estatística, utilizando o software Statística®8.0.

5. RESULTADOS E DISCURSOES

5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA POLPA DE SERIGUELA

O processo de despulpagem da seriguela resultou em um rendimento de 68,8% de polpa, enquanto 25,5% foram resíduos, como cascas e sementes, e 5,7% foram perdas, possivelmente devido ao manuseio e à aderência da polpa aos resíduos conforme descritos na tabela 4. O rendimento de polpa é positivo, e as perdas são relativamente baixas, sugerindo um processo eficiente, com potencial para melhorias na redução das perdas e no aproveitamento dos resíduos para outros usos.

Tabela 4- Rendimento total da polpa de seriguela

Seringuela	
Peso total	100%
Polpa total	68,8%
Resíduos	25,5%
Perdas	5,7%

A caracterização físico-química da polpa de seriguela realizada neste estudo incluiu a avaliação de parâmetros essenciais para a qualidade do fruto, como pH, acidez titulável (g/100 mL), sólidos solúveis totais (Brix°), teor de água (%), sólidos totais (%), açúcares redutores (mg/100 mL) e ácido ascórbico (mg/100 mL). Essas parâmetros são fundamentais para determinar as características de conservação, processamento e valor nutricional da polpa, fornecendo informações que podem influenciar diretamente na sua aplicação industrial e na flexibilidade sensorial do produto. Na Tabela 5 estão presentes os valores das análises físico-química da polpa de seriguela.

Tabela 5- Caracterização físico-química da polpa de seriguela

Parâmetro	Polpa de Siriguela
pH	3,50
Acidez (g/100mL)	1,825
Sólidos Solúveis Totais (Brix°)	19,40
Teor de Água-(%)	77,74
Sólidos Totais (%)	22,26
Açúcares Redutores (mg/100mL)	4,46
Ácido Ascórbico (mg/100ml)	19,28

Fonte: O autor.

Ao observar a tabela 2 O pH da polpa integral foi verificado como sendo 3,5, caracterizando a fruta como ácida. Pinheiro et al. (2015) observaram um valor de pH aproximado de 3,59 para os frutos maduros de seriguela, um resultado semelhante ao encontrado neste estudo. Valores ligeiramente mais elevados foram observados no estudo conduzido por Bautista-Banos et al. (2003), com seriguelas mexicanas, variando de 4,8 a 5,5. Essa disparidade pode ser atribuída às distintas condições climáticas, as quais podem influenciar no amadurecimento diferenciado do fruto. Os valores mencionados estão dentro da faixa esperada para a seriguela. De acordo com Maldonado-Astudillo et al. (2014), o pH deste fruto pode variar entre 2,5 e 6,0, dependendo da variedade e da região de cultivo. Esse intervalo de pH favorece a fermentação, uma vez que o valor inicial ótimo para o crescimento das leveduras durante a fermentação está em torno de 4,5 (DRAGONE e ALMEIDA E SILVA, 2010; LIVENS, 2016). O mesmo comportamento ocorreu na acidez, por se tratar de um parâmetro inverso ao pH.

No que diz respeito aos sólidos solúveis totais da polpa e cascas de seriguela ($18,13 \pm 0,11$), os valores encontrados neste estudo estão próximos aos de Pérez-Arias et al. (2008), que variaram de 12,47 a 17,43°Brix. Resultados similares foram obtidos por Kohatsu et al. (2011), com valores entre 12,3 e 17°Brix. Por outro lado, Álvarez-Vargas et al. (2017) encontraram uma gama mais ampla de valores, variando de 8,2 a 22,8°Brix.

O teor de água relatado por Lima (2009) foi de 76,41%, enquanto Souza (2009) encontrou 77,6% em polpa de seriguela. Este valor é semelhante ao obtido neste estudo, que foi de 77,74%, conforme Tabela 3. Ambos os valores estão em linha com o descrito na TACO (2011) para o teor de água da seriguela, que é de 78,7%. Quanto ao teor de sólidos totais presentes na polpa de seriguela, foi de 22,26%, similar aos resultados encontrados por Bastos, Martinez e Souza (2016).

O teor de açúcares redutores (% glicose) encontrado por Soares (2011) foi de 4,22% para os frutos de seriguela maduros, um valor aproximado ao encontrado neste estudo, que foi de 4,46%. Esses resultados também são semelhantes aos valores obtidos por Filgueiras et al. (2001), que variaram de 4,66% a 6,70% em estudos realizados com seriguelas produzidas no estado do Ceará.

Ao se avaliar o resultado de Ácido Ascórbico pode-se notar que tivemos um valor de 19,28 mg/100g, um valor semelhante foi encontrado por Oliveira, L.M. et al. (2015) em seu estudo sobre Avaliação dos teores de vitamina C em frutos comestíveis consumidos na região Amazônica que obteve valores na faixa de 20 a 30 mg/100g. Valor proximo tambem encontrado nos estudo de Silva, R.F. et al. (2018) em seu estudo sobre Teores de vitamina C em frutos regionais consumidos no Nordeste do Brasil que notou que a vitamina C na polpa da seriguela variou de 25 a 35 mg/100g.

Considerando a presença de açúcares nas matérias-primas, acredita-se que a inclusão deste fruto na elaboração da cerveja contribuiu para o aumento do teor de açúcares. Isso, por sua vez, pode ter favorecido o processo fermentativo, além de adicionar características sensoriais relacionadas aos compostos aromáticos presentes tanto na polpa de seriguela.

Tabela 6- Determinação da cor da polpa de seriguela

Parâmetro de cor	Polpa de Siriguela
L	50.0
a	3.0
b	18.0

Fonte: O autor.

A tabela 6 descreve os parâmetros de coloração da polpa onde o valor de L^* indica que a polpa de seriguela tem uma luminosidade média. Na escala CIE Lab^* , L^* varia de 0 (preto) a 100 (branco). Um valor de 50.0 sugere que a polpa não é extremamente clara nem muito escura, o que é típico para frutas maduras. O valor de a^* indica a tonalidade entre verde (-) e vermelho (+). Um valor de 3.0 positivo sugere uma leve tonalidade avermelhada na polpa de seriguela. Isso pode ser característico de frutas maduras, onde os tons avermelhados indicam um estágio adequado de maturação. O valor de b^* indica a tonalidade entre azul (-) e amarelo (+). Com um valor de 18.0 positivo, a polpa de seriguela exibe uma tonalidade amarela moderada. Isso é comum em frutas maduras, onde a cor amarela pode indicar a presença de carotenoides e outros pigmentos naturais associados à maturação e à qualidade nutricional.

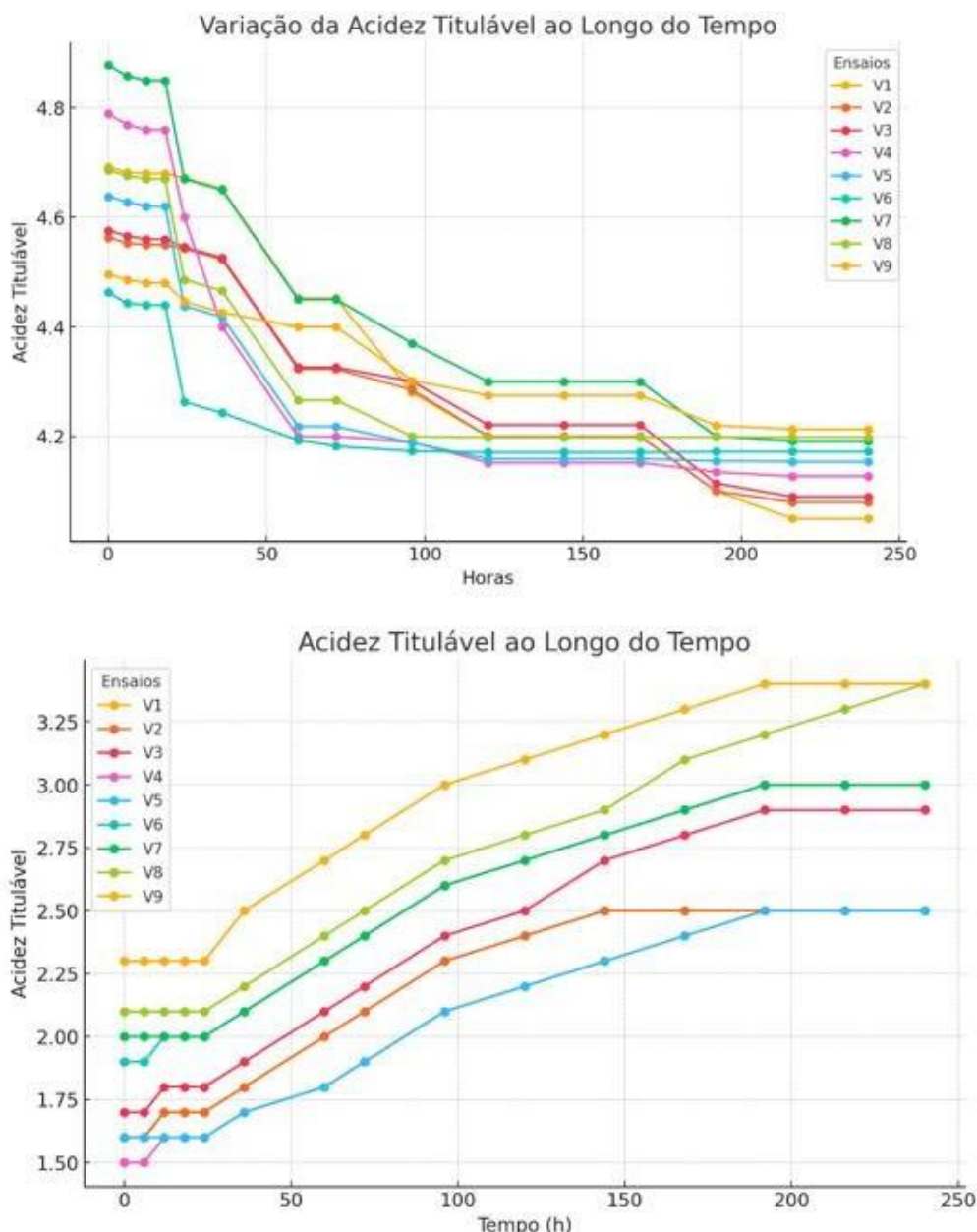
5.1.2. CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO

As amostras coletadas foram congeladas para a análise posterior, as quais se avaliou a concentração de Sólidos Solúveis ($^{\circ}$ Brix), concentração de etanol ($^{\circ}$ GL), Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Totais (AT), pH (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008) e acidez total titulável. Todos os resultados estão expressos nas figuras 6 a 11.

A figura 6 revelam comportamentos distintos da acidez titulável ao longo do tempo, tanto com as leveduras utilizando o processo de criogenia quanto sem o processo. No gráfico que não considera o estresse criogenico, nota-se uma diminuição da acidez titulável nas primeiras 50 a 100 horas, seguida de um período de estabilização, o que reflete uma atividade inicial mais intensa das leveduras. Em contrapartida, no gráfico que inclui o processo criogenico,

observamos um aumento da acidez ao longo do tempo, indicando que as leveduras criogenizadas mantêm uma atividade metabólica mais constante e duradoura. O ensaio V9, que apresentou maiores valores de Brix e concentração de polpa, destacou-se com os índices mais altos de acidez, sugerindo que a combinação de criogenização e condições mais favoráveis do substrato favorece uma fermentação mais eficiente e estável.

Figura 7- Variação da Acidez Titulável em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica



Na figura 7 que apresenta a variação de pH antes e após a utilização da levedura selecionada nota-se que há estabilidade observada e a queda acentuada nos ensaios com

leveduras criogenizadas revelam uma atividade fermentativa mais controlada e eficiente, resultando em uma produção de ácidos mais uniforme. O ensaio V9, que possui Brix de 18 e 15% de polpa, se destaca pela maior oscilação, indicando que a combinação de uma alta concentração de substrato com levedura criogenizada favorece uma fermentação intensa e eficaz.

Figura 8- Variação do pH em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica

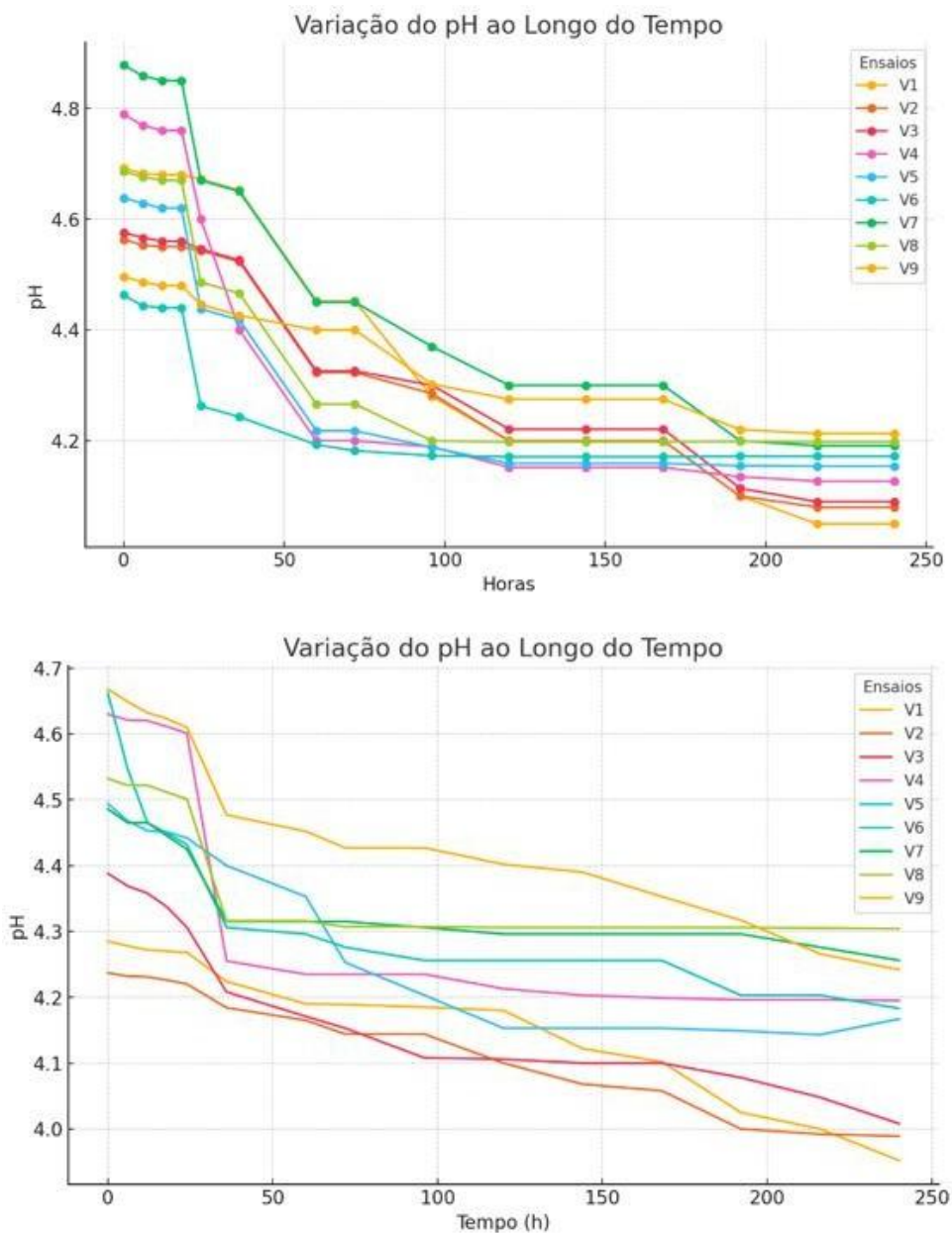
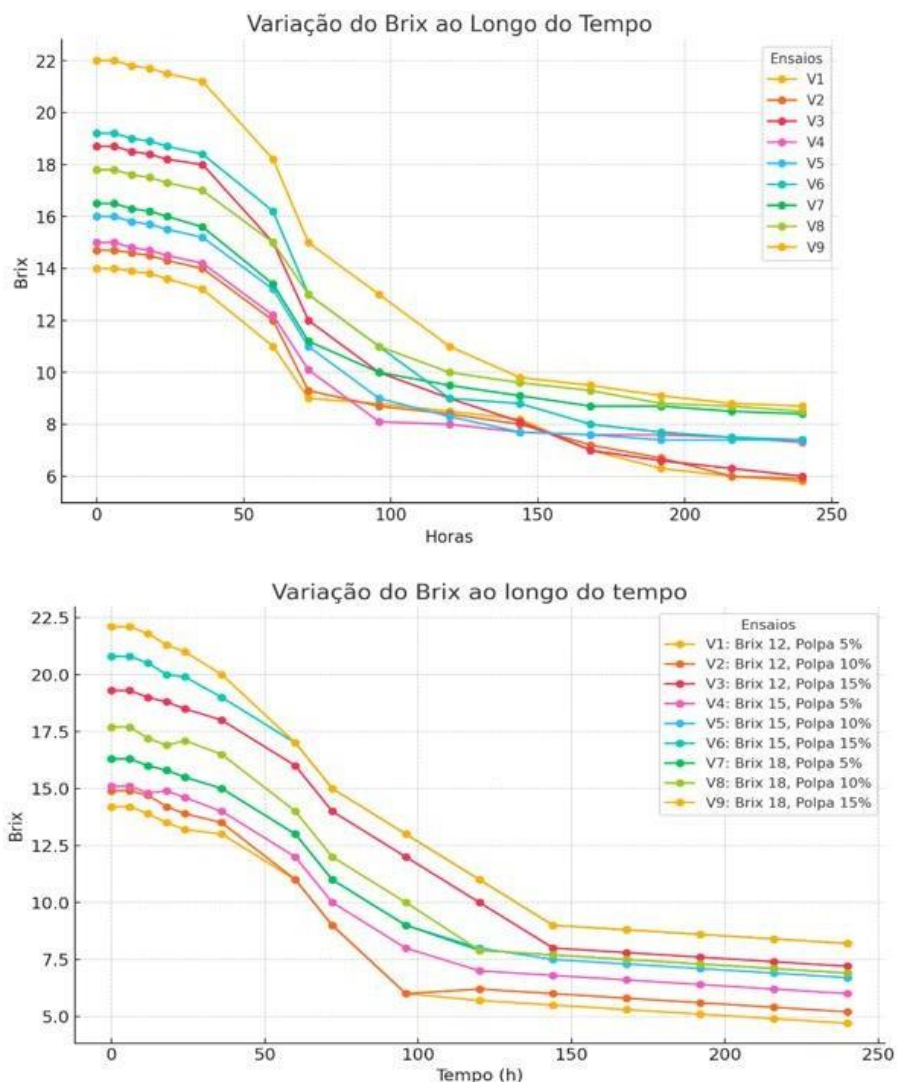


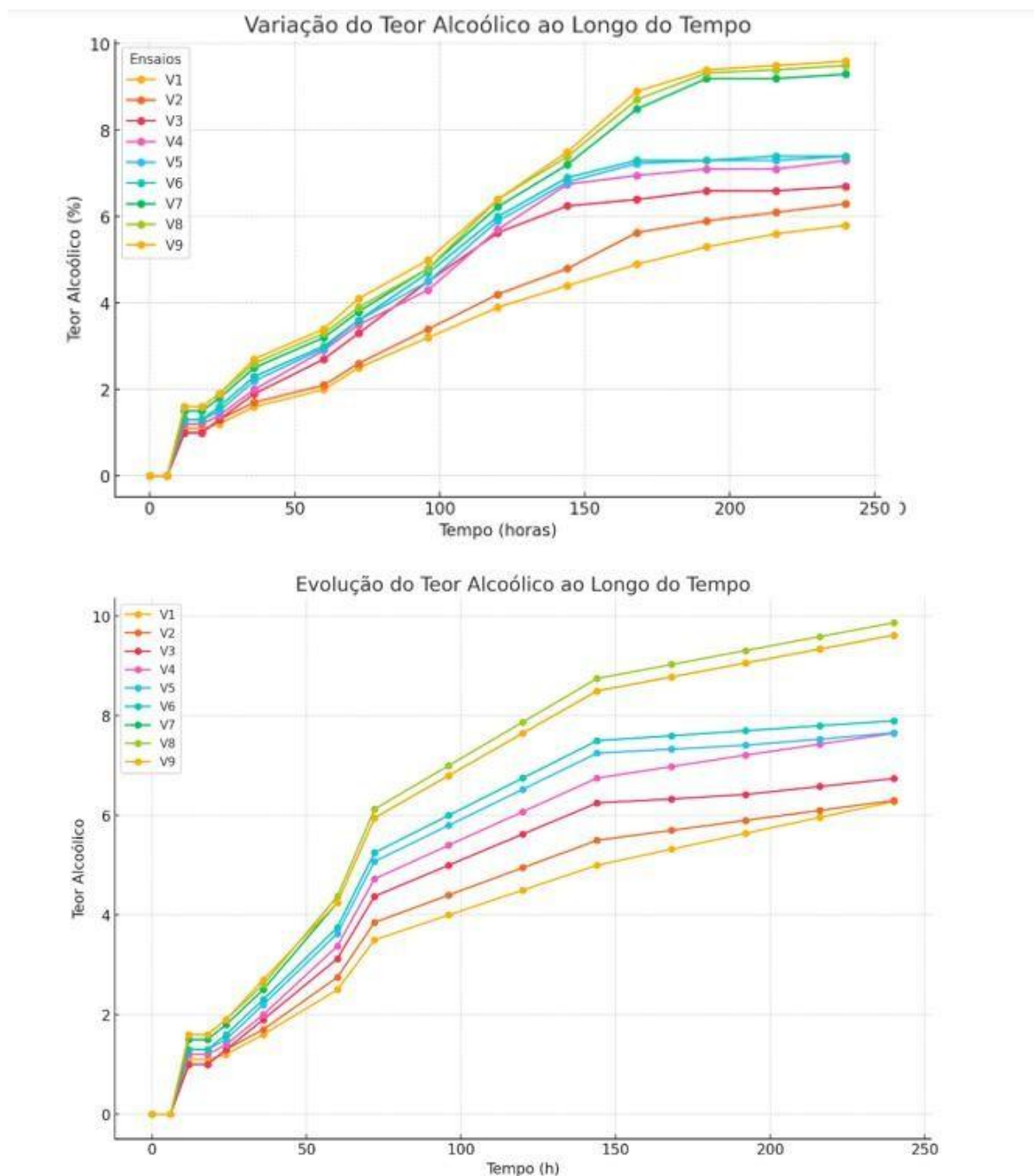
Figura 8 é possível observar a variação do grau Brix ao longo do processo fermentativo de diferentes amostras de cerveja, feitas com leveduras expostas à seleção criogênica na pré e na pós. O Brix é uma medida de concentração de açúcares solúveis no mosto e, com a fermentação, tende a reduzir, uma vez que os açúcares são convertidos em etanol pelas leveduras. A comparação entre ambos os gráficos evidencia que as leveduras criogênicas, apresentadas no gráfico inferior, demonstram uma maior eficiência fermentativa. As amostras fermentadas com essas leveduras apresentam uma queda mais acentuada e rápida no grau Brix, especialmente nas fases iniciais da fermentação. Isso ocorre porque as leveduras selecionadas pelo processo criogênico são mais adaptadas a condições adversas, o que permite uma maior atividade metabólica, traduzida em uma conversão mais eficiente dos açúcares em etanol.

Figura 9- Variação do Brix em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica



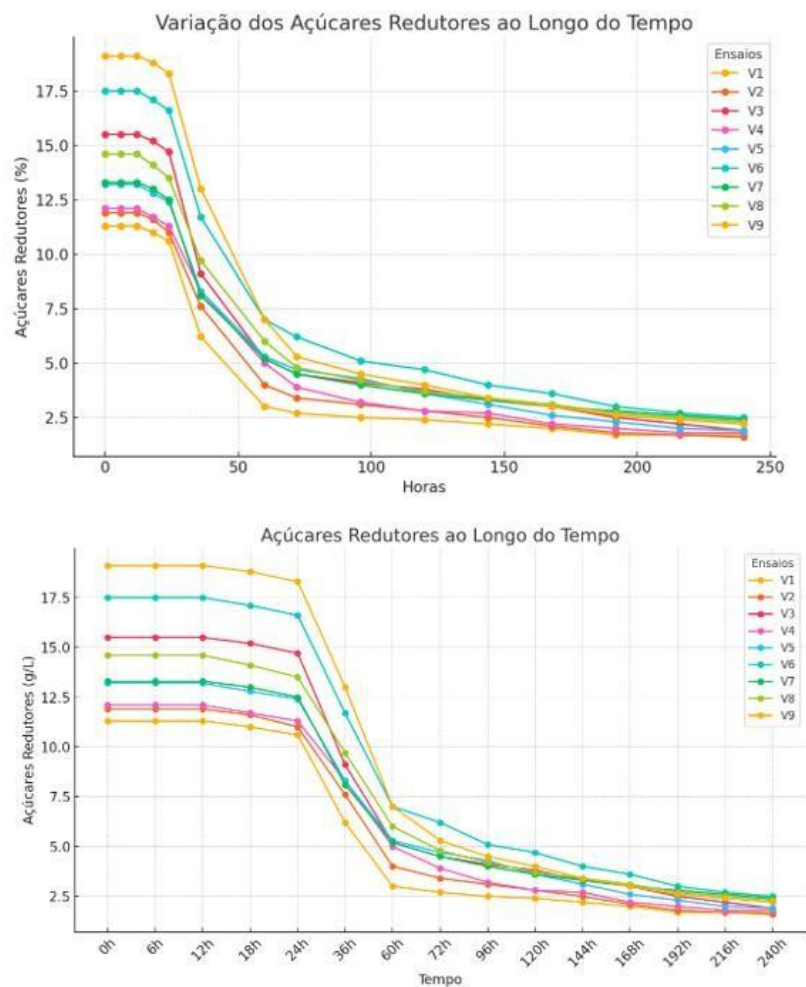
Os gráficos que representa o teor alcoólico na figura 9 revela um crescimento contínuo ao longo do tempo, especialmente notável nos experimentos que utilizaram leveduras criogenizadas. Os ensaios que apresentam elevada concentração de brix e polpa se destacam mais, evidenciando a alta eficiência de fermentação proporcionada por essas leveduras. Em estudos realizados com suco de caqui (MARTÍNEZ et al., 2017) e banana (CARVALHO et al., 2009), foi notado que uma maior concentração de °Brix no mosto teve um impacto positivo na produção de etanol na cerveja.

Figura 10- Variação do teor alcoólico em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica



Por fim, as figuras 10 e 11 que representam os graficos de açúcares redutores e totais apresentam comportamentos semelhantes podem vale destacar a eficácia superior das leveduras utilizando processos criogenicos na fermentação. Nos graficos utilizando leveduras selecionadas observa-se que a maior parte do consumo de açúcares ocorre nas primeiras 60 a 72 horas de fermentação. Este período inicial é caracterizado por uma intensa atividade metabólica das leveduras, onde a conversão de açúcares em etanol e outros compostos ocorre de forma acelerada. Em contra partida nos graficos que nao utilizou-se leveduras selecionadas a primeira fase de consumo ocorreu entre 72 e 120 horas (momento em que ocoreu uma certa estabilização do consumo). A falta de leveduras selecionadas pode ter desempenhado um papel na diminuição da eficiência fermentativa, visto que as leveduras não possuem a mesma capacidade de resistir ao estresse ambiental demonstrando uma diminuição na atividade metabólica de forma mais rápida resultando em uma estabilização prematura da fermentação.

Figura 11- Variação dos Açúcares Redutores em Amostras de Cerveja com Leveduras Pré e Pós Seleção Criogênica



5.1.3. Parâmetros Fermentativos

Os parâmetros fermentativos estudados na cinética de fermentação das cervejas de Spondias (seriguela) esta descrito na tabela 7 e 8 sendo avaliados a produtividade, o percentual de conversão e o rendimento para as cervejas utilizando a levedura pre tratamento e pos tratamento criogenico.

Tabela 7- Parâmetros Fermentativos Utilizando Leveduras Pré-selecionadas

Ensaio	Produtividade (g/L.h)	Percentual de	Rendimento do
		conversão $\frac{P}{S^0 * 0,511} *$	produto $y^p = \frac{P - P_0}{S - S_0}$
		100	
V1	0,223	62,4	0,623
V2	0,234	59,8	0,598
V3	0,253	49,3	0,493
V4	0,287	68,7	0,690
V5	0,298	58,3	0,583
V6	0,308	45,4	0,454
V7	0,351	73,2	0,732
V8	0,353	67,9	0,679
V9	0,361	51,1	0,511

Tabela 8- Parâmetros Fermentativos Utilizando Leveduras Pós-selecionadas

Ensaio	Produtividade (g/L.h)	Percentual de	Rendimento do
		conversão $\frac{P_0 - P_f}{S_0 - S_f} * 100$	produto $y^p = \frac{P - P_0}{S - S_0}$
V1	0,229	66,3	0,663
V2	0,242	62,0	0,620
V3	0,266	50,4	0,504
V4	0,295	73,6	0,737
V5	0,305	60,2	0,602
V6	0,316	47,6	0,476
V7	0,374	75,2	0,750
V8	0,380	69,5	0,695
V9	0,374	52,1	0,521

Quando avaliado a taxa de Produtividade observa-se que a utilização de leveduras selecionadas por processo criogênico resultou em uma melhoria significativa na eficiência da produção de cerveja. Na tabela 8 pode-se notar que a incorporação dessa levedura no processo resulto na produtividade media superior uma vez que a produtividade máxima alcançada na é de $0,374 \text{ (g L}^{-1}\text{h}^{-1}\text{)}$ ligeiramente maior do que o valor máximo de $0,361 \text{ (g L}^{-1}\text{h}^{-1}\text{)}$ registrado na Tabela 7. Além disso observou-se uma maior consistência nos valores de produtividade da tabela 8, com menor variação entre os ensaios. Esses resultados indicam que o processo criogênico pode ter aprimorado tanto a eficiência quanto a estabilidade das leveduras, proporcionando um aumento notável na produtividade da cerveja e sugerindo que a aplicação dessa técnica pode ser vantajosa para otimizar a produção em processos industriais. Lorena et al (2015) ao estudar a adição de cafe torrado em diferentes composições como aromatizante em cerveja obteve valores de produtividade entre $0,56\text{g/L.h}$ outro estudo sobre a adição de polpa de seriguela como adjunto na produção de cerveja teve valores de produtividade entre $1,07 \text{ g/L.h}$ em 12 horas de fermentação e $0,50 \text{ g/g}$.

A análise dos percentuais de conversão e rendimentos do produto entre as duas tabelas revela que as leveduras selecionadas pelo processo criogênico têm um impacto positivo significativo. Na Tabela 7, os percentuais de conversão variam de $45,4\%$ a $73,2\%$, enquanto na Tabela 8, que utiliza leveduras criogênicas, os percentuais vão de $47,6\%$ a $75,2\%$. Essa melhoria é evidenciada pela faixa mais alta de conversão na Tabela 8, indicando uma maior eficiência na transformação de substratos em produto. Além disso, o rendimento do produto também demonstra um desempenho superior com as leveduras criogênicas. Na Tabela 7, os rendimentos variam de $0,454 \text{ g}$ a $0,732 \text{ g}$, enquanto na Tabela 8, esses valores vão de $0,476 \text{ g}$ a $0,750 \text{ g}$. O aumento tanto no percentual de conversão quanto no rendimento do produto sugere que as leveduras criogênicas não apenas melhoraram a eficiência da fermentação, mas também aumentaram a quantidade de produto gerado por unidade de substrato. Este resultado reforça a vantagem do uso de leveduras selecionadas por processos criogênicos, destacando sua eficácia em otimizar tanto a conversão de substratos quanto o rendimento final. Carvalho (2009) também encontrou valores otimos de rendimento variando entre $0,42$ e $0,48\text{g/g}$, ja Silva (2014) em sua produção de cerveja com mel encontrou valores variando entre $0,39$ e $0,41\text{g/g}$.

5.1.4. Análise Físico-química das Cervejas

Segundo a análise estatística realizada na cerveja de Seriguela mostrou-se que as determinações de Sólidos solúveis, teor alcoólico, Ph, Acidez e cor tiveram influência significativa para um nível de 5%. Observando os dados contidos nas Tabelas 9 e 10 percebe-se que a utilização de leveduras selecionadas modificou-se significativamente diversos aspectos físico-químicos. Isso deu-se devido as leveduras utilizadas terem sofrido um estresse criogênico fazendo assim uma “seleção natural” das mesmas, consequentemente sobrevivendo apenas aquelas mais fortes e produtivas.

Tabela 9-Análise físico-química das cervejas de Seriguela utilizando levedura pré-seleção

Ensaio	Sólidos solúveis	Teor alcoólico	Densidade relativa	pH	Acidez (g/l)	Cor (EBC)
V1	5,8	5,8	1,01	4,006	2,4	13,3
V2	5,83	6,4	1,02	4,080	2,56	14,01
V3	6	6,7	1,01	4,059	2,21	14,8
V4	7,33	7,3	1,03	4,127	2,46	15,6
V5	7,4	7,4	1,02	4,154	2,62	15,8
V6	7,4	7,4	1,02	4,172	2,62	16
V7	8,43	9,3	1,01	4,191	0,279	16,66
V8	8,5	9,5	1,01	4,198	3,14	17,5
V9	8,6	9,6	1,02	4,213	3,09	17,9

Tabela 10- Análise físico-química das cervejas de Seriguela utilizando levedura pós-seleção.

Ensaio	Sólidos solúveis	Teor alcoólico	Densidade relativa	pH	Acidez (g/l)	Cor (EBC)
V1	4,8	6,3	1,02	3,912	2,7	11,7
V2	5,17	6,7	1,02	3,989	2,74	9,95
V3	5,87	6,9	1,01	3,925	3,35	9,5
V4	5,57	7,8	1,02	4,066	2,74	7,62
V5	6,47	7,7	1,02	4,117	2,92	12,16
V6	6,77	7,8	1,01	4,138	2,92	12,62
V7	8,27	9,7	1,02	4,106	3,17	17,08
V8	8,47	9,8	1,01	4,123	3,78	17,8
V9	8,37	9,8	1,02	4,144	3,71	18,54

Os valores de sólidos solúveis baixaram consideravelmente quando comparados os processos de fabricação da cerveja antes (tabela 9) e após o uso de leveduras selecionadas (tabela 10). Foi visto que todas as 9 amostras tiveram uma baixa de pelo menos 12% quando comparadas. Destacou-se as amostras v1 (17%) e v4(24%) como sendo as mais significativas onde as mesmas continham 5% de polpa porém seus Brix eram de 11° e 13°. Diretamente ligado aos valores de sólidos solúveis pode-se observar o teor de álcool total das cervejas. Demonstrando que a utilização de leveduras selecionadas modifica diretamente os valores finais. Todas as amostras apresentaram uma variação positiva de produtividade destacando o tratamento 4 o maior valor de teor alcoólico (7,8°GL).

Os valores referentes ao pH demonstram uma diferença significativa no impacto do uso do processo criogênico sobre o Ph da cerveja. Na tabela 9 com a levedura não tratada, os valores de pH variam entre 4,006 e 4,213, com uma tendência para pH mais elevados e uma distribuição relativamente ampla. Já a tabela 10 com a levedura submetida ao processo criogênico apresenta valores de pH mais baixos, variando entre 3,912 e 4,144, com uma concentração mais pronunciada na faixa inferior. Este comportamento sugere que o processo criogênico não apenas reduziu o pH médio da cerveja, mas também contribuiu para uma maior uniformidade nos valores medidos. A redução do pH pode indicar um aumento na acidez da cerveja, potencialmente afetando seu perfil de sabor.

Na tabela 9, que representa a acidez da cerveja sem o tratamento criogênico, os valores variam de 0,279 a 3,14 g/L, com a maior parte dos valores situando-se entre 2,21 e 3,14 g/L. Em contraste, a tabela 10, que apresenta a acidez após o tratamento criogênico, mostra valores mais elevados e mais consistentes, variando de 2,7 a 3,78 g/L. A diferença mais notável é o aumento na acidez média na segunda tabela, indicando que o processo criogênico resultou em uma maior concentração de ácido na cerveja. Esse aumento na acidez pode refletir uma mudança na atividade metabólica da levedura ou alterações na química da cerveja devido ao tratamento. A maior uniformidade e os níveis mais elevados de acidez observados na tabela 10 sugerem que o processo criogênico pode ter intensificado a formação de ácidos, o que pode impactar o sabor e a estabilidade do produto final caracterizando assim uma cerveja souer.

A figura 12 contém as imagens dos ensaios V1 a V9 comparando seus aspectos visuais (A) pré-tratamento criogênico e (B) pós-tratamento criogênico. A comparação das tabelas de cor da cerveja, medida em EBC (European Brewery Convention), revela diferenças notáveis entre as cervejas produzidas com e sem o tratamento criogênico. Na imagem, que representa a cor da cerveja sem o tratamento criogênico, os valores variam de 13,3 a 17,9 EBC, com uma tendência para cores mais escuras e uma concentração de valores na faixa superior. Em contraste, com a levedura submetida ao tratamento criogênico, mostra um aspecto visual mais amplo de cores, de 7,62 a 18,54 EBC, incluindo valores significativamente mais baixos, como

7,62 EBC. Essa variação sugere que o tratamento criogênico pode ter influenciado a cor da cerveja de forma mais variável, possivelmente devido a alterações na absorção de luz ou na composição química que afetam a coloração. O fato de haver valores tanto mais baixos quanto mais altos em comparação com a tabela sem tratamento indica que o processo criogênico pode ter gerado uma cerveja com uma maior variação na cor, refletindo possíveis mudanças na forma como os compostos colorantes foram desenvolvidos ou preservados durante a produção.

Figura 13- Aspecto visual das cervejas produzidas nas condições (A) pré-tratamento criogênico e (B) pós-tratamento criogênico, nas diferentes amostras (V1 a V9).

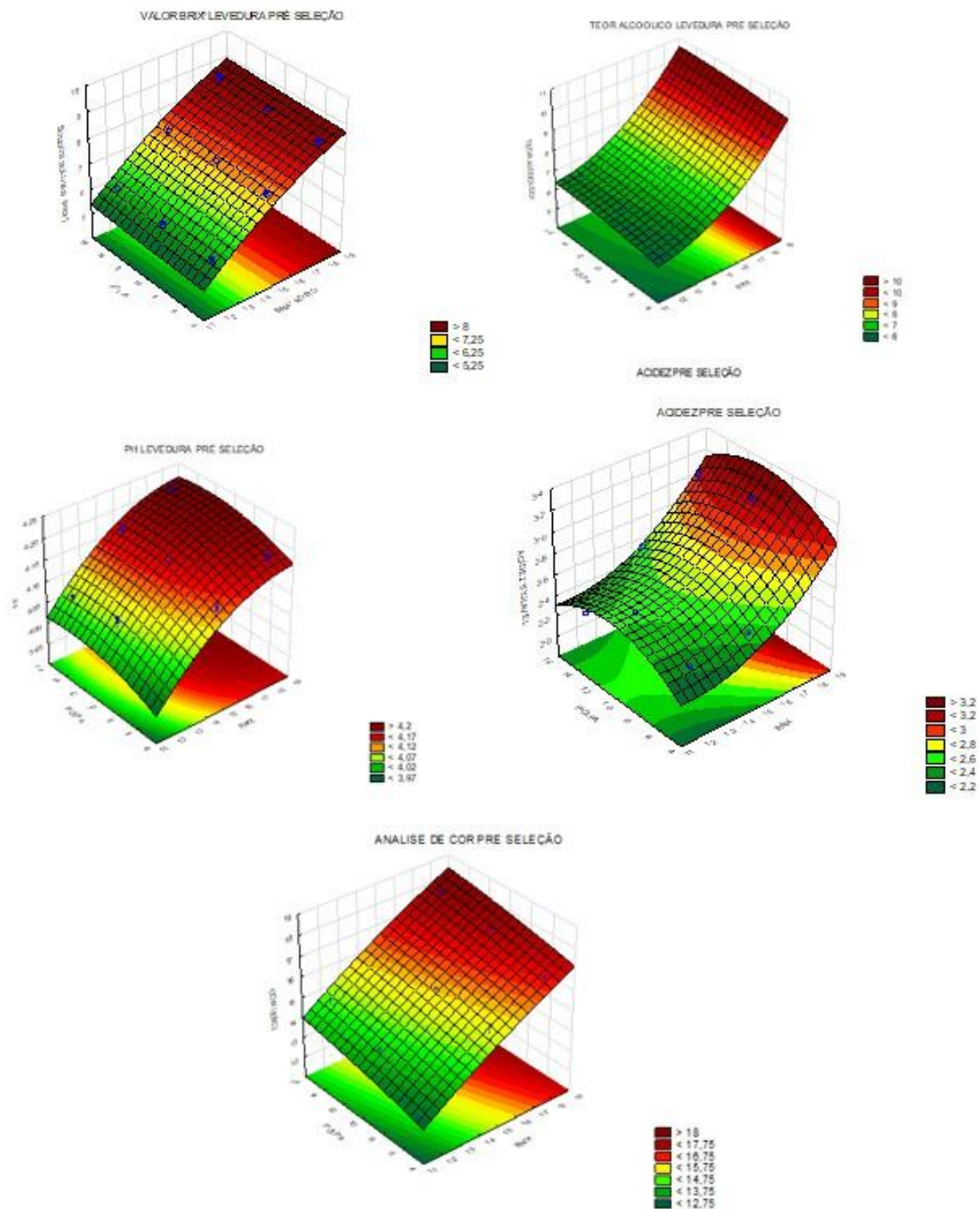


As figuras 13 e 14 representam os gráficos de superfície de resposta (utilizando leveduras pré tratamento criogenico e pos tratamento criogenico) das variaveis estudadas.

Os gráficos da figura 13 apresentam os parâmetros físico-químicos da fermentação de cerveja utilizando levedura pré-selecionada, considerando as variáveis concentração de polpa e tempo. O gráfico de Brix mostra que a concentração de sólidos solúveis aumenta em menores concentrações de polpa e tempos curtos de fermentação. O teor alcoólico, por sua vez, cresce com o aumento do tempo e da concentração de polpa, atingindo níveis mais elevados em tempos prolongados. O pH diminui à medida que o tempo de fermentação avança,

especialmente em concentrações mais altas de polpa. Já a acidez aumenta com o aumento do tempo e da concentração de polpa, refletindo o avanço da fermentação. Na análise de cor, observa-se uma intensificação da tonalidade com o aumento do tempo de fermentação, sugerindo a formação de compostos coloridos à medida que o processo avança.

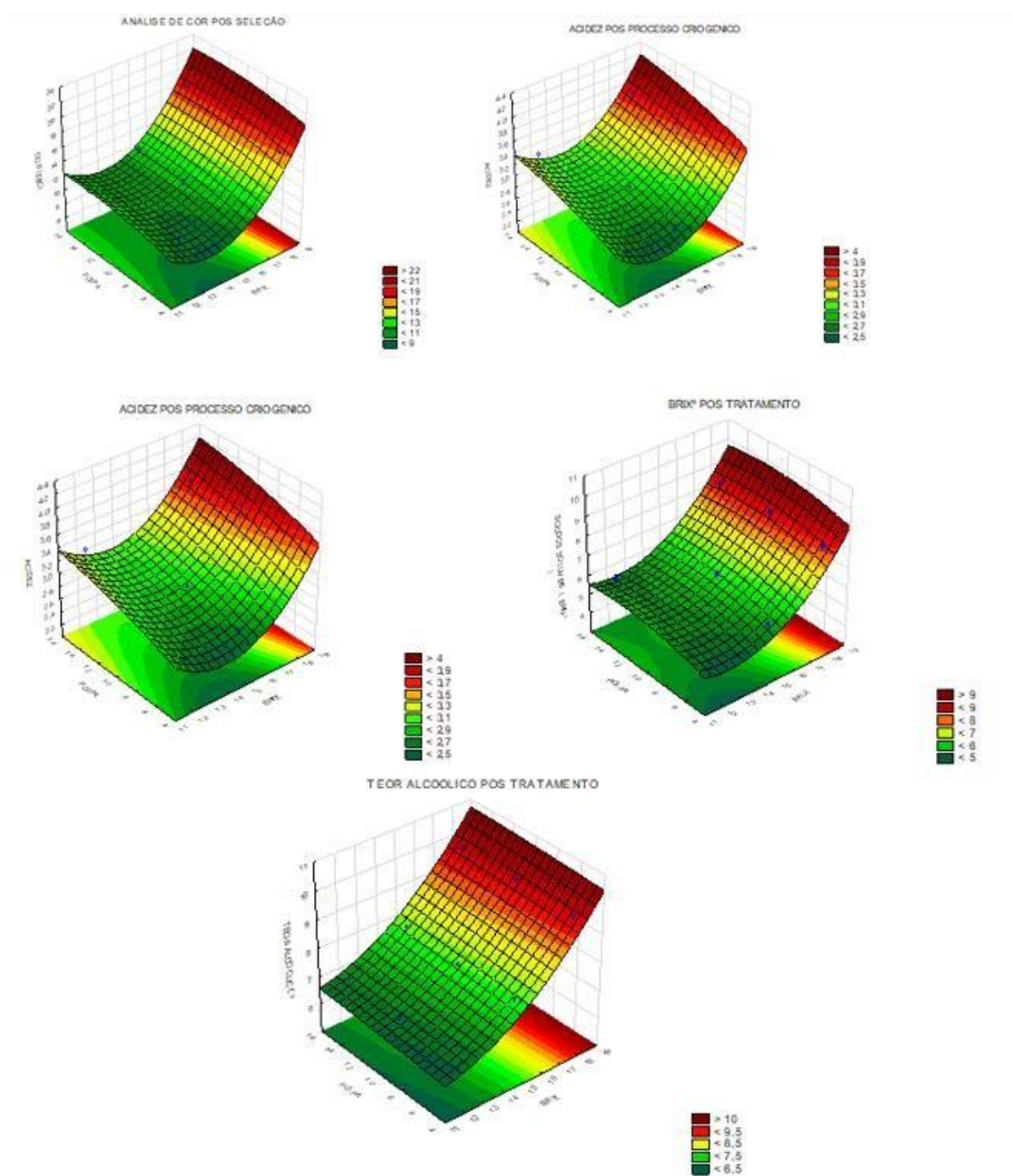
Figura 14- Superfície de resposta das análises físico-químicas das cervejas pre tratamento criogênico



Os gráficos da figura 14 demonstram as mesmas análises, agora após o tratamento criogênico, com as variáveis de concentração de polpa e tempo. A análise de cor pós-seleção revela uma intensificação ainda maior da cor em tempos prolongados, com maior impacto em

concentrações de polpa mais elevadas. A acidez após o processo criogênico apresenta um comportamento diferente, com um aumento significativo em concentrações altas de polpa e tempos longos de fermentação. O valor de Brix diminui após o tratamento, sugerindo uma maior conversão de açúcares em álcool, especialmente em concentrações de polpa mais elevadas e tempos prolongados. O teor alcoólico, similar à primeira etapa, cresce com o tempo, sendo mais acentuado em concentrações maiores de polpa.

Figura 15- Superfície de resposta das análises físico-químicas das cervejas pós tratamento criogênico



Observa-se que o tratamento criogênico e a seleção da levedura resultam em diferenças significativas nos parâmetros analisados. A intensidade de cor é mais acentuada após o tratamento, indicando maior formação de compostos coloridos. A acidez também é maior após o processo criogênico, especialmente em concentrações de polpa elevadas, sugerindo uma fermentação mais avançada. O valor de Brix, que representa os sólidos solúveis, diminui após o tratamento, o que indica maior conversão de açúcares em álcool. O teor alcoólico, no entanto, permanece elevado em ambas as condições, mas após o tratamento, o processo fermentativo parece ser ainda mais eficiente. Em suma, o tratamento criogênico parece otimizar a fermentação, resultando em uma cerveja com maior acidez, menor concentração de açúcares residuais e maior complexidade de cor.

5.1.5. Análise dos compostos bioativos das Cervejas

Para compreender os efeitos da seleção de leveduras no processo de fermentação de cervejas artesanais, foram realizadas análises dos compostos bioativos presentes nas amostras fermentadas. A Tabela 11 apresenta os resultados dessas análises utilizando levedura pré-seleção, enquanto a Tabela 12 traz as mesmas análises após o processo de seleção da levedura. Essas comparações são fundamentais para avaliar as mudanças na composição bioativa das cervejas e entender como a escolha da levedura impacta diretamente na qualidade final do produto, principalmente em relação aos compostos que podem influenciar as características sensoriais e os benefícios à saúde.

Tabela 11- Análise dos compostos bioativos das cervejas utilizando levedura pré-seleção.

Ensaio	Fenolicos (g/100ml)	Taninos (g/100ml)	Antocianinas (g/100ml)	Flavonoides (g/100ml)
V1	2,02	2,27	0,023	0,0039
V2	2,08	2,31	0,0024	0,0041
V3	2,11	2,36	0,0026	0,0051
V4	2,30	2,52	0,0025	0,0040
V5	2,37	2,58	0,0026	0,0042
V6	2,35	2,62	0,0028	0,0050
V7	2,63	2,8	0,0025	0,0039
V8	2,68	8,85	0,0026	0,0040
V9	2,71	2,92	0,0028	0,0051

Tabela 12- Análise dos compostos bioativos das cervejas utilizando levedura pós-seleção.

Ensaio	Fenolicos (g/100ml)	Taninos (g/100ml)	Antocianinas (g/100ml)	Flavonoides (g/100ml)
V1	1,94	2,11	0,0020	0,0032
V2	1,97	2,20	0,0023	0,0037
V3	1,99	2,23	0,0021	0,0047
V4	2,21	2,12	0,0019	0,0032
V5	2,26	2,44	0,0022	0,0038
V6	2,31	2,55	0,0024	0,0046
V7	2,27	2,38	0,0019	0,0034
V8	2,31	2,39	0,0023	0,0035
V9	2,36	2,41	0,0025	0,0042

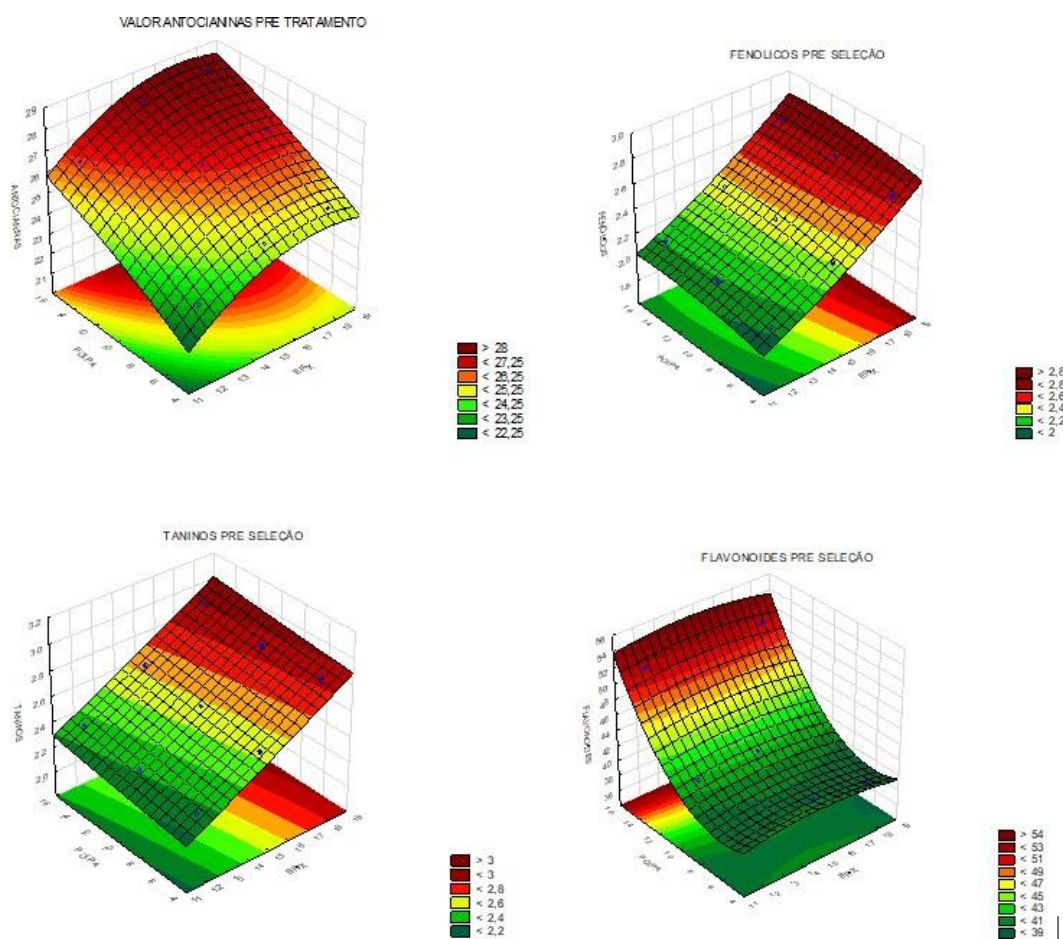
Na Tabela 11, notamos uma variação nos níveis de compostos fenólicos entre os diferentes ensaios, com valores que aumentam de forma contínua, começando em 2,02 g/100ml no ensaio V1 e alcançando 2,71 g/100ml no ensaio V9. Esse crescimento está relacionado ao aumento da concentração de polpa e ao tipo de levedura empregada. Em contrapartida, a Tabela 12, que utiliza levedura após o processo criogênico, apresenta níveis fenólicos um pouco inferiores, variando de 1,94 g/100ml a 2,36 g/100ml. Tal comportamento pode sugerir que o processo criogênico influencia na extração ou na estabilidade dos compostos fenólicos na cerveja, resultando em uma menor concentração desses compostos na bebida final. Quanto à concentração de taninos, observamos uma variação que vai de 2,27 g/100ml no ensaio V1 até 2,92 g/100ml no ensaio V9. Os níveis de taninos tendem a aumentar com a maior concentração de polpa utilizada, indicando que quantidades maiores de polpa podem favorecer uma extração mais eficiente de taninos. Já na Tabela 12, os níveis de taninos são um pouco mais baixos e variam de 2,11 g/100ml a 2,55 g/100ml. O uso da levedura pós-processo criogênico pode ter um efeito na diminuição da extração de taninos ou na sua estabilidade, resultando em concentrações um pouco menores comparadas às observadas na Tabela 11.

Na Tabela 11, a concentração de antocianinas é relativamente baixa e apresenta pequenas variações entre os ensaios, com valores que vão de 0,0024 g/100ml a 0,0028 g/100ml. Em comparação, na Tabela 12, os valores de antocianinas são semelhantes, variando de 0,0020 g/100ml a 0,0025 g/100ml. A pouca variação e a semelhança entre as duas tabelas sugerem que o processo criogênico pode não ter um impacto significativo na quantidade de antocianinas extraídas na cerveja, ou essas antocianinas podem ter uma estabilidade semelhante em ambas as condições de produção.

Os flavonoides na Tabela 11 variam de 0,0039 g/100ml a 0,0051 g/100ml, mostrando um aumento com a concentração de polpa utilizada. Esse aumento sugere que a maior quantidade de polpa contribui para a maior extração de flavonoides na cerveja. Na Tabela 12, com o uso da levedura pós-processo criogênico, os níveis de flavonoides são geralmente mais baixos, variando de 0,0032 g/100ml a 0,0047 g/100ml. A redução na concentração de flavonoides pode ser atribuída a uma possível alteração na capacidade da levedura de interagir com os compostos presentes na polpa ou a diferenças na estabilidade dos flavonoides devido ao processo criogênico.

As figuras 15 e 16 demonstram a superfície de resposta (utilizando leveduras pre tratamento criogenico e pos tratamento criogenico) para os compostos bioativos em estudos.

Figura 16- Superfície de resposta compostos bioativos pre tratamento criogenico

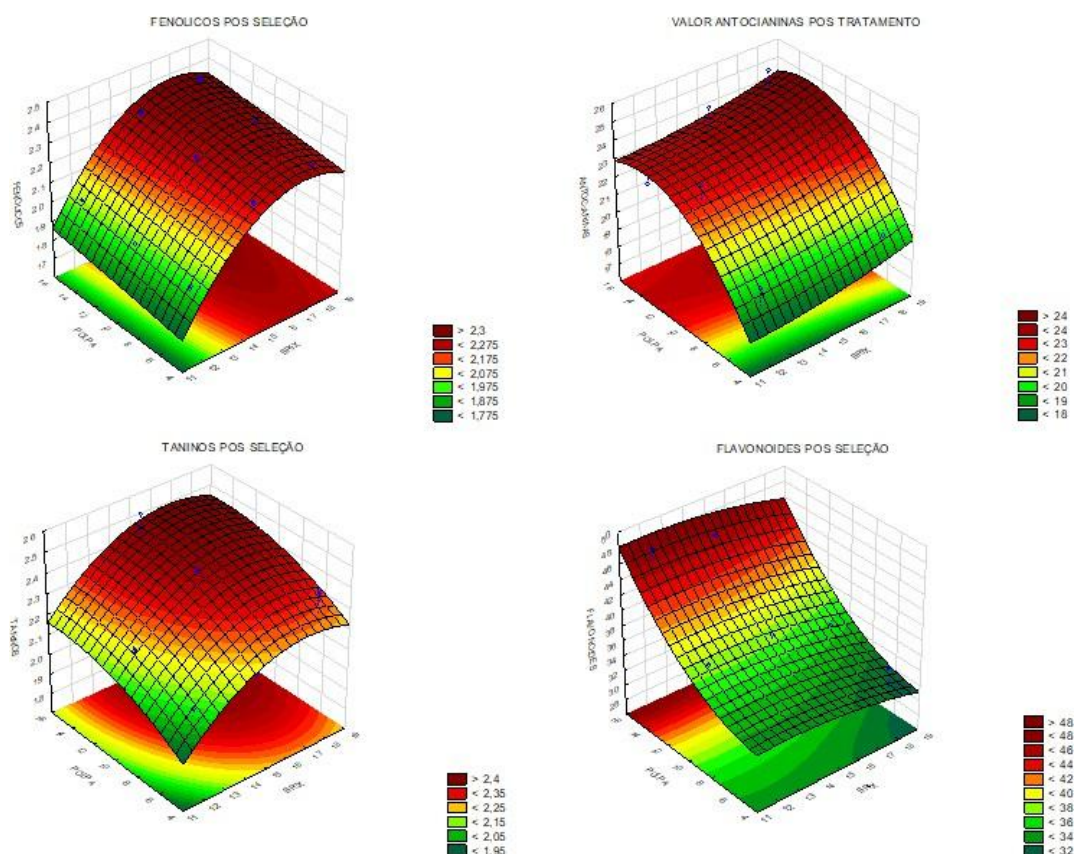


Os resultados apresentados nos gráficos da figura 15 evidenciam os compostos bioativos em cervejas produzidas com levedura pré-selecionada, variando-se a concentração e o tempo de fermentação da polpa. O caso das antocianinas pode ser citado: apenas se observou diferença negra com maior concentração desses pigmentos, promovendo, assim, uma cor mais

escura na cerveja. Os compostos fenólicos, responsáveis pelo sabor e que também apresentam atividade antioxidante, obtiveram resultados positivos com o aumento de tempo e concentração de polpa. Os taninos, que interferem principalmente na adstringência e estabilidade da cerveja, também aumentam com o tempo e a polpa, o que demonstra que esses dois fatores, de fato, são influentes na sua quantidade. Flavonoides, destacando-se pelo alto potencial antioxidante, apresentaram sua concentração reduzida nas amostras mais prolongadas e concentradas, fato que pode ser associado a degradação desses compostos. Com isso, foi comprovado que a polpa e o tempo de fermentação da cerveja de fato interferem significativamente em seu perfil bioativo, podendo, assim, serem desenvolvidas cervejas com perfis funcionais e sensoriais diferenciados.

Já a Figura 16 mostra as mudanças nos compostos bioativos após o tratamento criogênico, indicando como o processo influenciou sua concentração ou preservação.

Figura 17-Superfície de resposta compostos bioativos pos tratamento criogenico



As análises dos gráficos na figura 16 mostram a influência da concentração de polpa e do tempo de processamento sobre os parâmetros bioquímicos avaliados (fenólicos, antocianinas, taninos e flavonoides). Observa-se que o teor de fenólicos e antocianinas aumenta com o aumento da concentração de polpa e do tempo de tratamento, enquanto os taninos

apresentaram maiores valores em tempos mais curtos com alta concentração. Para flavonoides, a resposta foi similar à das antocianinas, com valores mais elevados em altas concentrações e tempos mais prolongados. Esses resultados indicam que a modulação das variáveis de concentração e tempo é essencial para maximizar o conteúdo bioativo, fornecendo subsídios para a formulação de produtos com maior valor funcional e antioxidante, como sucos e polpas enriquecidas.

A comparação entre as duas figuras é essencial para avaliar a eficiência do tratamento criogênico em manter ou melhorar o conteúdo dos compostos bioativos, permitindo identificar condições otimizadas para o máximo aproveitamento dessas substâncias.

5.1.6. Diagrama de Pareto

As figuras 17 e 18 correspondem aos diagramas de Pareto os quais representam os efeitos estimados, em ordem decrescente de magnitude, das variáveis independentes das cervejas utilizando levedura pre tratamento criogenico e pos tratamento criogenico. Foram avaliados os parametros fisico-quimicos: Solidos soluveis, Ph, Teor alcoolico, Acidez e Cor.

Figura 18-Diagrama de Pareto analises fisico-quimicas pre seleção

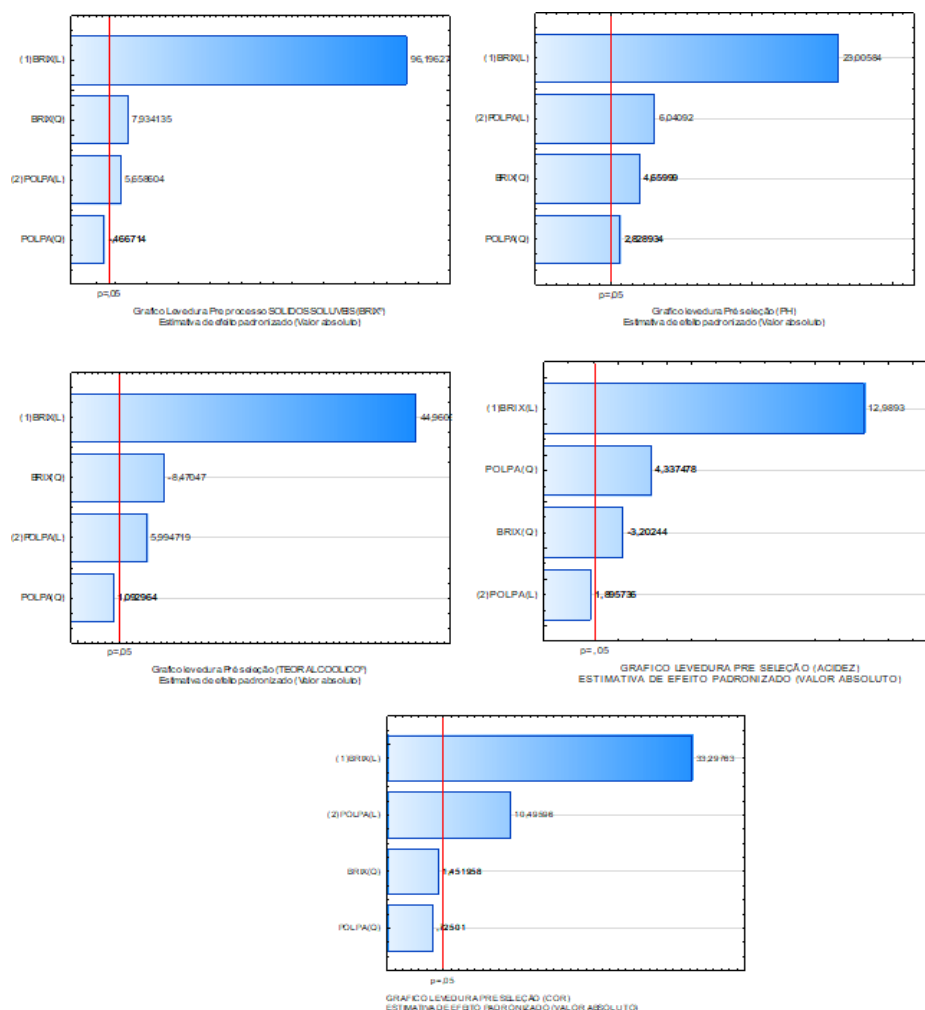
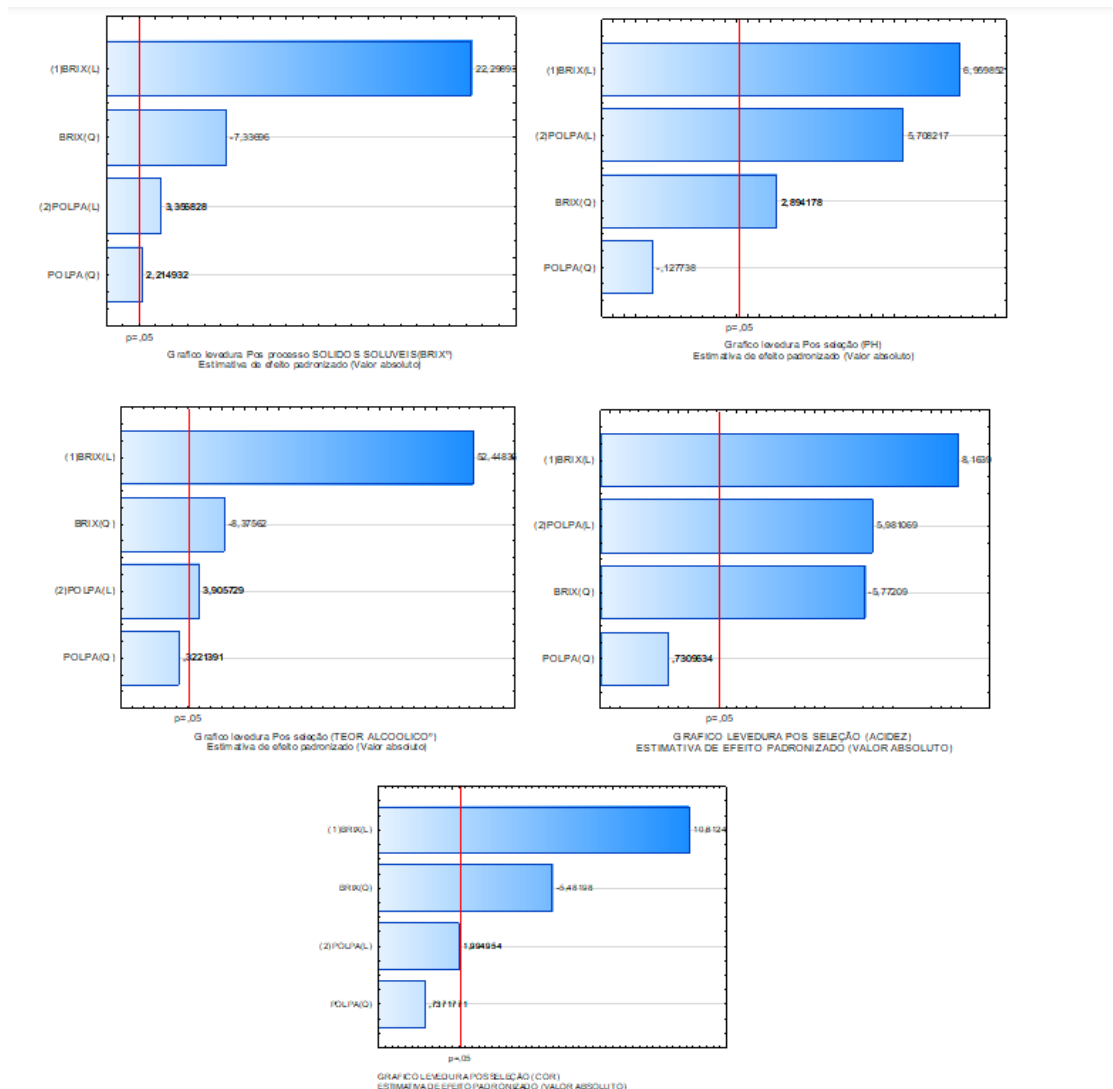


Figura 19-Diagrama de Pareto analyses fisico-quimicas pos seleção



Nota-se que a maior influencia em todos os graficos da pre seleção (figura 17) esta no Brix° linear ultrapassando de maneira significativa indicando que a concentração de açúcares no mosto é o principal fator influenciador das características finais da cerveja. Esse resultado é reflete com o esperado de que o brix° modifique diretamente a atividade fermentativa das leveduras, impactando significativamente o teor alcoólico, os sólidos solúveis, e até mesmo a acidez e cor do produto final. Nos parametros de Ph e acidez a % de polpa demonstra influencia relevante uma vez que a modificação na concentração de polpa interfere na matriz do mosto e assim na resposta do processo fermentativo. Apesar de seu efeito de menor prioridade a concentração de polpa ainda desempenha papel importante na modulação das características organolépticas e físico-químicas da cerveja além de seu efeito na cor da cerveja sendo assim de grande importancia o controle da quantidade adicionada para obter assim a cor desejada.

Ja os efeitos quadráticos (Q) de BRIX e Polpa da figura 17 nao demonstram tantos valores significativos de improtancia, em sua maioria, indicando assim que as respostas do processo são, em sua maioria, lineares dentro das faixas de variação estudadas. Isso indica que as intervenções e modificações no processo de fermentação podem ser gerenciadas de forma

eficaz com base nos efeitos lineares das variáveis, facilitando o controle e a otimização da fabricação de cerveja. Esses achados fornecem uma base forte para a elaboração de mostos e a adequação de processos, com o objetivo de garantir produtos finais consistentes e de alta qualidade.

Assim como nos gráficos utilizando a levedura pre seleção (figura 17), nos gráficos utilizando a levedura submetida a processos criogênicos (conforme figura 18) o °Brix (L) permanece como a variável de maior impacto em todas as características analisadas, especialmente no teor alcoólico e nos sólidos solúveis, confirmando assim que a concentração de açúcares continua sendo o fator predominante mesmo após a utilização de leveduras selecionadas.

No entanto é possível notar que os efeitos da polpa (L) aparecem com maior destaque em alguns parâmetros, como pH e cor. Tal resultado sugere que o tratamento criogênico da levedura possa vir a alterar a maneira como as mesmas interagem com os componentes sólidos adicionados ao mosto. O tratamento criogênico pode ter potencializado a capacidade das leveduras fermentarem em condições adversas se adaptando assim ao novo meio inoculadas. Os efeitos quadráticos (Q) das variáveis BRIX e Polpa se tornam mais claros em determinados gráficos, como os que abordam o pH e a acidez. Isso indica que as respostas do processo podem ser mais complexas e suscetíveis a mudanças drásticas nas concentrações de açúcares e polpa, especialmente após a aplicação do processo criogênico nas leveduras. Esse ponto sugere que, apesar da predominância dos efeitos lineares, uma otimização total do processo pode exigir uma análise mais aprofundada das interações entre as variáveis.

Ao analisar os gráficos de Pareto referentes aos processos de fermentação, tanto com leveduras pre tratamento como o pós tratamento, observa-se que o brix (L) se mantém como a variável mais impactante em ambas as situações, evidenciando a importância da concentração de açúcares no mosto. No entanto, na figura 18 que envolvem leveduras submetidas a processos criogênicos, os efeitos da polpa, em especial sobre o pH e a coloração, se tornam mais significativos, sugerindo que o tratamento criogênico intensifica a interação entre as leveduras e a polpa. Ademais, os efeitos quadráticos (q) de brix e Polpa se manifestam de forma mais acentuada em variáveis como pH e acidez nas fermentações com leveduras criogênicas, o que indica uma complexidade maior no processo fermentativo. Dessa maneira, embora o brix continue a ser uma variável central, o emprego de estresse criogênico requer um gerenciamento mais cuidadoso das variáveis para potencializar a fermentação.

5.1.7. Diagrama de Pareto compostos bioativos

As figuras 18 e 19 correspondem aos diagramas de Pareto pre e pos processo criogenico os quais representam os efeitos estimados, em ordem decrescente de magnitude, das variáveis independentes. Foram avaliados os parametros de compostos bioativos: Antocianinas, Taninas, Flavonoides e Fenolicos.

Figura 20-Diagrama de Pareto analises compostos bioativos pre seleção

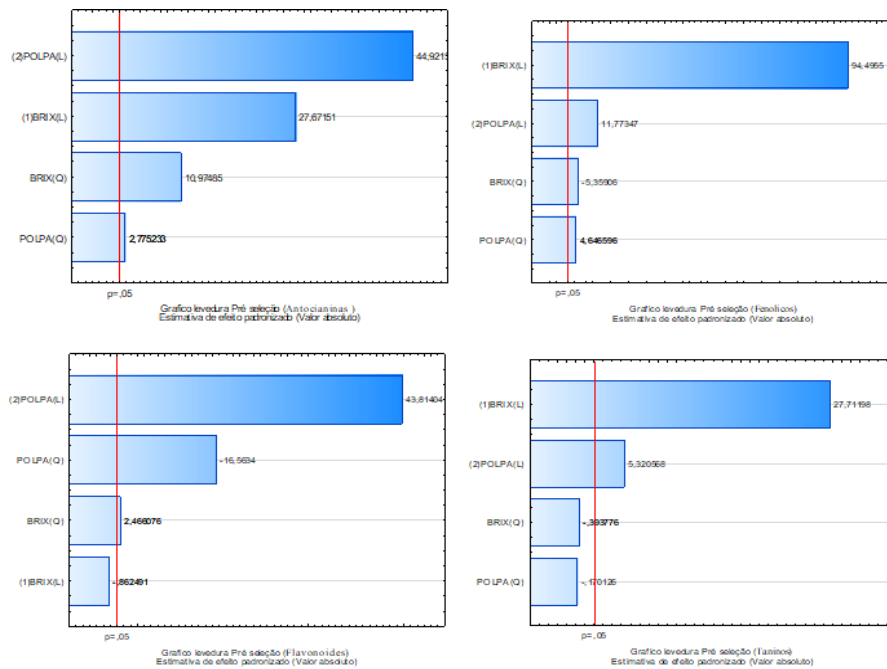
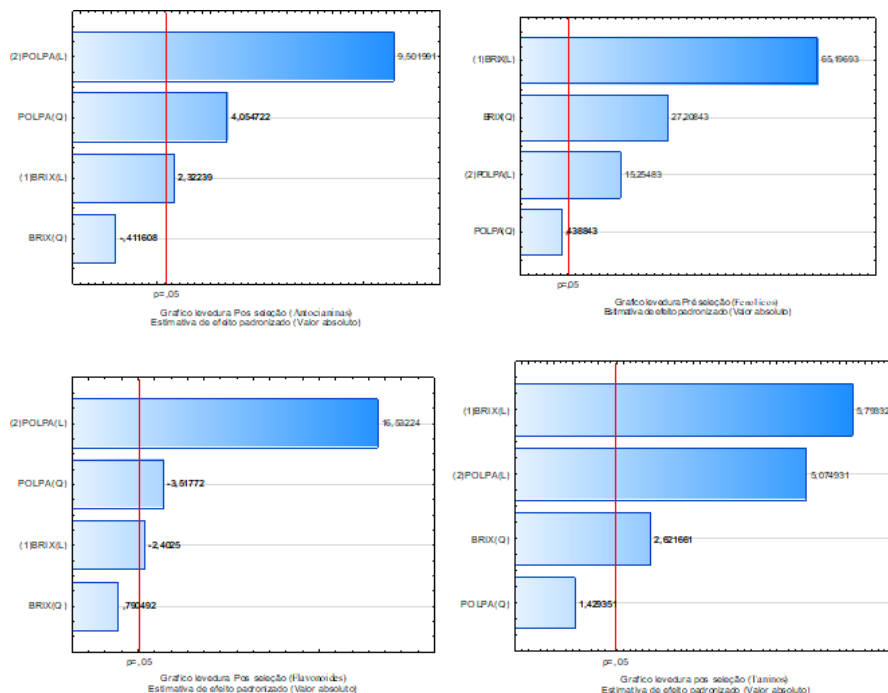


Figura 21-Diagrama de Pareto analises compostos bioativos pos seleção



Notou-se que a variável de polpa em sua forma linear apresentou um impacto mais significativo nas concentrações de Antocianinas e Flavonoides nos gráficos da figura 19, demonstrando valores mais elevados e demonstrando que a modificação nos valores da polpa no mosto interferem diretamente na extração ou preservação destes compostos bioativos durante a fermentação.

O brix linear continua sendo a variável dominante para a concentração de compostos fenólicos e taninos indicando que o valor de açúcares do mosto é um fator crucial para a síntese desses compostos durante a fermentação. A variação nos efeitos de brix e Polpa sobre os diferentes compostos bioativos indica que a composição inicial do mosto e a quantidade adicionada de polpa são determinantes para o perfil de bioativos na cerveja.

Ao contrário dos resultados obtidos utilizando leveduras pre tratamento, é possível notar que nos gráficos da figura 20 a porcentagem de polpa, especialmente em sua representação linear polpa(L), exerce uma influência ainda mais marcante sobre os compostos bioativos, sobretudo nas antocianinas e taninos. Essa maior influência pode sugerir que as leveduras criogênicas realizam uma interação mais eficaz com os componentes da polpa, intensificando a extração e a conservação desses bioativos.

O brix linear (L) permanece significativo, principalmente no que diz respeito aos compostos fenólicos, embora sua influência seja inferior à da polpa. Essa distinção indica que, na utilização de leveduras pos tratamento o brix pode ter um papel menos crucial no processo de fermentação em relação à retenção ou produção de compostos bioativos, possivelmente devido a mudanças na cinética de fermentação ou na atividade metabólica das leveduras. Portanto, ajustar a concentração de polpa se torna um elemento fundamental afetar o perfil bioativo final da cerveja.

5.1.8. Gráfico de dispersão compostos físico-químicos

As figuras 21 e 22 correspondem aos gráficos de dispersão os quais representam os efeitos estimados, em ordem aleatória de magnitude, das variáveis independentes. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos: Sólidos solúveis, Ph, Teor alcoólico, Acidez e Cor.

Figura 22-Grafico de dispersão levedura pre seleção

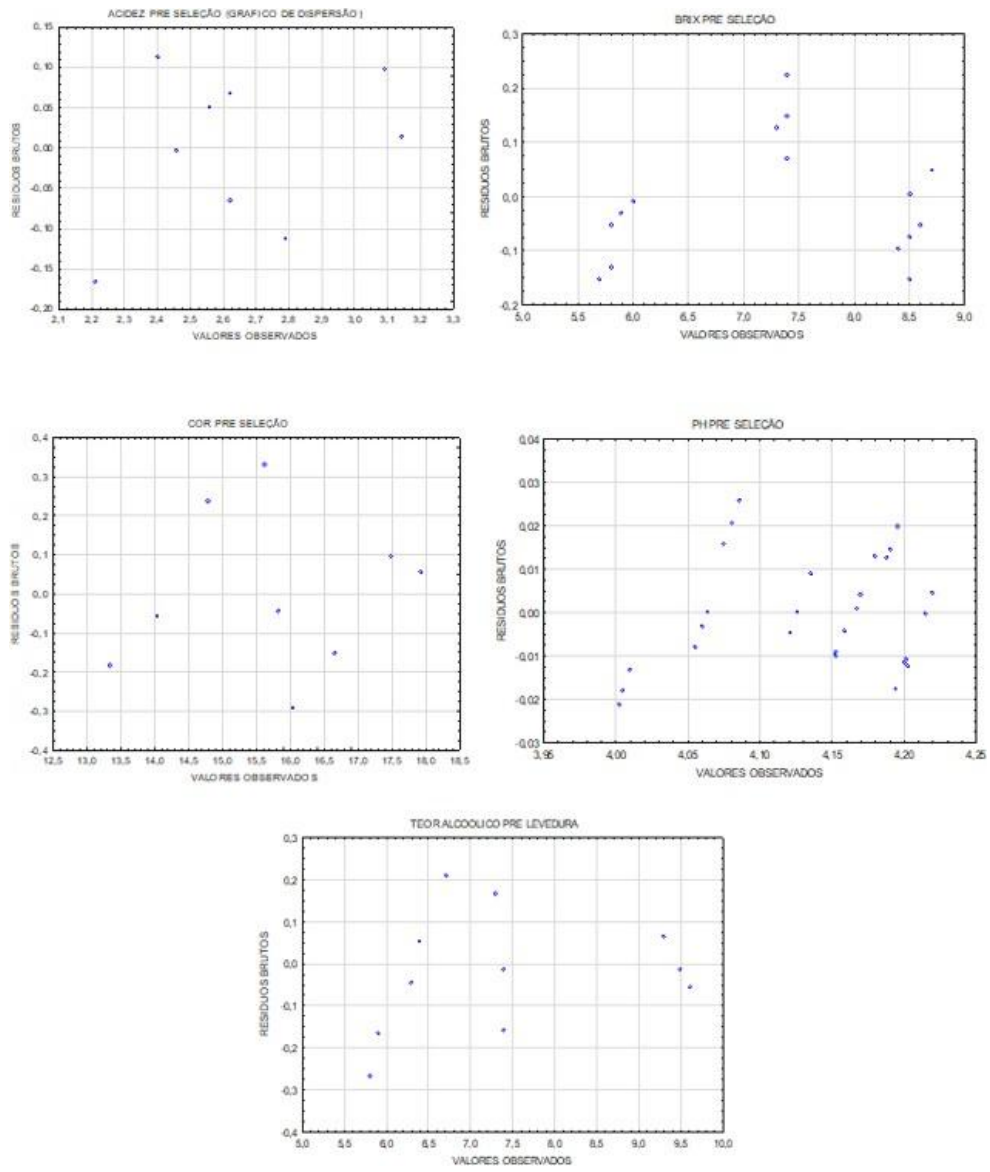
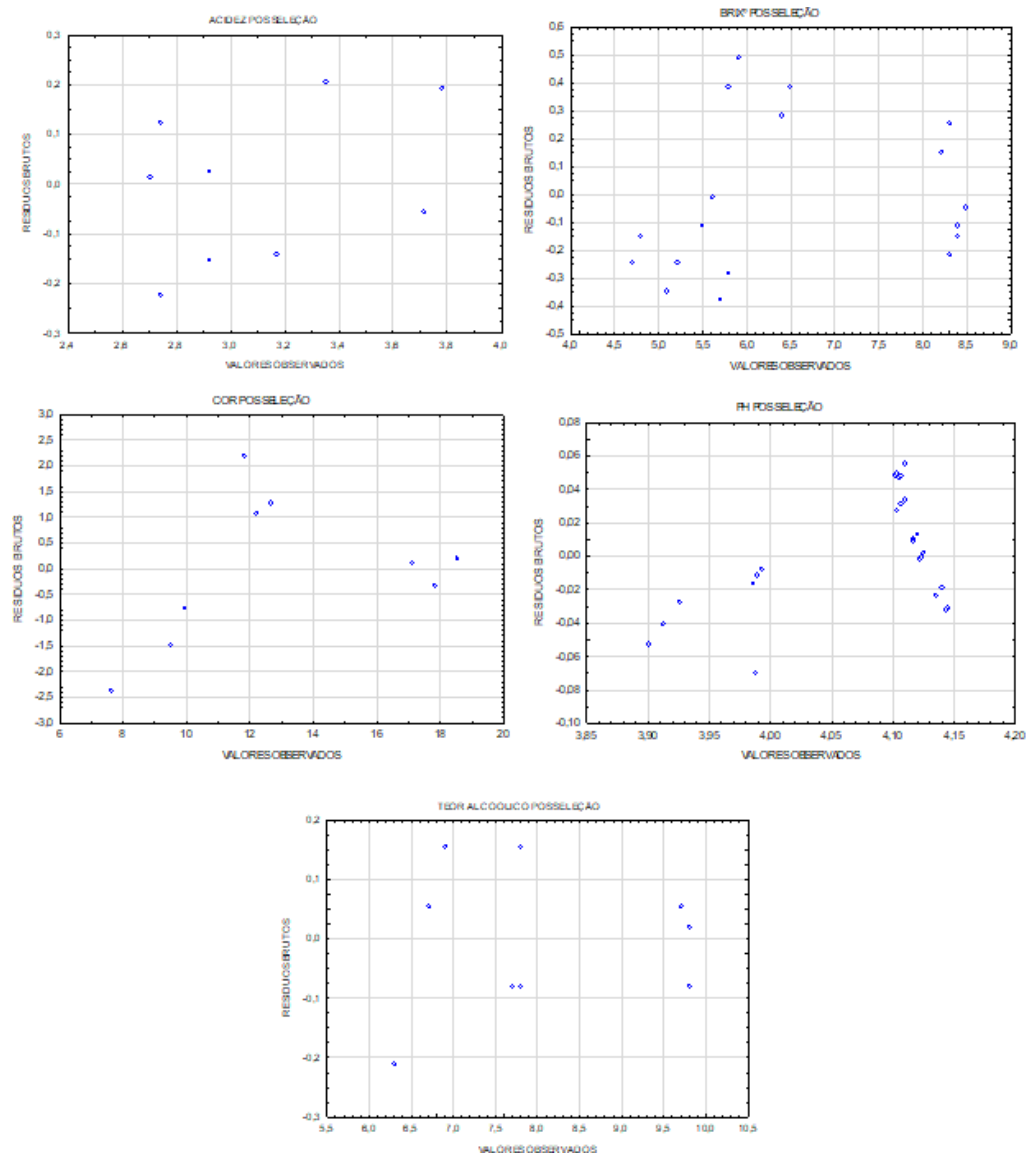


Figura 23- Grafico de dispersão levedura pos seleção



A distribuição dos resíduos foi totalmente aleatória, logo o experimento se caracteriza como não tendencioso, assim sendo a condução do experimento e o modelo matemático aplicado aos dados tornam-se validados.

Ao analisarmos os gráficos de dispersão das leveduras antes e após a seleção criogênica (figuras 21 e 22), notamos alterações significativas na distribuição dos pontos em relação aos valores observados e seus respectivos resíduos. Antes da seleção, os gráficos apresentavam uma dispersão mais ampla e uma ausência de um padrão definido, o que sugere uma maior variabilidade nos resultados e um possível problema de consistência no processo de fermentação. Isso indica que, ao utilizar leveduras convencionais, o processo seria mais vulnerável a flutuações nos parâmetros operacionais, resultando em menor previsibilidade e controle sobre as características finais do produto.

Com a seleção criogênica, os gráficos de dispersão da figura 22 demonstram uma diminuição nos resíduos e uma distribuição mais concentrada em torno dos valores observados, o que evidencia uma maior consistência e previsibilidade no processo.

5.1.9. Grafico de dispersão compostos bioativos

As figuras 23 e 24 correspondem aos graficos de dispersão os quais representam os efeitos estimados, em ordem aleatoria de magnitude, das variáveis independentes. Foram avaliados os parametros de compostos bioativos: Antocianinas, Taninas, Flavonoides e Fenolicos.

Figura 24-Grafico de dispersão levedura pre seleção

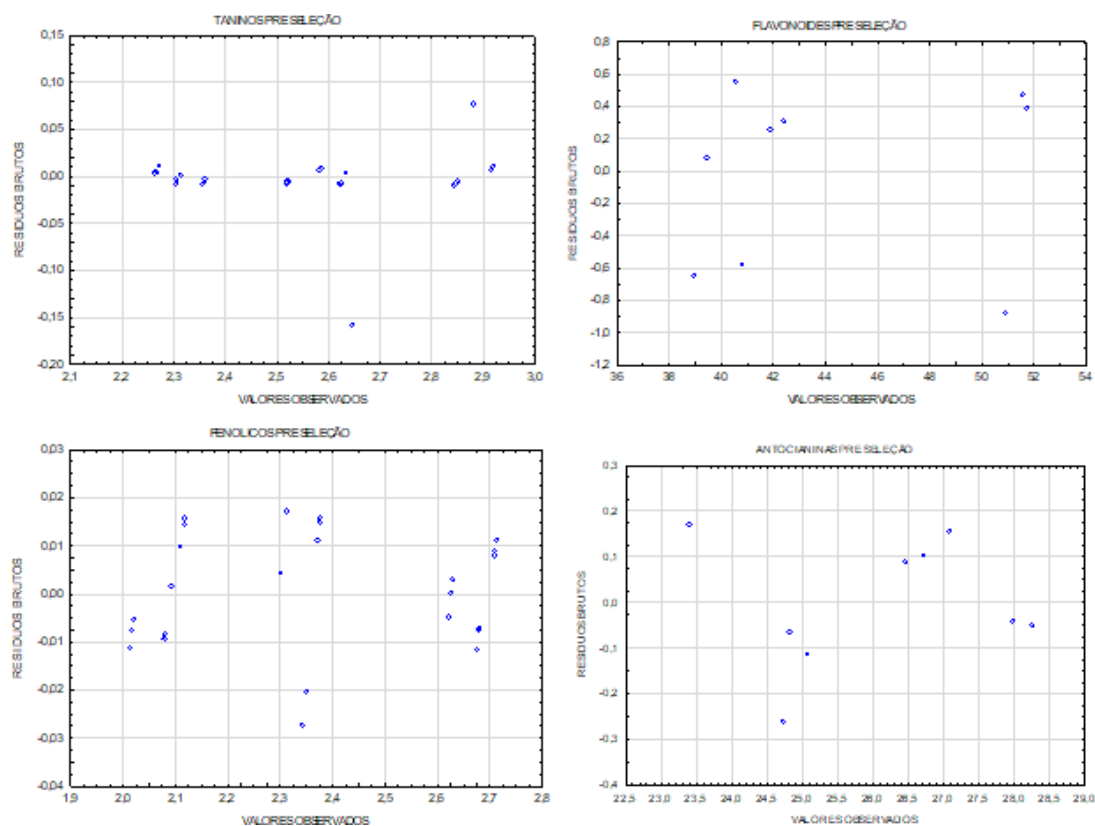
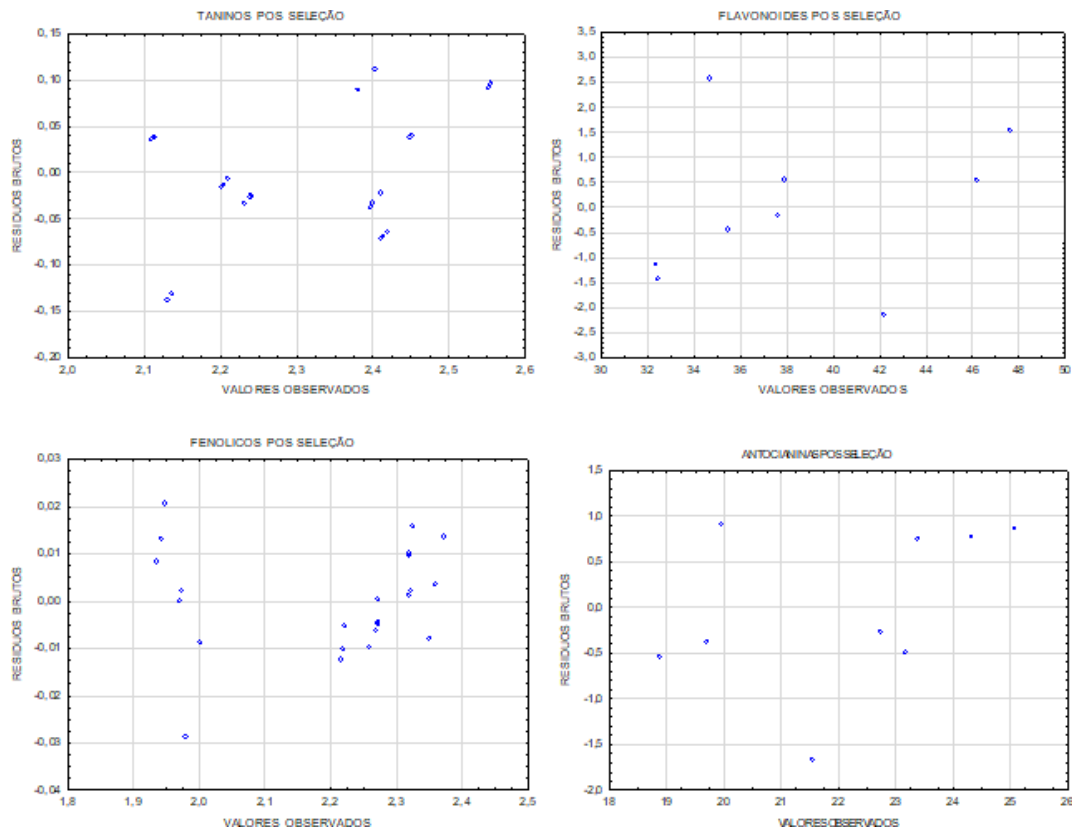


Figura 25-Grafico de dispersão levedura pos seleção



Assim como nas avaliações dos gráficos físico-químicos de dispersão a distribuição dos resíduos foi totalmente aleatória, logo o experimento se caracteriza como não tendencioso, assim sendo a condução do experimento e o modelo matemático aplicado aos dados tornam-se validados. Seguindo a mesma lógica com a seleção criogênica, os gráficos de dispersão demonstram uma diminuição nos resíduos e uma distribuição mais concentrada. Essa dispersão reduzida pós-seleção sugere que as leveduras criogênicas oferecem um controle melhorado sobre o processo de fermentação, resultando em uma produção mais estável e com características mais consistentes dos compostos bioativos (taninos, flavonoides, fenólicos e antocianinas).

5.1.10. Grafico de valores observados x preditos para compostos fisico-quimicos

As figuras 25 e 26 correspondem aos graficos de valores observados x preditos os quais representam os efeitos estimados, em ordem linear de magnitude, das variáveis independentes. Foram avaliados os parametros fisico-quimicos: Solidos soluveis, Ph, Teor alcoolico, Acidez e Cor.

Figura 26- Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para levedura pre seleção.

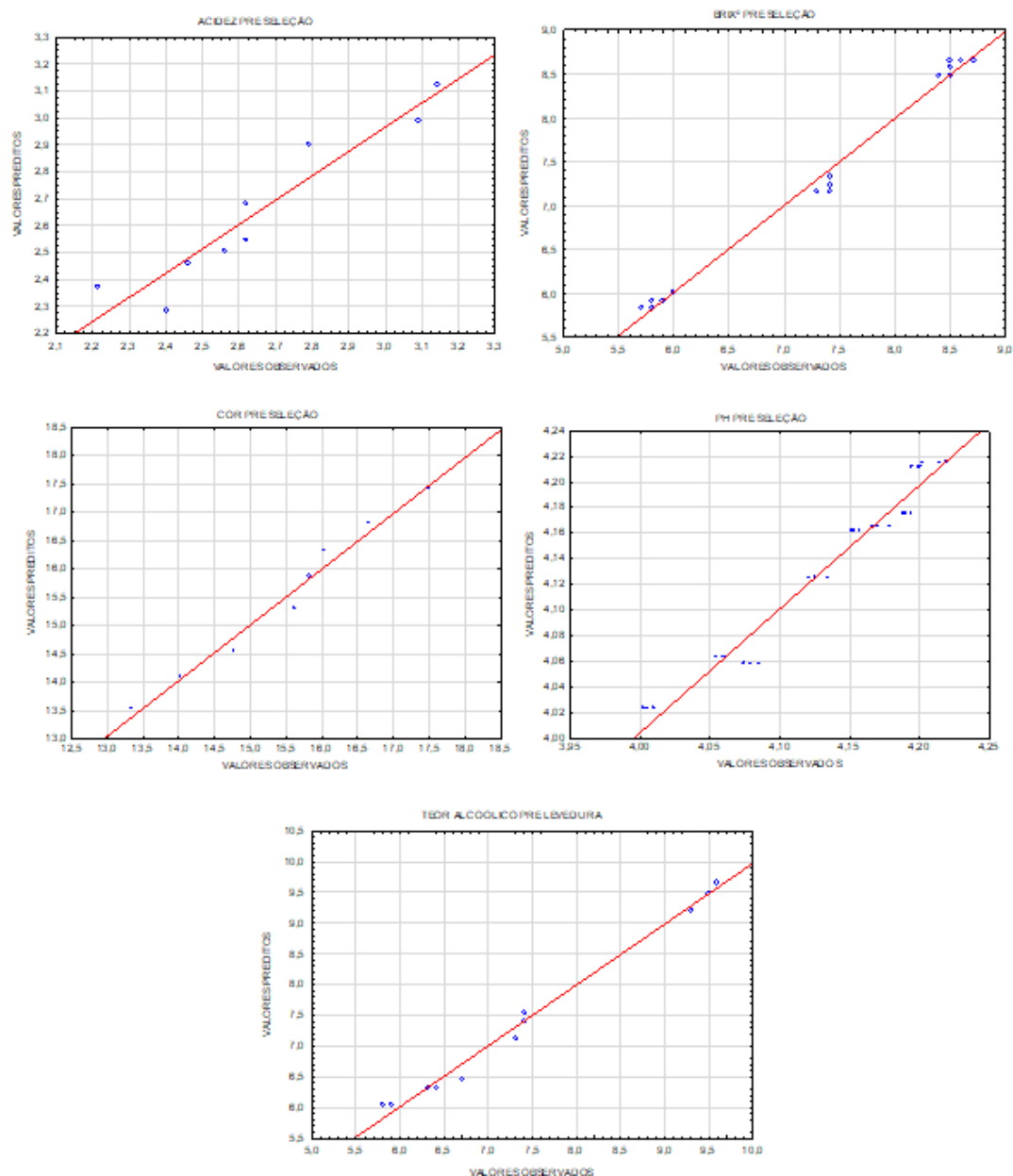
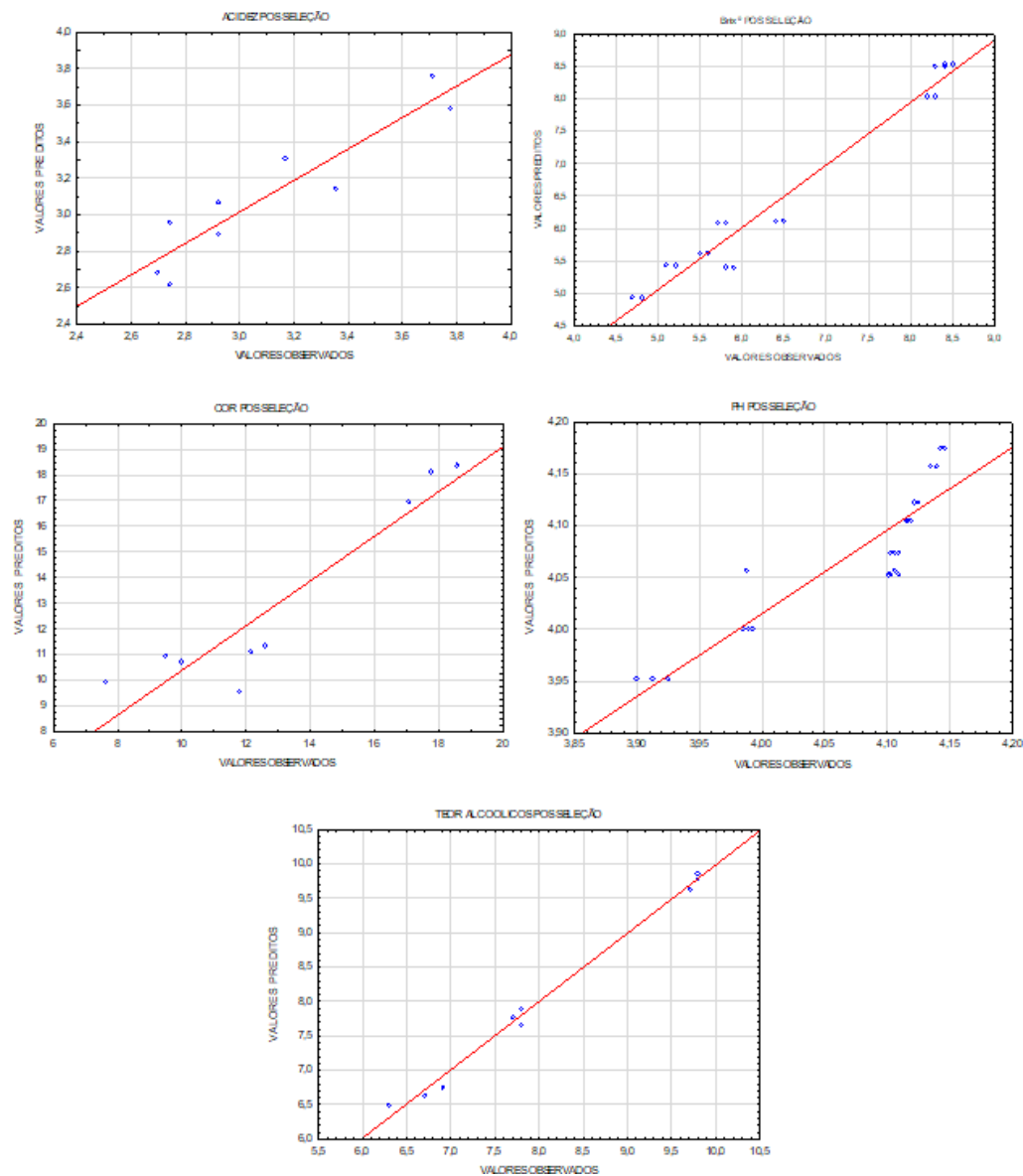


Figura 27-Valores experimentais versus valores previstos pelo modelo para levedura pos seleção.



O modelo matemático apresentou tendência linear em todos os parâmetros analisados. Nota-se uma clara melhoria na aderência dos pontos à linha de tendência (linha vermelha) após a seleção. Com a utilização de leveduras criogênicas conforme gráficos da figura 26, os resultados previstos se aproximam mais dos dados coletados, demonstrando uma maior precisão nos modelos preditivos e uma menor variação nos dados. Essa melhoria indica que a seleção criogênica das leveduras proporciona um processo de fermentação mais uniforme e previsível, permitindo um controle aprimorado das variáveis de interesse, como compostos bioativos e propriedades físico-químicas. A adoção da seleção criogênica aumenta a confiabilidade dos modelos preditivos, resultando em um processo de fermentação mais constante e replicável.

5.1.11. Grafico de valores observados x preditos para compostos bioativos

As figuras 27 e 28 correspondem aos graficos de dispersão os quais representam os efeitos estimados, em ordem linear de magnitude, das variáveis independentes. Foram avaliados os parametros de compostos bioativos: Antocianinas, Taninas, Flavonoides e Fenolicos.

Figura 28-Valores experimentais versus valores previstos (bioativos) pelo modelo para levedura pre seleção.

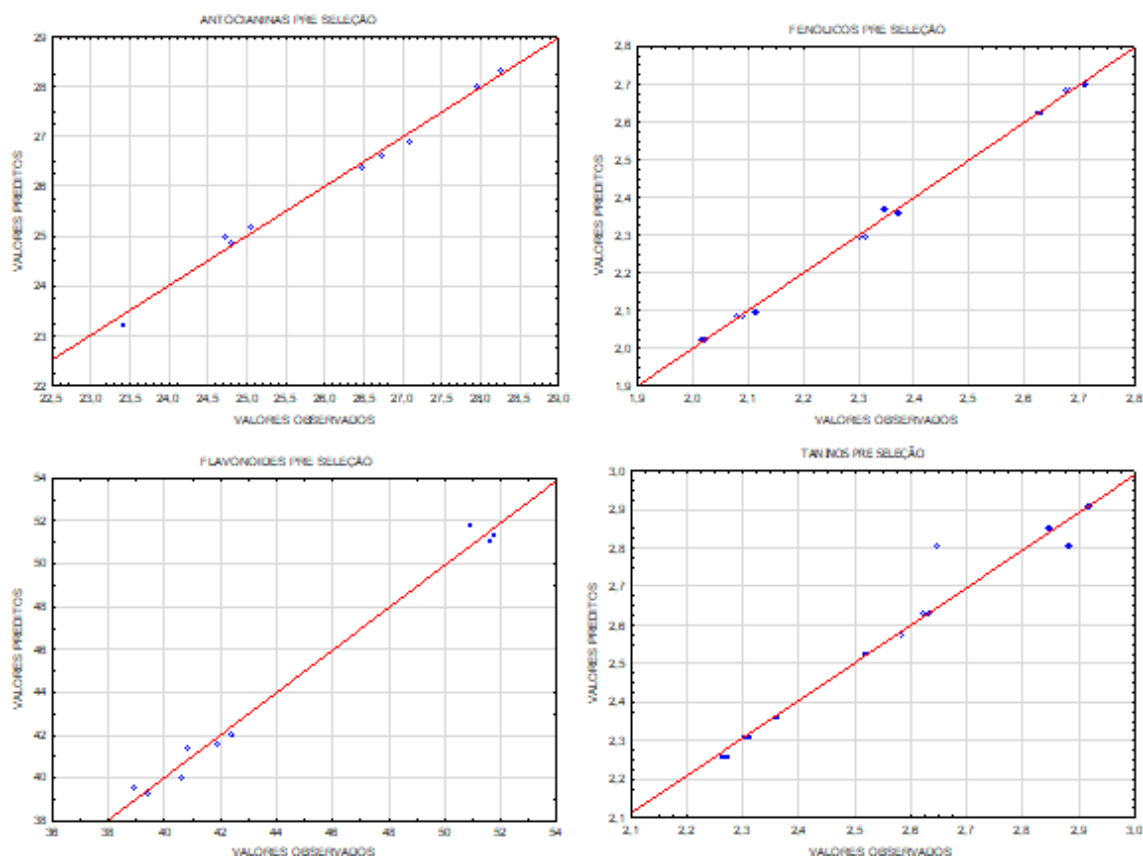
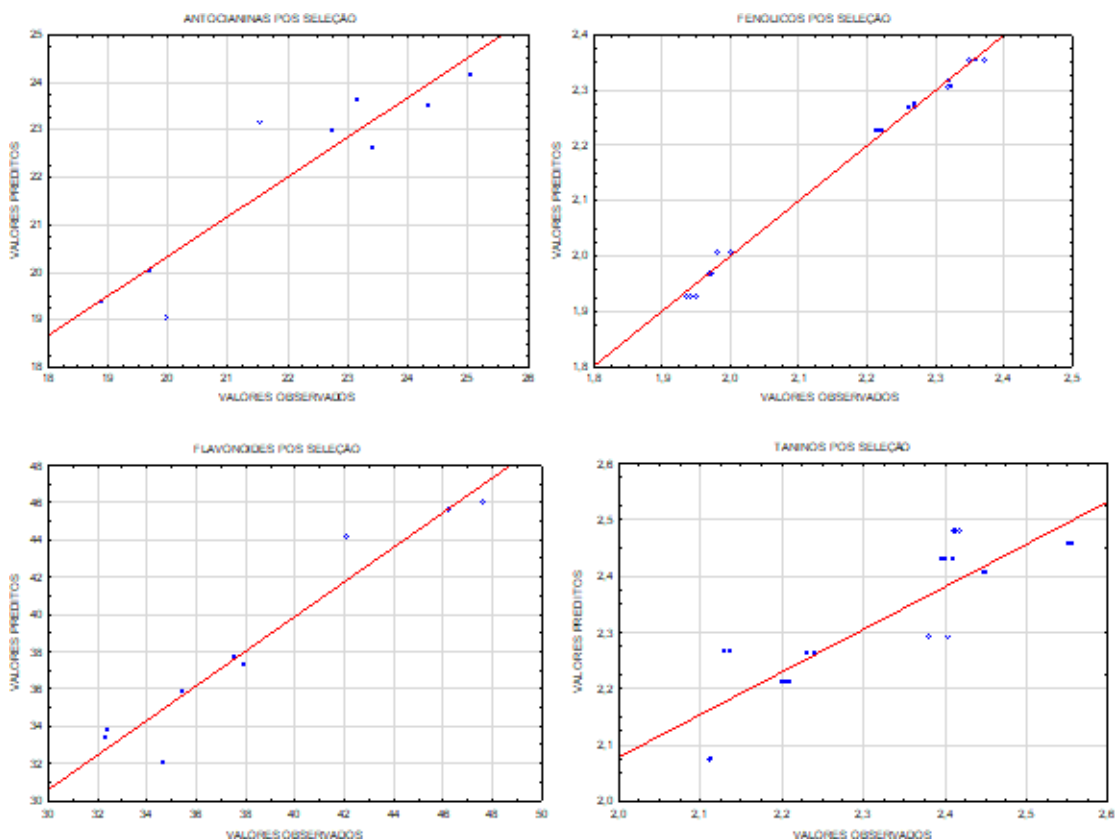


Figura 29-Valores experimentais versus valores previstos (bioativos) pelo modelo para levedura pós seleção.



O modelo matemático apresentou tendencia linear em todos os parâmetros analisados. A adoção da seleção criogênica aumenta a confiabilidade dos modelos preditivos, resultando em um processo de fermentação mais constante e replicável.

6 Conclusão

A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- Frutas do genero:
 - A seriguela possui características físico-químicas únicas e benéficas à saúde. Sua polpa apresenta ótimos parâmetros, tornando-a atrativa para diversificar o mercado cervejeiro e atrair consumidores em busca de experiências funcionais e inovadoras.
- Efeito da Seleção Criogênica nas Propriedades Físico-Químicas:
 - As leveduras criogênicas resultaram em cervejas com menor acidez, pH mais estável e cor mais intensa
 - As leveduras criogênicas resultaram em cervejas com menor acidez, pH mais estável e cor mais intensa

- Impacto no Teor Alcoólico e Solidez dos Sólidos Solúveis
 - Cervejas fermentadas com leveduras criogênicas apresentaram ligeira redução no teor alcoólico e sólidos solúveis influenciando assim na cinética de fermentação.
- A análise estatística mostrou que ambos os fatores testados são significativos ao nível de 5% de significância para todas as variáveis respostas
 - Utilização de leveduras criogênicas demonstrou maior consistência e previsibilidade, conforme evidenciado pela maior precisão nos modelos preditivos, indicando um processo fermentativo mais controlado.
- Variação nas Propriedades Sensoriais
 - As diferenças em cor e acidez entre as cervejas pré e pós-seleção sugerem que a seleção criogênica pode ser uma ferramenta para ajustar as propriedades sensoriais da cerveja de acordo com o perfil desejado.
- No ensaio V9 com leveduras pós-seleção, foi observado o maior teor de fenólicos (2,71 g/100ml), taninos (2,92 g/100ml), e antocianinas (0,0028 g/100ml), indicando uma alta concentração de compostos benéficos.
- O mesmo ensaio V9 apresentou o maior teor alcoólico (9,8%), sólidos solúveis (8,37), e cor mais intensa (18,54 EBC) após a seleção criogênica, o que sugere uma fermentação robusta e um produto final com características sensoriais aprimoradas.

7 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, J. F. G.; SILVA, M. A. A.; SOUSA, P. H. M. Frutas nativas da região nordeste do Brasil e seu potencial de uso. 2018.

ARAUJO, A. B. et al. Exploring the sensory profile of craft beers: A hedonic study using check-all-that-apply (CATA) questions and self-reported ratings. *Food Research International*, v. 128, p. 108772, 2020.

AZEVEDO, A. M. et al. Estudo da composição química e avaliação sensorial de barras de cereais adicionadas de polpa de seriguela (*Spondias purpurea* L.). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 5, p. 69-74, 2012.

BAHUKHANDI, A.; DHYANI, P.; BHATT I. D.; RAWAL, R. S. Variation in polyphenolics and antioxidant activity of traditional apple cultivars from West Himalaya, Uttarakhand. *Horticultural Plant Journal*, v. 4, n. 4, p. 151-157, 2018.

BARROS, M. C. S. et al. Caracterização física e química de frutos de seriguela (*Spondias purpurea* L.) na região de Manaus-AM. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 2, p. 443-450, 2011.

BASTOS, J. S.; MARTINEZ, E. A.; SOUZA, S. M. A. Características físico-químicas da polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) comercial: Efeito da concentração. *Journal of Bioenergy and Food Science*, v. 3, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2016.

BEKATOROU, A.; PSARIANOS, C.; KOUTINAS, A. A. Production of food grade yeasts. *Food Technology Biotechnology*, v. 44, n. 3, p. 407-415, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009. *Diário Oficial da União*, Brasília, 05/06/2009. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. Acesso em: 07 nov. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009. *Diário Oficial da União*, Brasília, 05/06/2009. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. Acesso em: 07 nov. 2013.

BROWN, M.; POWER, A. The art and science of brewing: The microbiology of brewing. *Academic Press*, 2019.

CARVALHO, C. et al. The potential of cryogenic yeast banking for improving industrial brewing strains. *Food Research International*, v. 111, p. 671-679, 2018.

CARVALHO, F. J. S. et al. Aspectos fenológicos e fitossociológicos de uma população natural de seriguela (*Spondias purpurea* L.) no semiárido pernambucano. 2011.

CARVALHO, G. B. M.; ROSSI, A. A.; SILVA, J. B. A. Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 1ª parte – As leveduras. *Revista Analytica*, São Paulo, n. 25, p. 36-42, 2006.

CEREDA, M. P. Cervejas. In: AQUARONE et al. *Biotecnologia: Alimentos e bebidas produzidos por fermentação*. São Paulo: Edgar Blucher, 1983. Cap. 3, p. 46.4.

CERVBRSIL. Anuário 2015 da Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. 2016. Disponível em: <>. Acesso em: 03 fev. 2016.

CLARK, A. C.; COSTA, A. B.; DA SILVA, D. M.; PEREIRA, L. D.; DE OLIVEIRA, D. Beer production: Microbiological aspects and quality control. In: *Beer: Production, Consumption and Health Effects*. Nova Science Publishers, 2019. p. 1-24.

COSTA, J. R. et al. Consumo de cerveja artesanal: Um estudo com consumidores em São Paulo. *Revista Brasileira de Marketing*, v. 19, n. 3, p. 462-479, 2020.

COSTA, P. et al. Genetic stability and brewing performance of frozen and freeze-dried brewing yeast strains. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 126, n. 4, p. 421-431, 2020.

CURI, R. A. Produção de cerveja utilizando cevada como adjunto de malte. 2006. xi, 123 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2006. Disponível em: <>. Acesso em: 20 ago. 2022.

DEÁK, T. Yeast classification and *Saccharomyces cerevisiae* domestication. In: *Biodiversity and ecophysiology of yeasts*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 21-65.

DOS SANTOS, R. C. et al. Contribution of craft beer to total intake of antioxidants. 2021.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, G. W. *Bebidas Alcoólicas: Ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 2010. v. 1, p. 15-50.

EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS. SILVA, J. C.; LIMA, M. S.; SILVA, R. G.; ARAÚJO, F. R. Composição química e atividade antioxidante de frutas do gênero *Spondias*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 43, n. 2, e-715, 2021.

ERTHAL, A. D. Microcervejaria. SEBRAE, 2006. Disponível em: <>. Acesso em: 20 ago. 2022.

GALLONE, B. et al. Domestication and divergence of *Saccharomyces cerevisiae* beer yeasts. *Cell*, v. 181, n. 2, p. 428-445, 2020.

GARCIAR, A. N.; DA COSTA, A. B.; DE MELO, P. S.; PEREIRA, L. D. Brewer's yeast: General characteristics, physiology and applications in brewing. In: *Beer: Production, Consumption and Health Effects*. Nova Science Publishers, 2018. p. 25-48.

GONZALEZ, S. B. E.; QUEIROL, A. Molecular characterization of new natural hybrids of *Saccharomyces cerevisiae* and *S. kudriazevii* in brewing. *Applied Environmental Microbiology*, v. 74, p. 2314-2320, 2008.

GUIMARÃES, T. M. Isolamento, identificação e seleção de cepas de levedura *Saccharomyces cerevisiae* para elaboração de vinho. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2005.

HARRISON, J. F.; SCHAECHTER, M. The brewing industry. In: *The Prokaryotes*, v. 1, p. 809-825, 2009.

HUSSAIN, A.; ANWAR, F.; IQBAL, S.; BHANGAR, M. I. Antioxidant attributes of four Lamiaceae essential oils. *Pakistan Journal of Botany*, v. 40, p. 2241-2249, 2008.

IWAI, M. et al. Characterization of tropical fruit beers fermented with isolated indigenous yeast strains. *Food Research International*, v. 143, p. 110331, 2021.

KARAOGLAN, M.; ZORLU, N.; CERIBASI, A. O.; ALCI, E. Effect of fermentation temperature on beer volatile compounds and sensory properties. *Journal of Food Science*, v. 77, n. 1, p. 35-42, 2012.

KIRSCHENBAUER, F. G. Beer production processes and its products. In: *Advanced Biochemistry*. Berlin: Springer, 2006. p. 15-22.

KOLLFRED, G. et al. Development of a method for the determination of polyphenols in beer using high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, v. 789, p. 134-139, 2013.

LEITE, J. B. et al. Características físico-químicas da polpa de seriguela comercializada em Maceió-AL. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 2, p. 447-450, 2008.

LEITÃO, F. Aspectos microbiológicos e físico-químicos da produção de cervejas. *Revista Ceres*, v. 64, n. 2, p. 149-157, 2017.

LI, H. et al. Brewing craft beer from tropical fruits: Current research trends and future perspectives. *Journal of Food Science and Technology*, v. 59, n. 6, p. 2104-2117, 2022.

LIMA, M. P. et al. Caracterização físico-química e microbiológica de frutos de seriguela (*Spondias purpurea* L.) durante o processo de maturação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 1, p. 29-36, 2014.

LIMA, P. et al. Efeito do processo de fermentação nas características sensoriais de cervejas artesanais. *Revista de Ciências Agroambientais*, v. 20, n. 3, p. 467-475, 2021.

LUCENA, M. S. et al. Aproveitamento do resíduo do processamento da seriguela (*Spondias purpurea* L.) na formulação de barras de cereais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, n. 3, p. 44-51, 2012.

MACHADO, P. A. et al. Caracterização físico-química de cervejas comerciais brasileiras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 6, p. 685-690, 2012.

MAGALHÃES, T. S. et al. Efeitos da maturação de frutos de seriguela (*Spondias purpurea* L.) sobre as características físico-químicas e composição mineral. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, n. 4, p. 1-12, 2014.

MALLET, J. Estilos de cerveja. In: *Manual de fabricação de cerveja artesanal*. 5. ed. São Paulo: Editora Senac, 2017. p. 98-109.

MANTZOURIDIS, C.; HATZIAKOU, S. Evaluation of yeast strains isolated from traditional beverages for use in beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 119, n. 3, p. 176-182, 2013.

MARCONE, M. F. et al. Chemical characterization and functional properties of Brazilian seriguela (*Spondias purpurea* L.). *Food Chemistry*, v. 210, p. 78-85, 2016.

MARTINS, F. A.; ROSSI, L.; SILVA, R. Tecnologia de produção de cerveja artesanal. In: OLIVEIRA, L. E.; SOUZA, R. V. *Tecnologias emergentes na indústria de alimentos*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2020. p. 145-156.

MASSEY, M. A.; CONNOR, L. B.; WILLIAMS, K. J. Brewing beer with unique strains of yeast: Genetic approaches and flavor profiles. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 84, n. 3, p. 1234-1256, 2020.

MCKEOWN, N. M. The history and culture of beer: An overview. *Food Research International*, v. 57, p. 305-312, 2014.

MORAES, I. C. et al. Tecnologia de fermentação cervejeira: Aspectos microbiológicos e fisiológicos da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Ciência Rural*, v. 45, n. 7, p. 1250-1258, 2015.

MORENO, A.; PEARSON, M. L. Brewing with tropical fruits: The chemical interplay between yeast and fruit compounds. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 2, p. 987-993, 2021.

MURCIA, S. et al. Beer as a carrier of antioxidant compounds: An analysis of beer types and production techniques. *Journal of Food Chemistry*, v. 352, p. 125-130, 2020.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; SILVA, J. B. A. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. *Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Edgar Blucher, 2010. v. 1, p. 23-55.

NAKAMURA, H. M. et al. Avaliação da qualidade de cervejas artesanais produzidas com frutas tropicais. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 74, n. 2, p. 155-160, 2018.

NEVES, F. M.; MOREIRA, A. S.; SOUSA, D. M. Produção de cerveja artesanal: Aspectos técnicos e sensoriais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 9, n. 2, p. 141-148, 2020.

NUNES, M. E. T. et al. Análise sensorial de diferentes tipos de cerveja e sua aceitação por consumidores. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 33, n. 2, p. 150-155, 2013.

OLIVEIRA, J. S. et al. Fermentation dynamics and yeast adaptability in beer production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 105, n. 1, p. 123-130, 2021.

PAIVA, G. R. C. et al. Efeito da polpa de seriguela no desenvolvimento de iogurte simbiótico. *Revista de Ciência e Tecnologia*, v. 10, n. 4, p. 162-170, 2015.

PAPINI, R. A.; CASARIN, L. V. Produção e consumo de cervejas artesanais no Brasil: Um estudo exploratório. *Revista de Administração*, v. 51, n. 1, p. 23-35, 2016.

PASSOS, M. A. O Mercado cervejeiro no Brasil. *Revista Brasileira de Comércio Exterior*, v. 15, n. 2, p. 36-42, 2020.

PEIXOTO, A. G. et al. Produção de cerveja artesanal a partir de frutas regionais: um estudo de caso. *Revista de Biotecnologia & Ciência*, v. 3, n. 2, p. 68-76, 2015.

PELEGRINI, L. F. et al. Produção de cerveja artesanal com adição de frutas tropicais: Influência no perfil sensorial e aceitação do consumidor. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2018.

PEREIRA, G. E. et al. Fermentação de cervejas artesanais com leveduras isoladas de frutas tropicais: Aspectos microbiológicos e sensoriais. *Food Microbiology*, v. 76, p. 54-61, 2018.

PONTES, F. S.; SILVA, M. R. Avaliação da qualidade físico-química de cervejas comerciais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 4, p. 267-273, 2018.

RAUB, C. et al. Impact of aging on the flavor profile of barrel-aged beers. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, v. 79, n. 1, p. 87-98, 2021.

REIS, C. E. et al. Avaliação de diferentes cepas de leveduras na fermentação de cervejas artesanais. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 14, n. 2, p. 29-38, 2021.

RIBEIRO, J. A. et al. Caracterização físico-química de cervejas artesanais produzidas com adição de polpa de frutas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, n. 4, p. 12-21, 2018.

RIZZETTI, T. M.; MELLO, J. M.; SILVEIRA, J. A. G. Utilização de frutas tropicais no processo de produção de cerveja artesanal: Caracterização físico-química e avaliação sensorial. *Revista de Ciência e Tecnologia*, v. 10, n. 4, p. 135-145, 2020.

ROCHA, S. A. et al. Qualidade físico-química e sensorial de cervejas artesanais com adição de frutas regionais. *Revista Brasileira de Agroindústria*, v. 11, n. 2, p. 107-116, 2017.

RODRIGUES, L. L. et al. Produção de cerveja artesanal com frutas tropicais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, n. 2, p. 87-95, 2012.

RÖHL, T. et al. Insights into the aroma compounds formed during barrel-aging of craft beer. *Food Chemistry*, v. 306, p. 125347, 2020.

ROMANI, J. P. et al. Efeitos da maturação em barris de carvalho sobre as características sensoriais de cervejas artesanais. *Journal of Food Science*, v. 84, n. 6, p. 1542-1551, 2019.

RUIZ, A. M.; SOUZA, L. E. P. Utilização de polpas de frutas tropicais na produção de cervejas artesanais. *Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos*, v. 15, n. 3, p. 133-140, 2018.

SANTOS, D. C. et al. Avaliação da estabilidade sensorial e físico-química de cervejas artesanais durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 20, n. 1, p. 43-52, 2018.

SILVA, A. M. et al. Caracterização físico-química e aceitação sensorial de cervejas produzidas com frutas regionais. *Revista de Tecnologia Alimentar*, v. 17, n. 2, p. 67-74, 2020.

SILVA, J. S.; CARVALHO, M. G. Uso de frutas tropicais na produção de cervejas artesanais: Tendências de inovação. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 16, n. 1, p. 61-69, 2020.

SOUZA, R. V. et al. Características sensoriais e químicas de cervejas artesanais com adição de polpa de frutas. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 11, n. 2, p. 121-130, 2018.

TAVARES, T. S. et al. Desenvolvimento de cerveja artesanal utilizando polpa de seriguela (*Spondias purpurea* L.). *Revista Brasileira de Engenharia de Alimentos*, v. 25, n. 3, p. 231-240, 2019.

TOMÁS, M. A. et al. Estudo da aceitação sensorial de cervejas artesanais com diferentes concentrações de polpa de frutas. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 14, n. 3, p. 78-85, 2020.

VANHOENACKER, G.; DE KEUKELARE, V.; VERSTREPEN, K. J. Brewing beer with novel yeast species: Aroma and taste compounds in craft beer. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 104, n. 9, p. 3921-3934, 2020.

VENTURINI FILHO, W. G. et al. Aspectos microbiológicos da fermentação e maturação de cervejas artesanais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 7, n. 2, p. 35-42, 2020.

VIEIRA, F. M. et al. Características sensoriais de cervejas com adição de frutas tropicais. *Revista Brasileira de Engenharia de Alimentos*, v. 30, n. 1, p. 84-92, 2021.

WALKER, G. M.; STEWART, G. G. *Saccharomyces cerevisiae* in the production of beer. *FEMS Yeast Research*, v. 16, n. 3, p. 1-12, 2016.

II CONCLUSÃO GERAL

A seriguela, com suas características físico-químicas únicas e benefícios à saúde, se destaca como uma opção promissora para diversificar o mercado cervejeiro. Sua polpa, rica em parâmetros de qualidade, pode ser combinada ao uso de leveduras criogênicas, que otimizam o perfil bioativo e as propriedades físico-químicas da cerveja. Essa combinação resulta em um produto final de maior qualidade, com controle refinado sobre o perfil sensorial, ajustado aos objetivos de produção, e se configura como uma estratégia valiosa para a criação de cervejas inovadoras e de alta qualidade.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

Aos 21 dias do mês de AGOSTO de 2024, às 10:00 horas, em sessão pública no Auditório do Prédio de Tecnologia do Frio, Bloco CZ-delta, da UAEALI/CTRN/UFCG, na presença da Banca Examinadora presidida pela professora **Dra. Severina de Sousa (Orientadora)**, o professor **Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata (Orientador)**, a **Dra. Renata Duarte Almeida (Avaliadora-Membro Interno)**, o **Dr. Manoel Tolentino Leite Filho (Avaliador-Membro Externo)**, o aluno **Jonas Leite Cavalcante Neto, Mat.221173020033, DEFENDEU SUA DISSERTAÇÃO DE Mestrado**, intitulado **“PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DE SERIGUELA (Spondias purpúrea L.) A BASE DE LEVEDURAS SELECIONADAS.”**, como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Tolentino Leite Filho, Usuário Externo**, em 26/01/2026, às 09:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JONAS LEITE CAVALCANTE NETO, Usuário Externo**, em 26/01/2026, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENATA DUARTE ALMEIDA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/01/2026, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **SEVERINA DE SOUSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/01/2026, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIO EDUARDO RANGEL MOREIRA CAVALCANTI MATA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/01/2026, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **6199325** e o código CRC **E9724CDE**.