



UnB - Universidade de Brasília
Instituto de Química



Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Química e Biológica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Identificação de Compostos Voláteis Associados à Maturação de Cerveja em Madeira

LUIS EDUARDO PEREIRA NEVES

ORIENTADORA: PROF^a. Dra. GRACE FERREIRA GHESTI

Brasília,DF

2018



UnB - Universidade de Brasília
Instituto de Química





Identificação de Compostos Voláteis Associados à Maturação de Cerveja em Madeira

LUIS EDUARDO PEREIRA NEVES

Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Química e Biológica.

ORIENTADORA: PROF^a. Dra. GRACE FERREIRA GHESTI

Brasília DF

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

Comunicamos a aprovação da Defesa de Dissertação de Mestrado do (a)aluno (a)Luís Eduardo Pereira Neves, matrícula nº 16/0098521,intitulada “**Identificação de Compostos Voláteis Associados à Maturação de Cerveja em Madeira**”,apresentadanoAuditório do Centro de Apoio ao Desenvolvimento TecnológicodaUniversidade de Brasília (CDT/UnB) em02 de Julhode2018.

Prof^a. Dr^a. Grace Ferreira Ghesti
Presidente de Banca (IQ/UnB)

Prof^a. Dr^a Nádia Skorupa Parachin
Membro Titular (IB/UnB)

Dr^a Adriana Drummond Linhares
Membro Titular (IFB – Campus Gama)

Prof^a. Dr^a Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento
Membro Suplente (FCE/UnB)

Dedico

As minhas filhas Betânia e Iolanda que são sem sombra de dúvidas minha maior inspiração para com os meus projetos de vida e de onde eu retiro energia para executá-los.

Aos meu pais e irmãos que sempre me apoiaram, em minhas empreitadas.

Agradecimento

Ao Eduardo Martins fonte de conhecimento e entusiasmo que me proporcionou horas de debates e artigos, e que me forneceu através das Dornas Havanás o material para o estudo.

Aos colegas do LABCCERVA pela dedicação ao projeto, especialmente a Viviane, a Múnic e a Jéssica pelo tempo dedicado a este projeto e a Grace Ghesti minha orientadora pelo incentivo em realizar este trabalho.

Ao meu amigo Alex Sander Dias Machado pelo incentivo absurdo e certeiro que sempre aparece presente em momentos decisivos e importantes.

Ao Fábio Nascimento pela paciência e a Cervejaria Embuarama que me forneceu a base para a elaboração deste estudo.

1.

2. Momentos difíceis da vida nada mais são do que oportunidades para novos desafios e um incentivo para a busca da satisfação existencial.

Eduardo Neves

3. Resumo

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no Brasil. Dentro desta produção, estão inseridas as cervejas especiais e nestas a aplicação do estilo *Wood Aged* maturadas em madeira. Este processo pode ser realizado na presença de cubos, lascas, chips ou em barris. Desta última variação originou o estilo *Barrel Aged*, maturação em barril. A diferença entre os processos está relacionada à exposição da área superficial da madeira com a bebida e o meio onde ela se encontra armazenada, ao qual proporcionará características sensoriais e visuais diferenciadas, tais como a turbidez, cor, e influência na bebabilidade. Em vista da vasta variedade de espécies de madeira no Brasil, é possível vislumbrar sua aplicação para tal fim, porém para isso é fundamental a coleta de dados relacionados a caracterização das diversas madeiras. Foram analisadas amostras de madeiras nacionais para utilizá-las em formato de cubos numa amostra de cerveja tipo lager. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a composição química de tais madeiras tostadas a fim de aplicá-las como inovação tecnológica na etapa de maturação do processo para produzir cervejas do estilo *Wood Aged*. Para isso, foi observado os efeitos físico-químicos, microbiológicos e sensoriais sobre a bebida, em comparação com a cerveja base padrão. Dentre as análises realizadas, para teor de extratíveis, lignina e holocelulose, as madeiras de Castanheira, Jequitibá, Bálsamo, Carvalho e Amburana se destacaram, indicando que sua aplicação na maturação garante aromas e sabores característicos, provindos dos compostos extruturais da madeira através da degradação térmica da lignina e da holocelulose. Pode-se observar que a variação da tosta afetou os valores de extratíveis, lignina e holocelulose na madeira proporcionando diferentes contribuições sensoriais a bebida. Os sabores e aromas foram identificados através de análise sensorial realizada por um corpo de jurados treinados para este fim, e se pode observar através destas análises, um aumento considerável da complexidade nas cervejas maturadas em madeira. Apesar de algumas amostras apresentarem microorganismos indesejáveis ao processo o perfil sensorial da madeira foi mais pronunciado. De acordo com os resultados, a maturação em cubos é efetiva para aplicação em envelhecimento de cerveja, influenciando principalmente na análise organoléptica e visual. A maturação acrescenta valor a cerveja como já é observado no mercado, o processo com cubos de madeira proporciona maior valor agregado ao produto, diminui custos de produção, aumenta a eficiência e produtividade dos processos cervejeiros produzindo cervejas com características sensoriais únicas.

Palavras- chave: Cerveja, madeira, cerveja envelhecida, tecnologia cervejeira, cubos de madeira.

4.

Abstract

Beer is the most consumed alcoholic beverage in Brazil. Within this production, are inserted the special beers and in these the application of the Style Wood Aged matured in wood. This process can be performed in the presence of cubes, chips, chips or in barrels. Of this last variation originated the style Barrel Aged, maturation in barrel. The difference between the processes is related to the exposure of the surface area of the wood to the beverage and the medium where it is stored, which will provide different sensorial and visual characteristics, such as turbidity, color, and influence on drinkability. In view of the wide variety of wood species in Brazil, it is possible to glimpse its application for this purpose, however for this it is fundamental the collection of data related to the characterization of the different woods. For this reason, samples of domestic woods were analyzed to use them in cube format in a sample of lager beer. In view of the above, the objective of this work was to characterize the chemical composition of these roasted woods in order to apply them in the maturing stage of the process to produce Wood Aged style beers. For this, the physical-chemical, microbiological and sensory effects on the beverage were observed in comparison to the standard beer base. Among the analyzes carried out, for the content of extractables, lignin and holocellulose, the Castanheira, Jequitibá, Bálsamo, Carvalho and Amburana woods stood out, indicating that their application in maturation guarantees characteristic aromas and flavors, derived from the extruded wood compounds through degradation lignin and holocellulose. It can be observed that the variation of the toast affected the values of extractables, lignin and holocellulose in the wood, providing different sensorial contributions to the beverage. Flavors and aromas have been identified through sensory analysis performed by a body of jurors trained for this purpose, and a considerable increase in the complexity of beers matured in wood can be observed. Although some samples presented microorganisms undesirable to the process the sensorial profile of the wood was more pronounced. According to the results, the maturation in cubes is effective for application in beer aging, mainly influencing the organoleptic and visual analysis. The maturation adds value to beer as it is already observed in the market, the process with wooden cubes provides greater added value to the product, decreases production costs, increases the efficiency and productivity of the brewing processes producing beers with unique sensorial characteristics.

Keywords: Beer, wood, aged beer, brewing technology, wooden cubes.

5. Sumário

6.

7. Lista de Abreviaturas e Acrônimos

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
BJCP	Beer Judge Certification Program (Programa de certificação de juízes de cerveja)
Trub	Camada de sedimentos
PIB	Produto Interno Bruto
°C	Graus Celsius
g	Grama
Kg	Quilograma
L	Litro
Min	Minuto
pH	Potencial Hidrogeniônico
nm	Nanômetro
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
EBC	European Brewery Convention (Convenção europeia de cervejas)
BR	Cerveja base, amostra branco (puro malte) maturada sem madeira
AM	Cerveja maturada em cubos de madeira de Amburana
CS	Cerveja maturada em cubos de madeira de Castanheira
JE	Cerveja maturada em cubos de madeira de Jequitibá
BA	Cerveja maturada em cubos de madeira de Bálamo
CA	Cerveja maturada em cubos de madeira de Carvalho

8. Lista de Tabelas

ista de Figuras

9. INTRODUÇÃO

A produção de cerveja no Brasil apresenta uma tendência crescente nos últimos 30 anos, como mostra a **Figura 1**, e recentemente alcançou o patamar de 140 milhões de hectolitros (mi hl) colocando o Brasil em terceiro lugar no ranking mundial atrás apenas da China (460 mi hl) e dos EUA (221 mil hl), e a frente da Alemanha (95 mi hl) e da Rússia (78 mi hl). (MARCUSO; MULLER, 2017)

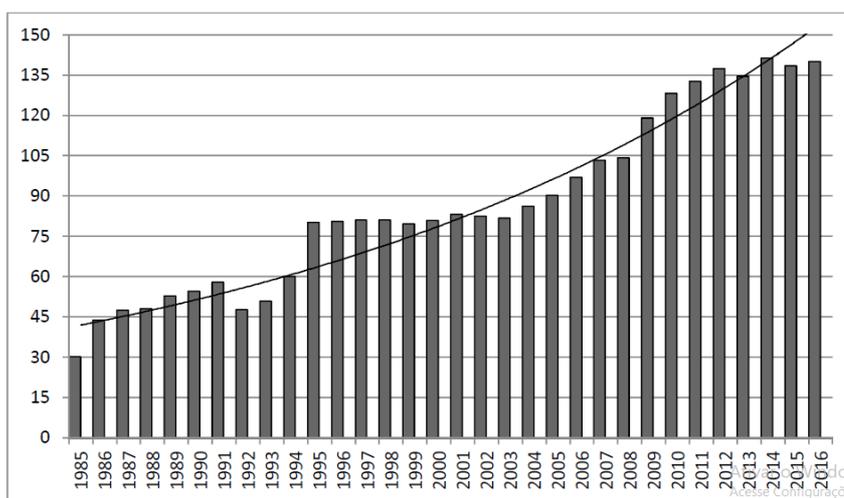


Figura 1. Produção nacional de cerveja em milhões de hectolitros por ano. Fonte: (Marcusso e Muller, 2017)

Apesar da sua importância econômica e social, são escassos os estudos científicos envolvendo sua avaliação físico-química e sensorial em nível de escala de produção industrial. No entanto, observa-se crescimento exponencial com relação a produção e consumo de cervejas especiais, uma vez que os produtores/consumidores se preocupam mais com a qualidade da bebida. Logo, os insumos utilizados são apreciados por seus aromas e sabores característicos, que podem ser otimizados por meio de armazenamento em recipientes de madeira. (SEBRAE, 2014)

A maturação ou envelhecimento é uma das etapas mais importantes para o processo de bebidas alcoólicas, pois é nele que as bebidas adquirem atributos cruciais de aroma e sabor definidos como “redondo”, “liso” e “suave”. Quando se emprega uma etapa de envelhecimento/maturação mais prolongado se obtém bebidas com qualidade superior, logo de maior valor agregado. (TÉO et al., 2005)

Segundo alguns guias de estilos como o *Beer Judge Certification Program* (Programa de Certificação de Juízes de Cerveja) (2015) e do *Brewers Association* (associação de cervejeiros) (2015), o processo de envelhecimento de cerveja em madeira é um método tradicional, pouco empregado por grandes cervejarias, e mais comumente aplicado a cervejarias de pequeno porte para a produção de cervejas especiais. Em escalas menores, nas cervejarias artesanais, o emprego de barris de carvalho é bastante comum e os estudos com outras madeiras tem se tornado popular para essa finalidade. (STONG; ENGLAND, 2015)

Sabe-se que o Brasil possui grande diversidade florestal abrigando espécies de árvores cujas madeiras são heterogêneas quanto à estrutura e propriedades (CASTRO, 2012). Logo, o país apresenta

grande potencial de uso de espécies nativas e exóticas para o armazenamento de bebidas, não só para cervejas, mas para as demais bebidas alcoólicas que adotam esse procedimento de guarda (envelhecimento). Assim, o estudo e a caracterização da composição química de madeiras alternativas são fundamentais para avaliar a inserção de madeiras na produção cervejeira, além de abrir novas possibilidades de aplicação nas indústrias de tanoaria e alimentícia, com ênfase nas produtoras de bebidas alcoólicas.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou realizar a caracterização físico-química das madeiras brasileiras, amburana, castanheira, jequitibá e bálsamo comparando com a madeira mais utilizada para este fim o carvalho. Para, posteriormente, empregar e avaliar o efeito do envelhecimento de uma cerveja base do tipo lager maturada na presença das madeiras acima listadas na forma de cubos. Logo em seguida, as modificações ocorridas nas amostras de cerveja foram avaliadas por meio de análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais correspondentes a cada cerveja preparada.

1.1. Estado da arte do cenário cervejeiro

Conforme a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas em seu Art. 36, 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. (BRASIL, 2009)

Em 2009, o Brasil conquistou a posição de terceiro maior produtor de cerveja no mundo, atrás apenas da China e Estados Unidos, porém ainda possui dificuldades significativas entre o potencial produtivo/consumidor de cerveja industrial e artesanal. (SEBRAE, 2014)

A Figura 2 indica que países com o maior número de habitantes, como China, EUA e Brasil, embora não possuam grande variedade de cervejas como a Alemanha, se mostram os principais consumidores do produto *per capita* e por volume total consumido. O Brasil possui potencial para produção e consumo de cerveja, já que possui clima favorável à produção de grãos e também, ao consumo da bebida. Esses incrementos podem refletir em demandas internas significativas. (SEBRAE, 2014)

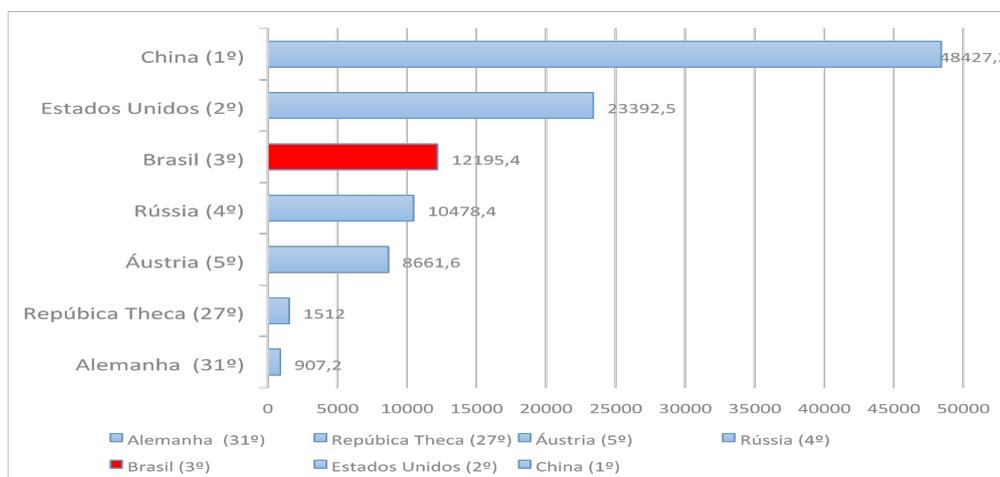


Figura 2. Principais países consumidores de cerveja no mundo, em milhões de litros. Fonte: (SEBRAE, 2014)

Devido à disponibilidade de espaço para novas ideias, a perspectiva de crescimento das cervejarias cresce com um cenário otimista em conjunto às inovações tecnológicas e a dinâmica do setor de bebidas. Segundo o BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento), a quantidade de cerveja produzida até 2013 já ultrapassa a produção de outras bebidas consumidas no país, como refrigerantes, e esta produção tende a aumentar de acordo com o crescimento das cidades brasileiras. A renda e até a utilização de bebidas nos mais variados preparos gastronômicos, mesmo após crises financeiras, têm sido apontadas como fatores para o aumento do consumo.

As cervejas produzidas em grandes volumes de mesmo tipo são chamadas de “mainstream”, as quais são destinadas ao mercado interno. Apresentam, como característica, a homogeneidade e baixo custo do produto. (CERVIERI et al., 2014) Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os brasileiros têm alavancado o consumo interno de alimentos de maior valor agregado como carnes, derivados do leite e bebidas como vinho e cerveja. (SEBRAE, 2014) O crescimento da renda acarreta mudanças de hábitos de consumo e reflete-se na busca por diferenciação via aquisição de produtos mais sofisticados, levando a um aumento da procura. (CERVIERI et al., 2014)

Um dado muito importante, que mostra como está e evolução das cervejarias no Brasil, é segundo Marcusso e Muller (2017), que atualmente estão registradas 610 cervejarias no Brasil. Somente em 2017, foram concedidos 91 novos registros de estabelecimentos produtores de cerveja. O número de estabelecimentos registrados apresenta crescimento notável na última década, crescendo numa razão de seis vezes, desde 2007, conforme demonstra a Figura 3. (MARCUSO; MULLER, 2017)



Figura 3. Número de cervejarias registradas nos últimos 17 anos. Fonte: (MARCUSO; MULLER, 2017)

Ainda segundo Marcusso e Muller (2017), pode-se concluir que o acentuado crescimento no número de novos estabelecimentos deve-se, principalmente, à aberturas de pequenas cervejarias, muitas vezes categorizadas como “microcervejarias” ou “artesanais” por seus proprietários, porém ainda não há classificação legal aplicável que diferencie este estabelecimento dito micro/artesanal/cigana das demais

cervejarias. Portanto, atualmente, o MAPA não é capaz de dimensionar o número de (micro) cervejarias artesanais no Brasil. (MARCUSO; MULLER, 2017)

Embora existam variações de tipos, aromas e sabores entre as cervejas fabricadas pelas grandes indústrias e por micro cervejarias, o processo de fabricação é o mesmo. Logo, descrevendo de forma genérica o processo, pode-se sintetizá-lo em oito etapas: moagem; mostura; clarificação; fervura; resfriamento; fermentação; maturação e envase, como podem ser visto na Figura 4.

Em Anexo 1, se encontra uma explicação mais detalhada do processo de produção de cerveja.

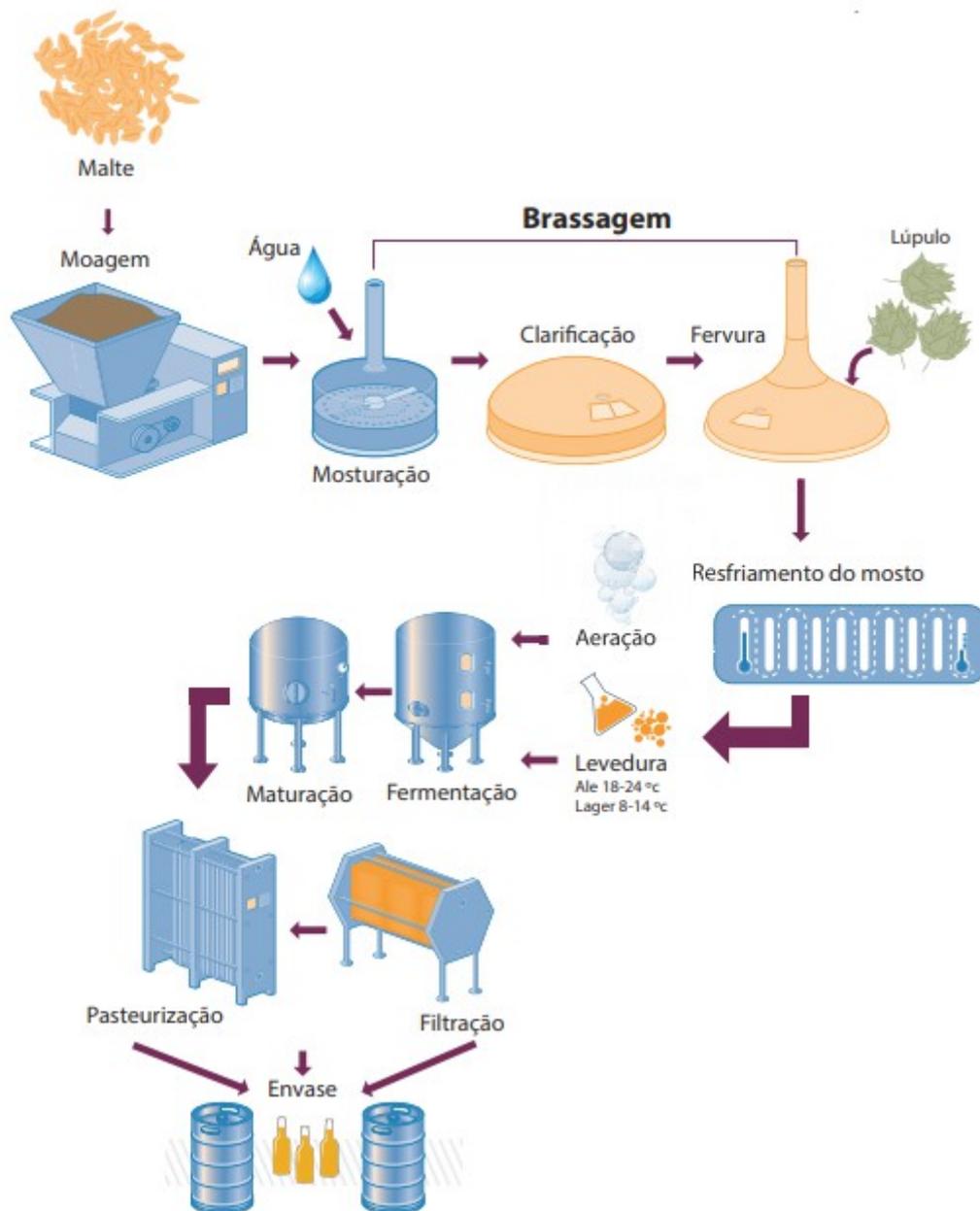


Figura 4. Processo de fabricação da cerveja artesanal. Fonte: (GHESTI et al, 2017)

1.2. Processo produtivo de bebidas – Etapa de maturação

O processo de envelhecimento de bebidas é um sistema complexo que envolve numerosas reações fundamentadas pela extração de moléculas da madeira e as interações com o líquido. (WYLER et al., 2015) (CONNER et al.,1989)

A maturação de bebidas destiladas é o principal fator para a sua caracterização, pois aproximadamente 60% dos compostos aromáticos presentes na bebida são oriundos da madeira ou da interação da mesma com o destilado, sendo o restante proveniente da matéria-prima e da fermentação. (CONNER et al.,2003) A bebida recém destilada apresenta características sensoriais intensas e forte sabor alcoólico, atributos que podem ser atenuados pelo envelhecimento. Há inúmeras interações físico-químicas entre a madeira e a bebida, nas quais ocorrem diversos fenômenos de migração de constituintes não voláteis e voláteis. A evolução dos componentes fenólicos, a oxidação da bebida, a estabilização da cor, do sabor e o surgimento do caráter amadeirado, contribuem para a riqueza e a complexidade dos compostos aromáticos e, conseqüentemente, resulta em um maior valor agregado às bebidas destiladas. (BORTOLETTO, 2013) (DIAS et al, 1998)

Na produção de cerveja, a maturação torna o produto mais complexo pela estabilização de compostos como polifenóis e proteínas, que precipitam a baixas temperaturas. Essa fase é caracterizada por fermentações secundárias, saturação da cerveja com CO₂, sob baixa pressão e extração de todos os compostos não solúveis da cerveja. Pode variar de 7 a 30 dias (processos convencionais), dependendo do estilo de cerveja, os quais podem permitir até tempos superiores a 2 anos. (KUNZE, 2014)

Segundo Kunze (2014), a estabilidade da cerveja cumpre um papel decisivo de alcançar a data mínima de validade indicada, pois a cerveja pode se tornar imbebível ao longo do tempo. Existem várias causas para que isso ocorra: poder contaminantes microbiológicos (com o tempo, os metabólitos dos microorganismos diferentes ao processo se tornam mais expressivos e se multiplicam), colóides presentes na cerveja (turvação da cerveja), estabilidade sensorial (saturação incompleta de CO₂), de modo que o sabor da cerveja se deteriora com o passar do tempo.

Após o tempo de maturação, a cerveja está pronta para ser envasada. Recomenda-se usar embalagens de garrafas de vidro, latas e barris, de acordo com a finalidade de comercialização do produto.

1.2.1.Maturação com madeira

Um coadjuvante muito empregado na maturação de bebidas alcoólicas é a madeira em diferentes formas. Sua utilização para a conservação foi reportada por volta do século I d.C, destinados a armazenamento e transporte de bebidas pela civilização celta. Ao contrário das civilizações greco-romanas que viviam em uma região seca na costa do mediterrâneo e que se utilizavam das ânforas para o transporte de azeite de oliva, perfume e vinho,a civilização celta, nórdica, tinha acesso a vastos campos de florestas e se utilizaram desta matéria-prima. (VIVAS et al, 1998)

A principal contribuição está relacionada com a extração de compostos durante o envelhecimento e a interação desses compostos com os originais da bebida em questão. O perfil aromático decorrente dos extratíveis depende de diversos fatores, sendo os principais deles, o gênero e a espécie da madeira. Ainda,

em todos os casos, durante o processo de envelhecimento, pode ocorrer inúmeras reações químicas, especialmente pela extração direta dos componentes da madeira, degradação dos componentes químicos da parede celular e as reações entre os componentes da madeira e da bebida em questão. (TÉO et al., 2005)

Outros fatores estão relacionados com a diferente forma de tratamento da madeira praticado pelas tanoarias, tais como: corte, maturação e tratamento térmico. Soma-se a isso o tempo de envelhecimento e as condições de armazenamento, sendo que todos estes parâmetros influenciam na qualidade química e organoléptica do produto final. (CONNER et al., 2003).

Para os destilados, muitas transformações químicas estão relacionadas ao processo de maturação e envelhecimento, tais como: a formação de aldeídos a partir da oxidação de alcoóis, a formação de ácidos a partir da oxidação de aldeídos, a degradação da lignina formando aldeídos aromáticos e as reações de esterificação entre ácidos e alcoóis formando ésteres. A complexa presença desses compostos é responsável pela caracterização de uma bebida envelhecida que apresenta maior valor agregado. (BORTOLETTO, 2013)

As madeiras utilizadas para a prática de armazenamento podem vir a passar por um tratamento térmico, necessário para dar forma aos barris, além de ocasionar a degradação de polímeros, como polissacarídeos e polifenóis, acarretando no surgimento de novas substâncias aromáticas e de sabor, que irão posteriormente desenvolver na bebida características diferenciadas. (CASTRO, 2012)

O envelhecimento em madeira é extensivamente empregado para whisky, vinho, cachaça, cerveja e aguardente de cana. Todas realizadas por meio de maturação em barril de madeira, sendo o carvalho a principal. Especialmente para cervejas, o produto final adquire valor muito superior ao inicial de origem (cerveja base) e já foi relatado valores de até 50 vezes superior ao preço da cerveja sem passar por essa etapa.

1.2.2.Maturação de cerveja em madeira

A tradição de maturação em madeira começou na Bélgica, há cerca de 200 anos. Onde o envelhecimento da bebida era realizado em caldeirões de carvalho sem tampa para estimular a fermentação *in natura*. (ALIMENTOS, 2016)

A madeira é o lar de dezenas de microrganismos, especialmente as leveduras selvagens, que estimulam a fermentação de açúcares residuais, produzindo cervejas com sabores amadeirados e com cores características da madeira utilizada. A composição da madeira é responsável por tais características sensoriais em decorrência de sua interação com a bebida. (WYLER et al., 2015)

A expansão de microcervejarias no Brasil vem produzindo cervejas diferenciadas e de alta qualidade, exploram uma diversidade de sabores e aromas que atendem a um número crescente de consumidores. As cervejas especiais têm ganhado cada vez mais popularidade. Dentre elas, as envelhecidas em madeira já comercializadas e produzidas nacionalmente, como exemplo dos estilos Wood and Barrel Aged Beer – cervejas envelhecidas em barril de madeira e as European Sour Ale, as quais são cervejas Ales ácidas que, além da influência da madeira, permitem a interação com outros microrganismos

como bactérias lácticas, acéticas e interações com a levedura (WYLER et al., 2015); (STRONG e ENGLAND, 2015).

A maturação pode ser realizada em barricas ou barris em que estavam anteriormente sendo utilizado para o vinho, whisky ou outras bebidas. No último caso, a cerveja elaborada com esses barris reaproveitados adquire aromas os sabores da bebida que era originalmente armazenada no barril, conforme Figura 5.

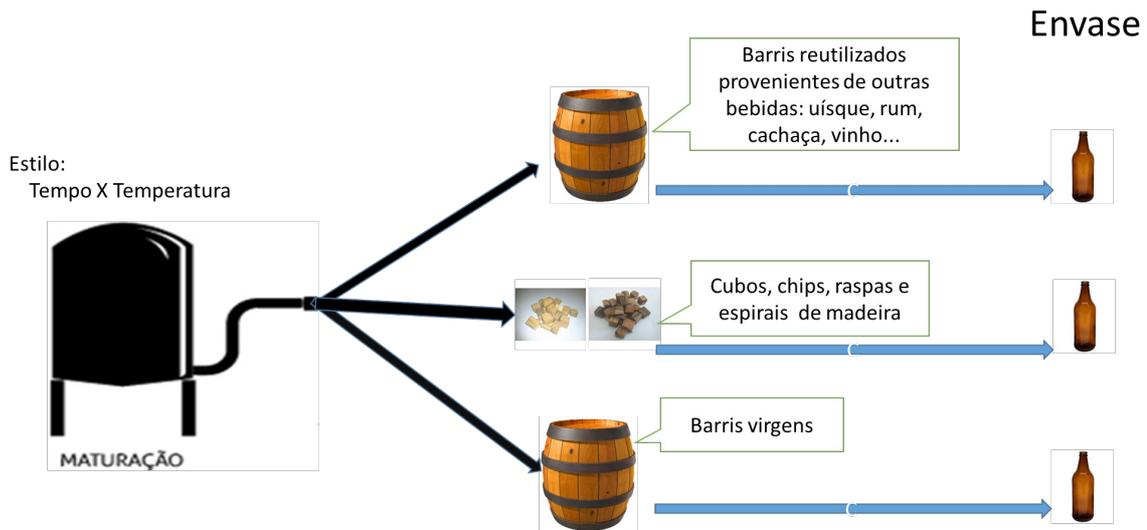


Figura 5. Tipos de utilização de madeiras em cerveja.

Nos EUA é comum cervejarias utilizarem barris que estavam armazenados whisky, conhaque ou vinho. Posteriormente, estes barris podem voltar para os produtores originais depois de serem usados para maturar cerveja. Este compartilhamento de barris ou barricas aumenta a complexidade de sabores advindos da maturação em madeira.

Várias reações físicas e químicas entre a bebida e madeira ocorrem durante o período de maturação. Estas reações incluem a extração de compostos voláteis e compostos fenólicos da madeira, decomposição e esterificação das ligninas, reações que envolvem apenas os extratíveis da madeira, evaporação de compostos voláteis e micro oxigenação, o que melhora a polimerização e reações de condensação (WYLER et al., 2015).

Os compostos fenólicos que são extraídos a partir de madeira são responsáveis pelas notas aromáticas de sabor/cor e do incremento da qualidade das bebidas. A extração destes compostos pelas bebidas depende de vários fatores, tais como a espécie de madeira, a sua origem geográfica, o tipo de tempero, o nível de tosta, o número de vezes que a madeira foi utilizada e o período de maturação, bem como o teor de álcool da bebida. (WYLER et al., 2015).

1.3. Madeira

No estudo da técnica de tanoaria, a primeira questão que se apresenta é por que o carvalho se impôs como a principal espécie empregada na confecção de tonéis. As razões que conduzem a essa

escolha provêm de uma constatação evidente ao longo dos tempos. Esta madeira é capaz de modificar favoravelmente as características organolépticas de vinhos e aguardentes, e, assim, adquiriu a supremacia mundial, em relação ao envelhecimento de bebidas alcoólicas. (LEÃO, 2006)

O carvalho é a madeira utilizada mundialmente para a confecção de barris, pois transfere compostos de aroma e sabor que tornam a bebida agradável ao paladar, mas carvalho só é encontrado em postos específicos da Europa, Ásia e América do Norte. Porém, dentre a ampla gama de espécies florestais nacionais, algumas delas já foram estudadas quanto à possibilidade de substituir o carvalho na construção de barris para envelhecimento de aguardente e de cachaça. (ALCARDE et al, 2010) (Castro, 2012)

As madeiras brasileiras amburana (*Amburana cearensis* (Fr. All.) A.C. Smith); bálsamo (*Myroxylonperuiferum* L.F.); jequitibá (*Carinianaestrellensis* (Raddi) Kuntze); jatobá (*Hymenaeaspp*) e ipê – (*Tabebuia spp.*) incorporam a aguardente compostos fenólicos presentes em bebidas envelhecidas em barris de suas respectivas madeiras e apresentaram perfil sensorial semelhante as envelhecidas em recipientes de carvalho (*Quercus spp.*) (DIAS et al, 1998) (CASTRO, 2012)

1.3.1. Constituição da madeira

A madeira é caracterizada por possuir como seus componentes básicos a celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e outros. A distribuição destes componentes se encontra na Figura 6. (LEÃO, 2006)

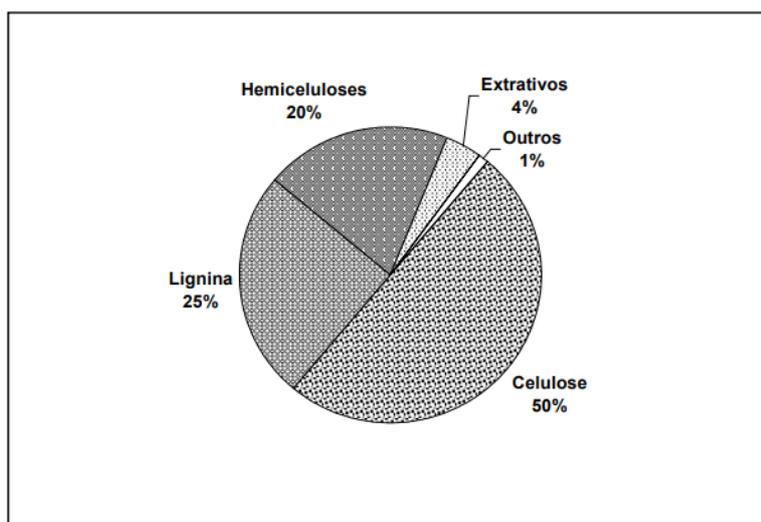


Figura 6. Composição média dos principais constituintes da madeira. Fonte: (LEÃO, 2006)

Holocelulose representa cerca de 70% da madeira, é composta pela celulose e hemicelulose. A celulose é composta de polissacarídeos de glicose e apresentam grau de polimerização na casa de 5000 à 10000 anéis de glicose. Por ter uma estrutura grande e muito estável, apresenta poucos efeitos diretos na bebida. (MACEDO et al, 2012)

A hemicelulose contribui durante a maturação com o corpo da cerveja, produtos caramelizados e cor. É composta de uma série de polissacarídeos com grau de polimerização entre 150 a 200 anéis, as quais estão ligados por ligações de hidrogênio à celulose. Após o tratamento térmico, a celulose se quebra

em açúcares de baixo peso molecular como xilose, manose, arabinose e galactose, dando origem a produtos de degradação que conferem à bebida notas caramelizadas. (LEÃO, 2006)

As diferentes intensidades de tosta (tratamento térmico) interna dos barris são de fundamental importância para a formação de compostos aromáticos que irão agregar sabor e aroma à cerveja e podem originar o 5-hidroximetil-furfural (5-HMF), furfural, maltol, cycloteno, ácido acético, álcool metílico, dentre outros. Esses compostos conferem descritores a tostado, caramelo, pão e amêndoa, além de outras substâncias que conferem uma coloração marrom característica (ALIMENTOS, 2016).

A lignina, outro constituinte da madeira, é responsável pelo aumento da complexidade da bebida, produtos de sabor/aroma de baunilha, produtos de oxidação e cor. Tem como base estrutural unidades de fenil-propano. Após o tratamento térmico (120 a 180°C), formam-se outras duas estruturas de blocos a partir da lignina, comumente designados de congêneres de maturação, sendo que alguns aldeídos fenólicos derivam da lignina, especialmente a vanilina que confere notas aromáticas e tostado. Outros compostos formados incluem o grupo guaiacol, composto por coniferaldeído e ácido vanílico e o grupo siringol, composto por sinapaldeído, siringaldeído e ácido siríngico (ALIMENTOS, 2016).

Alguns constituintes dos extratáveis que merecem destaque são:

- Taninos - são produtos de oxidação produzidos por meio de tratamento térmico, proporcionam, à cerveja, características de adstringência e remoção de aromas e sabores indesejáveis. Os compostos mais encontrados são os vescalagina, castalagina, ácido elágico e ácido gálico.
- Lipídios – são os compostos cis-oak-lactona, trans-oak-lactona, os quais conferem aroma e sabor de ranço quando oxidados. (SILVA, 1999)
- Camada de carvão – auxiliam no processo de adsorção de aromas e sabores indesejáveis e acrescentam características sensoriais de madeira queimada. Os mais comuns de serem encontrados são: Fenol, guaiacol, etil guaiacol, *p*-cresol, eugenol.
- Cinzas – constituído por compostos inorgânicos de metais que não interferem nas características organolépticas da cerveja

Os compostos fenólicos estão presentes em diferentes tipos de tecidos vegetais e são definidos como substâncias que possuem um anel aromático, com um ou mais substituintes hidroxílicos. As propriedades biológicas dependem de suas estruturas químicas, pois apresentam características multifuncionais como antioxidantes, que são capazes de estabilizar ou desativar os radicais livres antes que ataquem os alvos biológicos nas células; também possui um papel importante na redução da oxidação lipídica em tecidos vegetal e animal. Estudos relatam que os compostos fenólicos incorporados na alimentação humana não conservam apenas a qualidade do alimento, mas também reduzem o risco de desenvolvimento de microorganismos patogênicos que são prejudiciais à saúde do consumidor (MILANI; RODRIGUES, 2013).

Dentre os principais grupos de constituintes acima listados, dois merecem destaque: primeiro, os polifenóis de baixo peso molecular, como os taninos ou benzoico e cinâmico, derivados da degradação térmica de lignina e, segundo, compostos furânicos formados a partir da degradação de pentoses e hexoses (CASTRO, 2012).

1.3.2. Características químicas e sensoriais das madeiras selecionadas

Inúmeras transformações químicas encontram-se associadas ao processo de envelhecimento da aguardente, destacando-se: reações entre os componentes voláteis “não alcoóis” provenientes da destilação; extração direta de componentes da madeira; decomposição de macromoléculas da madeira (lignina, celulose, hemiceluloses, etc.) e sua incorporação pela bebida; transformações dos materiais extraídos da madeira; reações dos componentes originais do destilado; evaporação de compostos voláteis através da madeira do recipiente empregado; formação de complexos moleculares estáveis entre os compostos secundários e água e/ou etanol; entre outros. (PARAZZI et al., 2008)

A degradação de hemicelulose e celulose, presente em toda biomassa vegetal, produz furfural e 5-hidroximetilfurfural (5-HMF). A lignina fornece vanilina, siringaldeído, guaiacol, eugenol, coniferaldeído e sinapaldeído. (WYLER et al., 2015)

Durante o armazenamento da bebida destilada em barril de madeira, observa-se um aumento progressivo no teor de extrato seco, dos quais os taninos e os compostos fenólicos provenientes da lignina chegam a representar até 40%. Destacam-se os numerosos aldeídos e ácidos fenólicos, como a vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído, em destilados alcoólicos envelhecidos em barris de carvalho oriundos do tratamento térmico. A lignina, durante o armazenamento, sofre alcoólise ácida à temperatura ambiente, formando a vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído. (CASTRO, 2012)

Santiago (2013), em seu trabalho sobre a composição fenólica no processo de produção e envelhecimento de cachaça em tonéis de carvalho, bálsamo, jequitibá e amburana, observou a predominância de diferentes compostos fenólicos. Na cachaça envelhecida em barril de carvalho, tem-se a predominância do siringaldeído (9,69 mg/L) e o ácido gálico (6,32 mg/L); na amburana, ácido vanílico (4,71 mg/L) e cumarina (4,08 mg/L), no bálsamo, ácido vanílico (8,74mg/L) e ácido gálico (7,48mg/L), no jequitibá, siringaldeído (2,11mg/L) e ácido gálico (1,49mg/L). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Dias et al. (2002), que encontraram diferenças quanto à presença e concentração dos compostos fenólicos em cachaças envelhecidas em espécies de madeiras diferentes. Neste trabalho, os autores observaram a predominância de compostos, como ácidos elágico, vanílico e siringaldeído no carvalho; ácido vanílico e sinapaldeído em amburana; ácido vanílico, ácido elágico, ácido vanílico e ácido gálico no bálsamo; e presença de ácido gálico no jequitibá (SANTIAGO, 2013) (MILANI; RODRIGUES, 2013).

1.3.2.1. Carvalho (*Quercus alba*)

As cumarinas, escopoletina, ácidos gálico e elágico são os componentes majoritários. Além dos compostos acima mencionados, encontram-se também os ácidos e aldeídos aromáticos derivados da

lignina (ácidos cinâmico, vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído) (MILANI; RODRIGUES, 2013)

Na madeira de carvalho, a vanilina é oxidada a ácido vanílico (aroma de baunilha). Os principais compostos fenólicos encontrados em cachaças armazenadas em tonéis de carvalho são: ácidos gálico, vanílico, siríngico e siringaldeído. Em cachaças armazenadas em tonéis de bálsamo, castanheira e jequitibá os principais compostos fenólicos encontrados são: ácido gálico, siringaldeído, ácido vanílico e ácido siríngico. A queima das barricas promoveu a degradação da lignina, obtendo-se uma extração mais rápida de compostos para a bebida. No caso do carvalho e algumas outras madeiras, a vanilina proporciona características sensoriais desejáveis a bebida (MILANI; RODRIGUES, 2013)

1.3.2.2. Castanheira (*Bertholletia excelsa*)

A castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & B.) é uma espécie nativa da Amazônia que tem por habitat as terras não inundáveis (terra firme). É uma árvore cujo fruto apresenta alto valor alimentar e com expressão no comércio internacional, constituindo-se em um dos principais produtos extrativistas da pauta de exportação da Amazônia, principalmente do estado do Pará. (SALOMAO, 2009)

1.3.2.3. Bálsamo (*Myroxylonbalsamum* (L.) Harms)

Além do nome bálsamo, é conhecida também como cabriúva-vermelha, óleo vermelho, pau-bálsamo, ou sangue de bálsamo. É indicada para confecção de tonéis (LORENZI, 1992). Apresenta em seu interior a coloração castanho, escurecendo a castanho avermelhado, uniforme e de textura média. Possui cheiro característico balsâmico e agradável e seu gosto é levemente adstringente. (LEÃO, 2006)

1.3.2.4. Amburana (*Amburana cearensis* Fr. Allem)

Seus principais nomes populares são: cerejeira, amburana, cumaru-do-ceará, umburana, imburana de cheiro, cumaru-de-cheiro. É indicada para confecção de tonéis. (LORENZI, 1992) (LEÃO, 2006). As características gerais de sua madeira são: apresentam coloração bege- amarelado uniforme. Excepcionalmente, apresenta alguns veios mais escuros. Possui, também, um cheiro peculiar e agradável, lembrando o de baunilha, com gosto levemente adocicado (MAINIERI; CHIMELO, 1989). (Leão, 2006)

1.3.2.5. Jequitibá Rosa (*Cariniana legalis*)

O jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*) distribui-se naturalmente nos Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Bahia e Pernambuco. A espécie é monóica com flores hermafroditas. A madeira é leve e usada para tabuados em geral, carpintaria civil, artigos escolares, saltos de sapato, tonéis e mobiliário em geral. A espécie está em vias de extinção, apresentando um reduzido número de exemplares em ocorrência natural. (TAMBARUSSI et al, 2015)

1.4. Tratamento da madeira

Conhecido como a tosta, o processo de secagem da madeira consiste na desidratação da madeira, até que sua taxa de umidade se equilibre com a umidade ambiente. Esta operação na tanoaria tem a importância de estancar os líquidos que nelas posteriormente serão armazenadas.

Podem-se distinguir dois tipos de secagem: as secagens artificiais, realizadas em estufas com ambiente controlado, que implicam somente em uma desidratação e as secagens naturais, ao ar livre. Em tanoaria, o processo de secagem em estufas (artificial) é falho, pois transmite à bebida, características gustativas e odorantes desagradáveis e, geralmente, serve apenas como uma padronização da umidade após a secagem no campo. (CANAS et al., 2006) (LEÃO, 2006) A secagem natural permite que microorganismos se desenvolvam no cerne da madeira ajudando a deteriorar as estruturas mais robustas, agregando sabores e aromas complexos às bebidas maturadas com a madeira provenientes deste tipo de secagem. (VIVAS et al, 1997) (BANERJEE et al, 2018)

Um aspecto importante a se levar em conta no envelhecimento de bebidas é a operação de queima aplicada às madeiras dos barris. Esse termotratamento é necessário para dar forma aos tonéis, bem como para modificar as estruturas moleculares da madeira, possibilitando a melhor qualidade das bebidas durante seu envelhecimento. Esse processo causa a degradação de polímeros, como polissacarídeos e polifenóis, permitindo o surgimento de novas substâncias aromáticas, que conferem um sabor diferenciado ao produto armazenado. (LEÃO, 2006)

1.5. Principais compostos provenientes de madeiras presentes em bebidas maturadas

Em seu estudo sobre a influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja, Wyler (2013) conclui que:

“O uso de madeira de carvalho em cubos de diferentes tostas ou barril alterou a composição dos congêneres de maturação da cerveja, indicando interação entre ambos e a extração de compostos da madeira pela cerveja. A pequena alteração nas análises físico-químicas das cervejas maturadas neste experimento sugere que a madeira de carvalho não prejudicou a qualidade da cerveja. Os cubos de madeira de tosta alta e média apresentaram concentrações de compostos aromáticos similares ao barril, indicando que o uso de fragmentos é uma alternativa eficiente de baixo custo quando comparado aos barris.” (WYLER, 2013)

Wyler et al (2013) observaram que a graduação alcoólica não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Como resultado, a turbidez diminuiu como o esperado e o pH também não sofreu alterações significativas durante o período de armazenamento. A acidez total variou durante o período de armazenamento das cervejas da amostra branco e com cubos de tosta alta, sendo que este último tratamento apresentou a maior acidez no segundo mês de amostragem. Os compostos fenólicos tiveram um aumento significativo durante o período de armazenamento e, somente no terceiro mês, houve diferença

significativa entre os tratamentos. O tratamento com os cubos de tosta leve apresentou a menor diferença com o tempo de armazenamento e a cerveja armazenada na presença dos cubos de tosta alta e o barril foram os tratamentos que obtiveram o maior incremento. Para o amargor, houve diferença significativa durante o período de armazenamento para o branco, cubos com tosta média e barril. (WYLER, 2013)

Angeloni et al (2015) quantificaram os congêneres de maturação de uma cerveja do estilo FlandersRed Ale, envelhecida por 90 e 120 dias em barris de carvalho de 50L a 25°C. Como resultado, foi observado as seguintes alterações: aumento da graduação alcoólica, da acidez, dos compostos fenólicos e da cor, diminuição da turbidez durante o armazenamento da cerveja, diminuição dos valores de pH comparados entre a testemunha e as amostras envelhecidas. Ainda, foi observado um aumento na concentração de ésteres, metanol, ácido acético e álcool iso-amílico quando comparado a amostra branco (ANGELONI, 2015).

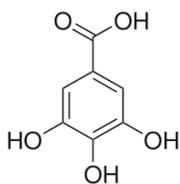
Sabe-se que os compostos formados durante o envelhecimento são percebidos com maior intensidade nas cervejas que tiveram um tempo maior em contato com a madeira, sendo detectados por meio de análises cromatográficas ou sensoriais. Foi observado e identificado diferenças entre as amostras, comprovando que o maior tempo de armazenamento da cerveja está diretamente relacionado ao aumento dos atributos sensoriais, os quais agregam qualidade sensorial. (ALIMENTOS, 2016)

Os principais compostos encontrados em bebidas que são provenientes do contato durante a maturação em madeira de carvalho são: vanilina, ácido gálico, ácido vanílico, ácido siríngico, siringaldeído, coniferaldeído, sinapaldeído, cumarinas, ácido elágico, 5 – HMF, guaiacol e fural. (ATAIDE et al., 2009) (MILANI; RODRIGUES, 2013), (BERNARDES, 2015) (SANTIAGO et al., 2014) (MENDON; LIMA, 2012) (ALCARDE et al, 2014) (BORTOLETTO; ALCARDE, 2015) (BORTOLETTO et al, 2016) (SANTIAGO, 2013) (SANTIAGO et al., 2014) (SANTIAGO et al, 2012) Estes compostos influenciam o aspecto sensorial da bebida, conforme Tabela 1.

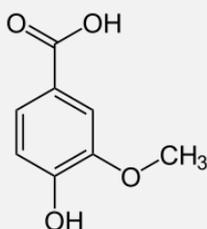
Tabela 1. Principais compostos extraídos da maturação de bebidas em madeiras.

Composto Químico	Fórmula Química	Sabor e Aroma Associado	Ocorrência
3-metoxi-4-hidroxibenzaldeído	<chem>C8H8O3</chem>	Baunilha	Jequitibá, Amburana, Bálamo, Castanheira e Carvalho

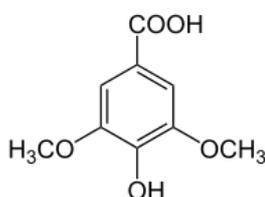
ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico
C7H6O5
 Aromas vegetais e resinosos
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho



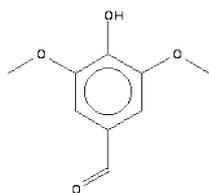
ácido 4-hidroxi-3-metoxibenzoico
C8H8O4
 Baunilha
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho



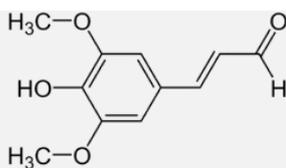
ácido 3,4,5-trimetoxibenzoico
C9H10O5
 Sensações de apimentado e aromas de especiarias
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho



ácido 3,5-dimetoxibenzoico
C9H10O4
 Sensações de apimentado e aromas de especiarias
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho

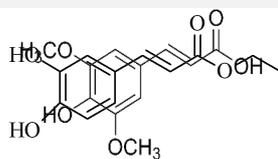


ácido 3,5-dimetoxibenzoico
C9H10O4
 Sensações de apimentado e aromas de especiarias
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho

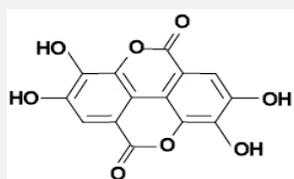


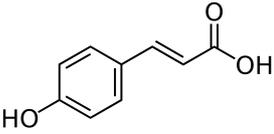
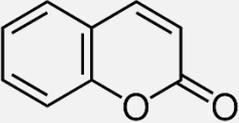
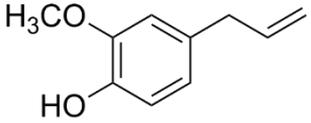
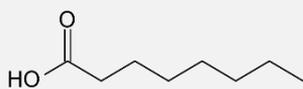
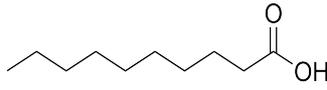
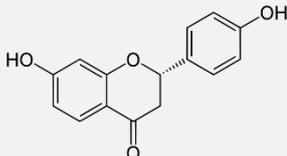
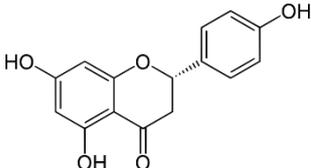
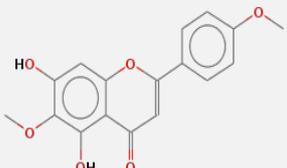
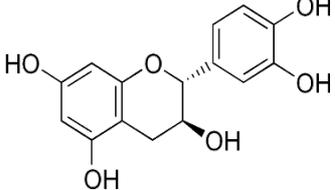
ácido 3,5-dimetoxibenzoico
C11H12O4
 Sensações de apimentado e aromas de especiarias
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho

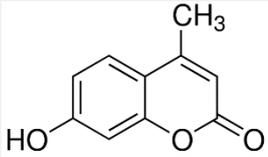
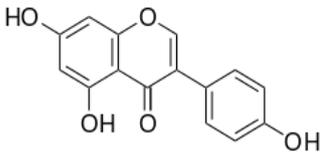
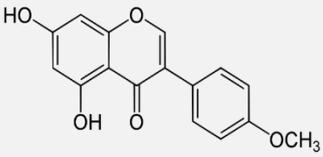
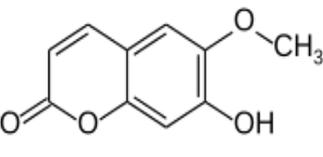
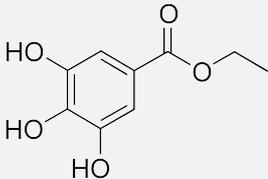
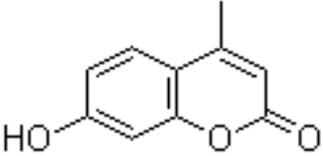
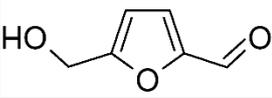
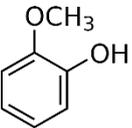
ácido 3,5-dimetoxibenzoico
C11H12O5
 Sensações de apimentado e aromas de especiarias
 Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho



ácido 2,3,7,8-tetrahidroxifenilprop-2-enoico
C14H16O8
 Acidez, amargos
 Castanheira e Carvalho



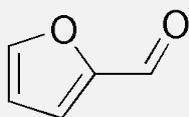
o (E) -3- (4-hydroxyphenil) -2-propenóico		$C_9H_8O_3$	Baunilha	Jequitibá, Amburana, Bálamo, Castanheira e Carvalho
enzopirano-2-ona		$C_9H_6O_2$	Baunilha	Jequitibá, Amburana, Bálamo, Castanheira e Carvalho
-methoxyphenol		$C_{10}H_{12}O_2$	Produzido pela quebra da lignina quando a madeira é tostada e contribui com o caráter de especiarias, como cravo-da-índia e fumaça	Jequitibá, Amburana, Bálamo
looctanóico		$C_8H_{16}O_2$	Aroma de sebo, cera ou sabão	Jequitibá
o decanóico		$C_{10}H_{20}O_2$	Odor característicos de caprinos	Jequitibá
7-idrossi-2-(4-hidroxifenil)-2,3-diidro-cromen-4-one		$C_{15}H_{12}O_4$		Jequitibá
-hidroxi-2- (4-hidroxifenil) croman-4-ona		$C_{15}H_{12}O_5$	Sabor amargo característico de sumo de toranja	Amburana
roxy-6-methoxy-ethoxyphenyl)		$C_{17}H_{14}O_6$	Sabor amargo característico de sumo de toranja	Amburana
-3S)-2-(3,4-dihydroxyphenil)-3,4-dihidro-2H-cromene-5,7-triol		$C_{15}H_{14}O_6$	Sabor amargo do chá verde	Amburana, Bálamo e Carvalho

Hydroxy-4-methylcoumarin		$C_{10}H_8O_3$		Amburana
		$C_{15}H_{10}O_5$	Amargor e adstringência	Bálsamo
3,4,5-trihydroxybenzyl 2-hydroxy-6-methoxy-4-pyridone		$C_{16}H_{12}O_5$		Bálsamo
Hydroxy-6-methoxychromen-2-one		$C_{10}H_8O_4$	Frutado	Bálsamo
ethyl 3,4,5-trihydroxybenzoate		$C_9H_{10}O_5$		Castanheira
lumbeliferona				Castanheira
5-hydroxymethyl-furfural (5-HMF)		$C_6H_6O_3$	Tostado, caramelo, pão e amêndoa, conferem coloração marrom característica	Carvalho
2-methoxyphenol		$C_7H_8O_2$	Sabor defumado é característico de compostos que apresentam o guaiacol.	Jequitibá, Amburana, Bálsamo, Castanheira e Carvalho

carboxialdeido

$C_5H_6O_2$

Carvalho



Tem cheiro semelhante a amêndoas. Um derivado do furfural é o furfural-mercaptana, que dá ao café torrado o seu aroma. Transmite aroma de caramelo, manteiga de amendoim.

1.6. Objetivos

9.1. Gerais

O objetivo desse trabalho foi a caracterização da composição química de diversas madeiras que sofreram tratamento térmico, afim de aplicar no processo de maturação da cerveja e assim, observar os efeitos físico-químicos e sensoriais sobre a bebida de forma a aumentar o valor agregado.

9.2. Específicos

- Caracterização de diferentes amostras de madeira visando se escolher as amostras para o teste.
- Avaliação de cervejas produzidas maturadas em madeira por meio de análises físico-químicas (densidade, pH, cor, acidez total, teor alcoólico, turbidez e extrato aparente) e microbiológicas.
- Avaliação sensorial das amostras.
- Avaliação do uso de cubos de madeira para aplicação na bebida.
- Comparar os resultados obtidos das diferentes amostras afim de orientar o uso de madeiras para envelhecimento com as respectivas características desejadas ao produto.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Análise das madeiras

As madeiras utilizadas para as análises são provenientes de Biomas diversos, especialmente, Mata Atlântica e Amazônia, foram fornecidas pela empresa Dornas Havana. As madeiras foram extraídas de áreas com licenciamento ambiental adequado para a extração e possuem DOF, documento de Origem Florestal (DOF), instituído pela Portaria nº 253, de 18 de agosto de 2006, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), constitui licença obrigatória para o transporte e armazenamento de produtos florestais de origem nativa. Normalmente são extraídas de fazendas de reflorestamento ou de áreas que serão inundadas para construção de hidroelétricas.

Inicialmente, foram utilizadas 12 amostras de madeira, em cubos com o tamanho de 1 cm³, tratadas em diferentes temperaturas e tempos de tosta (Tabela 2):

Tabela 2. Madeiras caracterizadas com seus respectivos tratamentos.

Número	Madeira (nome comum)	Madeira (nome científico)	Tosta (°C)	Tempo (min)
1	Amburana	Amburana Cearensis	190	40
2	Amburana	Amburana cearensis	180	180
3	Bálsamo	Myroxylonbalsamum	190	40
4	Carvalho	Quercus spp	190	40
5	Carvalho Americano	Quercus coccinea	190	40
6	Carvalho Reciclado	Quercus spp	190	40
7	Castanheira	Bertholletia excelsa	190	40
8	Castanheira	Bertholletia excelsa	180	180
9	Cumaru	Dipteryxodorata	190	40
10	Eucalipto	Eucalyptus	190	40
11	Ipê	Tabebuia	190	40
12	Jequitibá	Carinianasp	190	40

2.1.1. Teor de umidade

O teor de umidade foi obtido partindo de 1 g de amostra de madeira moída com granulometria menor que 60 mesh. O ensaio consistiu em colocar as amostras em placas de petri, de massa conhecida, e pesá-las previamente desconsiderando o valor da placa de petri. Em seguida, levar as amostras à um circulador de ar (marca TECNAL, modelo TE-394-1) com circulação e renovação de ar modelo 035, a 105 °C. As amostras permaneceram na estufa até a massa constante. Após tal período, as amostras foram retiradas da estufa, resfriadas em dessecador e após total resfriamento, a massa das amostras já sem umidade foi anotada para o cálculo do teor de umidade, conforme Equação 1.

[Eq. 1]

Onde,

TU = Teor de umidade em percentual (%);

m0 = massa inicial da amostra, em g;

m1 = massa final da amostra, em g.

2.1.2. Teor de extratíveis

A metodologia utilizada para a extração de extrativos seguiu as diretrizes TAPPI 204 om-8845 da Associação Técnica da Indústria de Celulose e Papel, com adaptações, consistindo nas seguintes etapas:

Secou-se três balões de fundo redondo em um circulador de ar (marca TECNAL, modelo TE-394-1) a 115 °C por duas horas e esfriou-se os mesmos em dessecador. Logo após, dosou-se a massa desses balões em uma balança (marca Mettler e modelo AE 160) e, assim, a massa de cada um foi anotada. Adicionou-se, ao balão, uma alíquota de 210 mL de solvente tolueno: etanol (1:2; v/v). Em um casulo de celulose, foram pesados 2 g de madeira com granulometria na faixa de 60-100 mesh e inserido, respectivamente, na coluna de extração do Soxhlet.

A extração foi realizada em um tempo médio de 6 horas e o balão foi seco na estufa (marca Marconi e modelo MA 037), por um período de 2 horas à 115°C. O cálculo do teor de extrativos em etanol: tolueno (1:2; v/v) foi realizado utilizando-se a seguinte Equação 2.

$$TE = \frac{m_2 - m_1}{m} \cdot 100 \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde,

TE = teor de extrativos em percentual (%);

m = massa da amostra descontada a umidade;

m1 = massa do balão de extração;

m2 = massa do balão de extração + extratos após secagem a 115° C em estufa por 2 horas.

2.1.3. Teor de lignina

Para realizar as análises de isolamento da lignina ácida, as amostras de madeira foram trituradas e submetidas à remoção dos extrativos com solução de 1:2 (etanol:tolueno). As etapas foram realizadas conforme a norma TAPP 204 om-88 (Solventextratives of Wood and pulp).

Na determinação dos teores de lignina solúvel e insolúvel foram adotados os seguintes procedimentos laboratoriais: LAP #003 (TEMPLETON; EHRMAN, 1995) e LAP #004 (TEMPLETON; EHRMAN, 1995), respectivamente.

2.1.3.1. Teor de lignina insolúvel

Os procedimentos adotados nesta análise seguem o protocolo determinado pela LAP #003 (TEMPLETON; EHRMAN, 1995).

Foram pesadas aproximadamente 300g de amostrade cada madeira, diretamente em tubos de ensaio identificados. Em casa tubo de ensaio, foram adicionados 3 mL de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), 72% v/v. Posteriormente, os tubos de ensaio foram colocados em banho-maria a 30 °C, durante 2 horas, onde a cada 15 minutos foi realizada agitação. Após 2 horas, a mistura de cada tubo de ensaio foi retirada e repassada para frascos de vidro devidamente identificados. Adicionou-se 84 mL de água deionizada em cada frasco, de modo que cada frasco ficou com uma solução a 4% (p/p) de ácido. Em seguida, todos os frascos foram tampados com rolhas de borracha e lacrados com anel de alumínio para serem colocados em autoclave por 1 hora a 121 °C. Em seguida, os frascos foram resfriados à temperatura ambiente sobre a bancada.

Depois de resfriados, os frascos de vidro foram abertos e devidamente filtrados em cadinhos de placa porosa. A solução líquida que passou em cada cadinho foi recolhida em kitassatos distintos. A lignina insolúvel que ficou retina no cadinho foi lavada com água deionizada quente, e posteriormente todas as amostras com o cadinho foram levadas a um circulador de ar (marca TECNAL, modelo TE-394-1) por 4 horas de secagem. Foi feita a primeira pesagem da amostra após 2 horas de secagem e depois outras duas pesagens no decorrer do tempo, sendo que a segunda ocorreu após 3 horas e a terceira após as 4 horas de secagem.

Para o cálculo do teor de lignina insolúvel, foi utilizada a Equação 3:

[Eq. 3]

Onde,

$L_{insolúvel}$ = Teor de lignina insolúvel em percentual (%);

m = massa da amostra descontada da umidade;

m1 = massa do cadinho filtrante;

m2 = massa do cadinho filtrante + lignina insolúvel descontada as cinzas livre de extrativos.

2.1.3.2. Teor de lignina solúvel

A metodologia adotada para esta análise segue o protocolo LAP #004 (TEMPLETON; EHRMAN, 1995). Inicialmente, preparou-se uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 4% (p/p) medindo-se 3 mL de H_2SO_4 a 72% (p/p) e diluindo em 84 mL de água deionizada. Essa solução foi utilizada para o preparo da amostra branco que foi utilizada no espectrofotômetro de UV-Vis, medindo-se 1 mL de H_2SO_4 a 4% e diluindo este volume em água deionizada até completar 10 mL em um balão volumétrico, separado e identificado.

O filtrado de cada kitassato, obtido no ensaio anterior na etapa de filtragem após a autoclavagem dos materiais, no teor de lignina insolúvel, foi recolhido, e de cada um deles, foi retirado uma alíquota de 1 mL e diluído com água deionizada até completar 10 mL em um balão volumétrico. O espectrofotômetro de

UV-VIS(marca FEMTO e modelo 700 Plus), foi ligado e regulado para o comprimento de onda 205 nm. A amostra do branco foi colocada em cubeta referência para calibração do equipamento, a leitura da absorvância do branco foi de 0,000.

As alíquotas das amostras foram colocadas em cubetas distintas, todas devidamente diluídas, e, em seguida foram realizadas as leituras das absorvâncias das amostras.

A equação para a obtenção do teor de lignina solúvel é representada pela Equação 4:

[Eq. 4]

Onde,

$L_{i\text{solúvel}}$ = Teor de lignina solúvel em percentual (%);

m = Massa da amostra descontada a unidade;

A = absorvância lida no espectrofotômetro;

F = Fator de diluição (para a madeira F=10)

2.1.3.3. Teor de lignina total

O teor de lignina total é um somatório entre o teor de lignina insolúvel e solúvel, e deve ser calculado pela Equação 5:

[Eq. 5]

Onde,

$L_{i\text{ total}}$ = Lignina total;

$L_{i\text{ insolúvel}}$ = Lignina insolúvel;

$L_{i\text{ solúvel}}$ = Lignina solúvel.

2.1.3.4. Teor de holocelulose

O teor de holocelulose sem extrativos foi calculado por diferença, onde se subtrai de 100% os teores de lignina total e o teor de cinzas, utilizando a Equação 6:

[Eq. 6]

Onde,

TH = Teor de holocelulose em percentual (%);

CZ = Teor de cinzas em percentual (%);

$L_{i\text{ total}}$ = Lignina total;

2.1.4. Teor de cinzas sem extratíveis

O teor de cinzas foi obtido partindo de 1g de amostra seca com granulometria menor que 60 mesh. O ensaio consistiu em colocar as amostras em cadinhos de porcelana de massa conhecida e, em seguida, os mesmos foram colocados em uma mufla, marca FORNITEC, previamente aquecida a 700 °C. Os cadinhos permaneceram no interior da mufla até a calcinação total do material, por um tempo de 5

horas. Após a calcinação os cadinhos foram retirados da mufla e colocados em um dessecador para o total resfriamento. Em seguida, as massas dos cadinhos com as respectivas cinzas foram anotadas para o cálculo do teor de cinzas, conforme a Equação 7:

[Eq. 7]

Onde,

CZ= Teor de cinzas , em %;

m0 = massa do cadinho, em g;

m1 = massa do cadinho + resíduo, em g;

m = massa da amostra, em g.

2.2. Análise da Cerveja

2.2.1. Preparo da cerveja

A cerveja puro malte (branco) foi preparada pela planta da cervejaria Embuarama localizada em Brasília. Foi utilizado 65 kg de Malte tipo Pilsen da Maltaria Agrária, 100g de Lúpulo Magnum (lúpulo de amargor), 150g de Lúpulo Saaz (lúpulo de aroma) e levedura SafBrew Ale (DCL/Ferments #S-33) com 120 L de água inicial e 164,91 L de água de lavagem. Logo em seguida, a cerveja foi fermentada a 12°C a 7 dias e maturada a 0°C na presença de 3g/L de madeira por 90 dias.

Para as análises das cervejas, apenas 5 madeiras foram selecionadas para aplicação na etapa de maturação, Foramescolhidas de acordo com os dados apresentados nas análises, por possuírem um maior teor de Holocelulose, o que se mostra interessante, pois na tosta da amostra a holocelulose é degradada aumentando a disponibilidade de lignina para a maturação, as mais citadas e com melhores características para aplicação em cervejaestão relacionadas na Tabela 3.

Tabela 3. Relação de madeiras inseridas na cerveja e amostra branco.

Número	Madeira	Madeira (nome científico)	Tosta (°C)	Tempo (min)
1	Ambuarana (AM)	<i>Amburana Cearensis</i>	190	40
2	Bálsamo (BA)	<i>Myroxylonbalsamu m</i>	190	40
3	Carvalho (CA)	<i>Quercus spp</i>	190	40
4	Castanheira (CS)	<i>Bertholletia Excelsa</i>	190	40
5	Jequitibá (JE)	<i>Carinianasp</i>	190	40

2.2.2. Densidade

A densidade relativa das amostras de cerveja maturada em madeira foi realizada de acordo com o Ministério da Agricultura, portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986 que dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre que tem como base a *Association of Official Analytical Chemists-AOAC*.

2.2.3. Potencial Hidrogeniônico (pH)

A análise de pH das amostras de cerveja maturada em madeira foi determinada por meio de pHmetro, conforme Método EBC (European Brewery Convention) 9.42.

2.2.4. Coloração

A análise de cor foi determinada por meio de absorvância de luz medida a 430 nm conforme Método EBC (European Brewery Convention) 9.6.

2.2.5. Turbidez

A turbidez, das amostras de cerveja, foi analisada em turbidímetro (marca: ALFAKIT, número de série: E008443), sendo os valores estipulados em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

2.2.6. Acidez Total

A análise de acidez foi realizada de acordo com o Ministério da Agricultura. Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre a qual segue as recomendações da *Association of Official Analytical Chemists-AOAC*.

2.2.7. Teor alcoólico e Extrato aparente

Para determinação do teor alcoólico utilizou-se o sistema de medição modular para análise de cerveja PBA-B Geração M-Altoon Paar, acoplado ao Alcozyzer Plus Beer e ao medidor de densidade (DMA 5000 M), localizado na sede da Polícia Civil do Distrito Federal.

2.2.8. Compostos fenólicos totais

Para essa determinação foi utilizado o método espectrofotometria de UV-Vis, desenvolvido por Folin-Ciocalteu (European Brewery Convention, 2004). A absorvância foi medida a 765 nm e os resultados foram expressos em mg/L. Como padrão foi utilizado ácido gálico.

2.2.9. Análise sensorial

As análises sensoriais foram realizadas pela Universidade de Brasília (UnB), sendo que um corpo de jurados foi treinado e avaliado através de aulas práticas e teóricas usando o kit de off-flavours da empresa FlavorActiv e pessoal habilitado para tal treinamento, com isso se formou um painel sensorial dentro da UnB. Este grupo foi o responsável por avaliar as amostras apresentadas neste trabalho.

O resultado da análise sensorial foi dividido em dois grupos para cada amostra: aroma e sabor. A fixa de análise consistia em aromas e sabores já pré-determinados característicos de bebidas maturadas em madeira e uma opção subjetiva para sugestão de outros aromas e sabores detectados e não listados pelo avaliador. Na cartela, as notas admitidas eram de 1 à 5, um para a nota de menor percepção sensorial e 5 a nota de maior percepção. Para a formulação dos resultados, foi feito uma média aritmética das notas de todos os avaliadores, a partir das quais foi possível formular um gráfico tipo teia para representação dos resultados.

2.2.10. Análise Microbiológica

As análises microbiológicas das amostras de cerveja foram realizadas pela empresa Artisan Leveduras para a quantificação de colônias e determinação de microrganismos, especialmente as bactérias heterotróficas, acéticas, lácticas e leveduras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise da madeira

O mecanismo de maturação de bebidas alcoólicas em madeira baseia-se nas trocas entre seus compostos principalmente holocelulose, lignina e extrativos com a bebida, sendo que a degradação dos constituintes da madeira somada aos compostos formados durante a fermentação definirá as características sensoriais da bebida. (WYLER et al., 2015)

A Tabela 4 e Tabela 5 abordam as análises químicas das 13 amostras de madeira utilizadas, relacionando o conteúdo de extrativos, cinzas, lignina, holocelulose e umidade.

Tabela 4. Análises de extrativos e umidade realizadas nas amostras das madeiras.

Amostra	Extrativos(%)	Umidade(%)
Amburana	7,05	5,12
Amburana*	12,33	4,56
Bálsamo	16,57	5,2
Carvalho	16,55	5,5
CarvalhoAmericano	16,49	4,86
Carvalho Reciclado	6,26	5,18
Castanheira	7,6	4,37
Castanheira**	7,95	4,34
Cumaru	15,88	5,84
Eucalipto	13,03	4,5
Ipê	28,19	5,33
Jequitibá	7,71	5,24

*Amburana com tosta de 180 °C a 180 min. **Castanheira com tosta de 180 °C a 180 min.

Tabela 5. Análises de cinzas sem extratíveis, lignina e holocelulose realizadas nas amostras das madeiras.

Amostra	Cinzas(%)	Lignina(%)	Holocelulose(%)
Amburana	0,15	43,78	56,07
Amburana*	0,84	51,93	47,23
Bálsamo	0,75	44,32	54,93
Carvalho	0,14	40,39	59,53
CarvalhoAmericano	0,51	48,9	50,59
Carvalho Reciclado	0,15	42,67	57,18
Castanheira	0,41	37,05	62,54
Castanheira**	0,25	50,14	49,62
Cumaru	0,48	47,01	52,51
Eucalipto	0,34	52,63	42,87
Ipê	0,14	46,89	52,97
Jequitibá	0,62	43,12	56,26

*Amburana com tosta de 180 °C a 180 min. **Castanheira com tosta de 180 °C a 180 min

Das amostras da tabela 3 algumas se mostraram interessantes para o processo de maturação devido ao seu teor de extrativos, holocelulose e lignina. No processo de maturação, os extrativos formados pela degradação térmica da madeira durante a tosta, serão responsáveis pelo aumento do aroma e cor da bebida; as cinzas irão contribuir com a parcela de matéria inorgânica presente na madeira; e a lignina irá proporcionar uma grande quantidade de compostos de sabor e aroma, principalmente quando submetida ao tratamento térmico. O Eucalipto apresentou 52,63%, a Amburana 51,93% e Castanheira 50,14%, e chamaram a atenção para o potencial de extração de aroma e sabor proveniente da lignina. A holocelulose composta de celulose e hemicelulose é responsável também por agregar, ao produto maturado em, sabores e aromas característicos de seus componentes. A castanheira, o carvalho e o jequitibá apresentaram os maiores valores de holocelulose comparado com as outras amostras, mostrando também ter um bom potencial para a maturação em bebidas.

Espera-se que as madeiras com maior teor de extrativos impactem significativamente na análise sensorial, nas características físico-químicas e organolépticas da cerveja. Por meio de análises com madeiras de carvalho, também relatou isso em seu trabalho, citando que a influência da madeira está relacionada com o tempo de armazenamento e a intensidade das reações químicas ocorridas entre a mesma e a bebida. As demais análises como teor de umidade, lignina, holocelulose e cinzas, irão agregar aromas e sabores especiais às cervejas. (WYLER et al., 2015).

Não há na literatura científica trabalho semelhante que envolve mais de uma madeira nativa do Brasil e sua interação com cerveja. Muitos estudos no que se refere a madeira e cachaça estão disponíveis na literatura científica.

3.1.1. Teor de Umidade

Ao utilizar um barril de madeira para envelhecimento, espera-se que os recipientes atuem como uma membrana semipermeável, permitindo a passagem de vapores de álcool e água, que ocorrem em função das condições de umidade relativa (MIRANDA et al, 2008). Entretanto, a aplicação realizada nesse trabalho foi utilizando cubos de madeira inseridas na maturação, portanto não houve perdas significativas de umidade. A escolha dessa forma de aplicação da madeira é justificada pela homogeneidade das amostras, além de ser mais versátil para seu uso em cervejarias de maior porte.

É possível relacionar o teor de umidade observado nas amostras com o teor de extratíveis, já que quanto maior a quantidade de componentes voláteis de baixo peso molecular na madeira, menor a permeabilidade e higroscopicidade da amostra.

As amostras de madeira que apresentaram maior teor de umidade foram Cumaru (5,84%), Carvalho (5,5 %) e Ipê (5,33%), as quais também apresentaram valores superiores de teor de extratíveis como já era esperado. Já a amostra de Castanheira, em ambos tratamentos térmicos, apresentou menor teor de umidade comparado às demais madeiras. Sabe-se que o tratamento térmico altera as propriedades da madeira e mesmo assim os valores foram relativamente próximos, 4,34% para o tratamento a 190 °C por 40 min e 4,37% para o tratamento a 180 °C por 180 min. Logo, a constituição da madeira apresenta maior interferência que o tratamento térmico aplicado.

3.1.2. Teor de Extratíveis

Os extratíveis são compostos formados por terpenos, fenóis aromáticos, álcoois, ácidos alifáticos, carboidratos e algumas substâncias inorgânicas. São os responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira, podendo garantir os aromas cítricos, florais e tostados à cerveja e que são provindos da degradação térmica da lignina através da tosta. (BORTOLETTO, 2013)

De acordo com a Tabela 2, os compostos que apresentaram maior quantidade de extratíveis foram as amostras de Bálsamo (16,57%), Carvalho (16,55%) e Ipê (28,19%). Espera-se que haja influência nas características sensoriais da cerveja maturada com estas madeiras, contribuindo em compostos voláteis, ácidos orgânicos de cadeias curtas, a intensificando a cor, e agregando valor à cerveja. (Angeloni, 2015)

Observa-se também que as amostras de amburana* e jequitibá** obtiveram valores maiores de extratíveis que as outras amostras de amburana e jequitibá, isso devido às primeiras passarem por um processo térmico mais prolongado.

3.1.3. Teor de Lignina

Com o tratamento térmico das madeiras, os açúcares de baixo peso molecular como a glicose, xilose, manose etc, dão origem a produtos de degradação que conferem à bebida notas caramelizadas, segundo (WYLER et al., 2015) (ALIMENTOS, 2017)

Os aldeídos fenólicos, derivados da lignina, acrescentam à cerveja sabores semelhantes ao de baunilha, proveniente da vanilina, ao cravo com o eugenol e o aroma defumado e especiarias do guaiacol. Esses sabores são provenientes da degradação térmica da lignina através da tosta. Após esse processo, os compostos de menor peso molecular serão solubilizados e contabilizados por meio da análise de extrativos. (WYLER et al., 2015)

As amostras que apresentaram maior porcentagem de lignina são o Eucalipto (52,63%), Amburana (51,93%) e Castanheira (50,14%), indicando serem amostras interessantes para o processo de maturação em bebidas, pois o impacto sensorial tende a ser mais relevante devido à quantidade de compostos extraídos. (WYLER et al., 2015) Aromas e sabores tânicos provenientes da lignina, baunilha de aldeídos como vanilina, cumarina e coniferaldeído, estarão bem presentes nas amostras da cerveja maturada nestas madeiras.

A porcentagem de lignina na composição da madeira de eucalipto aumenta sua resistência, sendo uma das madeiras mais duras, relatadas pela literatura. Por apresentar indivíduos arbóreos mais robustos, foi observado maior conteúdo de lignina e celulose. (EUCALIPTO, 2011)

Nas amostras de Amburana* (51,93%) e Castanheira** (50,14%), o teor de lignina é bem superior se comparado aos teores de lignina das amostras Amburana (43,78%) e Castanheira (37,05%). Isso demonstra que diferentes formas de tratamento térmico das amostras afetam de maneira proporcional o teor de lignina quando comparadas aos outros componentes da madeira, isso devido a degradação da celulose e hemicelulose, e conseqüentemente, irão afetar os sabores e aromas provenientes da maturação com esta madeira com diferentes graus de tosta. No primeiro caso, ambas as amostras foram tratadas termicamente por 180 minutos a 180°C enquanto que no segundo caso as amostras foram tostadas por 40 minutos a 190°C conforme Tabela 1. O fato de tratar termicamente de maneira mais prolongada (140 minutos a mais) a madeira em temperatura menor (diferença de 10°C) modificou a quantidade de lignina nas amostras.

3.1.4. Teor de Holocelulose

Aholocelulose representa a porção de carboidratos da madeira e é composta por polímeros de celulose e hemicelulose. Este teor é utilizado para designar o produto obtido após a remoção da lignina da madeira, onde se deve obter uma perda mínima de polissacarídeos. (SANTOS, 2008)

As amostras que apresentaram maior teor de holocelulose foram Castanheira (62,54%), Carvalho (59,53%) e Carvalho reciclado (57,18%), essas amostras apresentam menor teor de lignina conforme observado na Tabela 2.

O teor de holocelulose foi fundamental para a escolha das madeiras a serem analisadas, tendo em vista, que após o tratamento térmico ocorre uma maior disponibilidade superficial de lignina, devido a degradação térmica da holocelulose e perda dos extratíveis presentes na madeira. Desta forma, as seis madeiras com o maior teor de holocelulose foram as Castanheira, Carvalho, Carvalho reciclado, Jequitibá, Amburana e Bálsamo. O Carvalho reciclado foi excluído do teste por já ter sido utilizado para maturação de outra bebida e para evitar interferência nos resultados do experimento. As demais, Amburana, Bálsamo, Castanheira, Carvalho e Jequitibá passaram pelo mesmo processamento térmico e foram adicionadas a cerveja maturada em quantidades iguais, 3g/L.

A hemicelulose é constituída de polissacarídeos complexos, como por exemplo, unidades de D-xilose, L-arabinose, D-galactose, D-manose e L-ramnose, moléculas muito menores do que a celulose. A maior parte das hemiceluloses participa como suporte estrutural da parede celular e são consideradas como amorfas, e orientadas na mesma direção das microfibrilas de celulose. Os produtos de sua degradação são os açúcares de cinco átomos de carbono que produzem o furfural, composto aromático presente em bebidas envelhecidas em madeiras, principalmente as que sofreram tratamento térmico. As hexoses, componentes da hemicelulose, são transformadas em hidroximetil-5-furfural (5-HMF) e em metil-5-furfural. Esses compostos são oriundos da reação de Maillard e da desidratação (reação catalisada por ácido acético). (ALIMENTOS, 2016) Estes compostos agregam a cerveja com aromas e sabores que remetem a tostado, caramelo, pão, amêndoa entre outras substâncias e conferem junto com os extrativos, cores para a bebida maturada.

A Amburana (56,07%) e a Castanheira (62,54%) com o tratamento térmico de 40 min, obtiveram um maior teor de holocelulose se comparadas com as amostras de Amburana* (47,23%) e a Castanheira** (49,62%) tratadas por 180 minutos. Resultado já esperado, uma vez o período prolongado proporciona a pirólise dos polímeros, conseqüentemente maior fração de compostos de menor massa molecular.

3.1.5. Teor de cinzas sem extratíveis

O teor de cinzas representa a porcentagem de matéria inorgânica presente, como cálcio, magnésio e zinco, que são essenciais para o funcionamento de certas enzimas para a levedura e processos de fermentação. Porém, a quantidade de levedura presente nas cervejas em etapa de maturação é menor, apresentando uma contribuição insignificante para o processo. Por isso, como há sais inorgânicos solúveis em solução alcoólica, eles podem impactar na atividade da levedura, positivamente ou negativamente. Em função disso, o emprego da madeira ocorre após o processo fermentativo para que não implicasse em suas atividades metabólicas. (GHESTI, 2017)

Diante do exposto, a maior preocupação com o teor de cinzas está relacionada à estabilidade coloidal da cerveja (turvação) e alterações organolépticas. Sabe-se que a presença de íons de metais (especialmente, os íons de cálcio) proporciona maior aglutinação de proteínas e, conseqüentemente, maior sedimentação e corpo de fundo à garrafa. Além disso, valores de concentração de íons de Mg^{2+} e

Zn²⁺ superiores aos limiares de percepção, agregam a cerveja aromas e sabores caracterizados como gosto metálico ao produto final (GHESTI, 2017).

As amostras de Bálsamo (0,75%), Amburana (0,84%) e Jequitibá (0,62%) apresentaram maior porcentagem de cinzas, o que indica que há maior quantidade de matéria inorgânica, logo são as amostras que estão mais propensas a apresentarem maior turvação e alteração de paladar, principalmente ao longo do tempo, principalmente a vida de prateleira (shelflife).

3.2. Análise da cerveja

Uma amostra sem a adição de madeira (BR), além de apresentar padrão diferente, de uma amostra amadeirada, na análise sensorial, mantém as características associadas ao estilo de cerveja produzido (Lager). É de se esperar que uma amostra sem a adição de madeira, possua pH numa faixa de 4-4,5, um teor de extrato baixo em torno de 2-3°P devido ao teor alcoólico variando entre médio e alto 4,5 – 6%.

Já uma amostra maturada na presença de madeira, durante o processo de metabolização dos açúcares residuais da cerveja, permite uma fermentação secundária de menor intensidade, de modo que o produto final adquira uma acidez característica e seja observado um incremento de coloração e de aromas e sabores característicos de madeira. Pode apresentar valores inferiores de pH, devido às interações químicas da bebida com a madeira e, também, valores diferentes nas análises físico-químicas, como por exemplo, a coloração e a turbidez.

3.2.1. Análise Microbiológica

Os microrganismos contaminantes da indústria cervejeira podem ser definidos como qualquer organismo que não foi proposadamente introduzido e que é apto a sobreviver e proliferar em qualquer etapa do processo cervejeiro. (HUGHES; BAXTER, 2001).

De posse dos resultados das análises microbiológicas foi observado a presença de bactérias de ácidos láctico e acético, bem como a presença de demais bactérias heterotróficas e leveduras, conforme Tabela 6. Conforme já reportado na literatura por Muller (2016), dentre os principais microrganismos presentes ao longo do processo tem-se os *Lactobacillus* spp, que produzem o ácido láctico e aumentam a turbidez da cerveja, e *Acetobacter* spp, que produz ácido acético. Estes microrganismos são capazes de sobreviver às mesmas condições que a levedura cervejeira e encontram um ambiente adequado para o seu desenvolvimento.

Diante do exposto, pode-se observar que apenas os contaminantes tradicionais foram observados no produto final em função das condições do produto. Pode ser que a adição de madeira tenha agregado outros microrganismos, porém só apresentaram atividade metabólica os identificados na análise. A problemática da presença de bactérias na amostra final implica a reprodução dos mesmos em velocidades

superiores (por meio de mitose) as leveduras o que, conseqüentemente, implica em uma produção superior de ácidos orgânicos citados acima, alterando as características sensoriais e físico-químicas do produto final.

Tabela 6. Análise microbiológica das cervejas analisadas.

Amostra	Presença de leveduras	Presença de bactérias de ácido acético	Presença de bactérias de ácido láctico	Presença de bactérias heterotróficas	Conformidade
CS	Incontáveis*	-	-	-	Conforme
JE	18 colônias	-	-	Incontáveis*	Alterada
BA	Incontáveis*	9 colônias	2 colônias	-	Conforme
CA	200 colônias	-	-	-	Conforme
AM	2 colônias	9 colônias	-	Incontáveis*	Alterada
BR	50 colônias	-	5 colônias	Incontáveis*	Alterada

*Incontáveis (>300) colônias

Conforme Tabela 6, as amostras AM, BR (branco) e JE possuem alterações microbiológicas significativas, apresentando resultado de não-conformidade devido à presença de bactérias heterotróficas, que foi o caráter fundamental para a diferenciação. A amostra BR apresentou alteração na análise microbiológica com a presença de bactérias de ácido láctico e heterotróficas, mas não apresentou presença de bactérias de ácido acético.

Todas as amostras apresentaram quantidades significativas de leveduras o que era esperado, uma vez que a cerveja não passou pelo processo de filtração, também pelo fato de que as 5 amostras maturadas em madeira são provenientes da amostra BR. A cerveja apresenta turvação típica pela presença de polifenóis e proteínas oriundas do processo, além de leveduras.

Os fenóis provenientes da madeira oferecem além de sabores e aromas uma proteção contra micrororganismos conforme observado por Milani e Rodrigues (2013).

“O extrato de cachaça envelhecida em barril de carvalho apresentou maior inibição para *S. aureus*, seguido de *E. coli*, *L. monocytogenes* e *S. choleraesius*, mas não interferiu no crescimento de *P. aeruginosa*. Para o extrato de cachaça envelhecida em bálsamo, pôde-se notar que houve uma maior inibição para um maior número de bactérias, visto que também não houve inibição para *P. aeruginosa*. Resultado semelhante ao extrato de bálsamo foi verificado para o extrato de amburana, diferenciando-se apenas na intensidade de inibição para *S. choleraesius*. Apenas o extrato de jequitibá não demonstrou

efeito inibitório sobre às bactérias testadas”.Estes resultados corroboram com os resultados acima e mostram também o efeito neutro do jequitibá para o controle microbiológico.”(MILANI; RODRIGUES, 2013)

3.2.2. Densidade Relativa

A densidade relativa das amostras pelo densímetro *BeerAnalyzer* triplicata, está presente na Tabela 7.

Tabela 7. Densidade relativa das amostras de cerveja pronta realizada pelo densímetro BeerAnalyzer.

Amostra	Densidade Relativa a 20°C
BR	1,019 ± 0,001
AM	1,019 ± 0,002
CS	1,019 ± 0,012
JE	1,018 ± 0,002
BA	1,020 ± 0,000
CA	1,018 ± 0,001

No geral, as amostras apresentaram valores próximos da amostra BR, o que indica que a madeira presente não interferiu na densidade e nem nos resultados de teor alcoólico, extrato primitivo e extrato aparente.

Devido ao fato das amostras serem armazenadas isoladamente a temperatura de 0°C e praticamente não existir atividade microbiológica significativa nessas condições, os resultados não apresentaram diferenças significativas.

A presença de microorganismos em diferentes proporções entre as amostras não alterou significativamente a densidade da cerveja em estudo, e conseqüentemente não alterou também o extrato aparente, teor alcoólico, pH e acidez total.

Esses resultados se mostram semelhantes ao trabalho de Wyler et al(2015) intitulado como “*Effect of oak wood on the quality of beer*”, onde cubos de madeiras de carvalho em diferentes tostas foram maturados a 0°C durante 3 meses. (WYLER et al., 2015)

A maturação a temperaturas baixas tanto neste trabalho como citado po Wyler et al (2015) foi o fator crucial para a manutenção das características físico-químicas das amostras. (WYLER et al., 2015). A justificativa do uso da temperatura de maturação baixa explica a não atividade microbiológica suficiente para alterar a composição da amostra através da degradação dos açúcares presente na madeira, e também não ocorre a redução da concentração de compostos voláteis.

Angeloni (2016) em seu trabalho com cerveja envelhecida em barrils de madeira a temperatura ambiente apresentou variações nestas análises devido a maneira como as amostras foram armazenadas.

3.2.3. Teor alcoólico

O teor alcoólico consiste na determinação da porcentagem de álcool em uma mistura. Segundo Angeloni (2015), os valores encontrados estão dentro dos padrões de cervejas tipo Lager (6%v/v), como está apresentado na Tabela 8. Como grau de confiabilidade é de $\pm 0,5\%$ (v/v) no equipamento utilizado, todas as amostras são consideradas significativamente iguais.

Tabela 8. Relação do teor alcoólico das amostras de cerveja.

Amostra	Teor alcoólico (% v/v)
BR	6,60
AM	6,59
CS	6,64
JE	6,64
BA	6,58
CA	6,61

3.2.4. Extrato Aparente

No valor do extrato aparente é considerada a presença do álcool e sua interferência na densidade do líquido. Os resultados se encontram na Tabela 9. Como já foi dito anteriormente, os resultados das amostras são semelhantes em função do grau de confiabilidade do equipamento de 0,1 o que era esperado, uma vez que a cerveja base é a mesma.

Tabela 9. Relação de extrato aparente das amostras de cerveja.

Amostra	Extrato aparente (% m/m)
BR	3,94
AM	4,07
CS	3,96
JE	3,94
BA	4,05
CA	4,01

As diferenças entre os extratos de todas as amostras são na ordem máxima de 0,11%(m/m). Pode ser explicado pela extração de açúcares provenientes da madeira comprovado por meio de análises físico-químicas. A pequena variação é explicada devido à alta conservação do produto em baixa temperatura.

3.2.5. pH

A análise de pH pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10. Relação de pH das amostras de cerveja.

Amostra	pH
BR	4,45

AM	4,48
CS	4,51
JE	4,50
BA	4,45
CA	4,46

Os pH das amostras com madeira apresentaram variações próximas, com uma diferença máxima na ordem de 0,06, que se encontra dentro da faixa de confiabilidade do equipamento que é de 0,10, logo podem ser consideradas iguais. Não se pode afirmar que a contaminação microbiológica tenha contribuído para a pequena diferença de pH entre as amostras.

3.2.6. Acidez Total

A acidez é importante para a caracterização e padronização da cerveja, pois auxilia no reconhecimento de fraudes, interfere na bebabilidade e no controle de alterações por microrganismos. (SUGARI; BENNEMANN, 2011) A relação de acidez das amostras realizadas em triplicata pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11. Relação de acidez total das amostras de cerveja.

Amostra	Acidez Total (mg/L)
BR	0,704 ± 0,016
AM	0,730 ± 0,016
CS	0,668 ± 0,025
JE	0,681 ± 0,032
BA	0,672 ± 0,028
CA	0,802 ± 0,016

O maior teor de acidez provenientes da amostra CA demonstra que o teor de hemicelulose e lignina da madeira influenciaram o valor de acidez do carvalho, porém não impactaram significativamente no valor de pH. Para as amostras BR e AM houve interferência externa no valor de acidez total, que pode ser justificada pela contaminação microbiológica, pelo maior número de microrganismos presentes nas amostras em questão.

As alterações na acidez estão relacionadas com os ácidos orgânicos provenientes da extração dos compostos da madeira que influenciam na acidez total, assim como os ácidos metabolizados por microrganismos contaminantes.

3.2.7. Coloração

A cor da cerveja padronizada pelo método EBC (European Brewery Convention) tem relação com a composição e características do malte empregado e com a exposição da cerveja ao calor. Isso porque as reações de Maillard ocorrem ao longo do processo de malteação e na sala de brassagem (mosturação, clarificação e fervura) deste produto originam substâncias corantes, conhecidas como melanoidinas. (PINHEIRO, 2016)

A relação de cor das amostras analisadas está descrita na Tabela 12.

Tabela 12. Relação de coloração das amostras de cerveja.

Amostra	Cor (EBC)
BR	18,1
AM	17,5
CS	18,4
JE	18,1
BA	18,7
CA	18,0

Nas amostras da tabela 11 a cor apresentam relação com os teores de extratíveis das madeiras, sendo que a amostra de menor coloração foi a amostra (AM), e que a amostra (BA) corresponde com o maior teor de extratíveis, mostrando uma relação direta entre teor de extratíveis e cor da cerveja maturada em cubos de madeira.

Dentre as substâncias extraídas da madeira, são encontradas substâncias como os terpenos, fenólicos aromáticos, álcoois, ácidos alifáticos, carboidratos e algumas substâncias inorgânicas. São essas as responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira processada. (WYLER, 2013)

3.2.8. Turbidez

Durante o armazenamento da cerveja, as partículas em suspensão decantam por formarem compostos químicos de peso molecular mais alto. (WYLER, 2013) A presença desses complexos está diretamente relacionada à turbidez, de modo que as precipitações de tais partículas tornam a bebida mais límpida pelo contato com a madeira. Espera-se que ocorra uma limpidez maior quanto maior o tempo de armazenamento. A explicação está relacionada à polimerização e combinação de compostos fenólicos com proteínas. Eles podem combinar-se naturalmente com outras substâncias já presentes na cerveja, como açúcares, ácidos orgânicos, substâncias nitrogenadas e íons metálicos. (SIQUEIRA, 2008). A relação de turbidez das cervejas está apresentada na Tabela 13.

Tabela 13. Relação de turbidez das amostras de cerveja.

Amostra	Turbidez (NTU)
BR	54,30
AM	49,10

CS	55,62
JE	49,72
BA	53,32
CA	55,13

As amostras AM e JE apresentaram os menores valores para turbidez, o que pode ser justificado pela capacidade adsorptiva das madeiras em questão por serem mais porosas (apresentarem um valor menor de extratíveis). Essa informação corrobora com os menores valores de cor, justificando essa característica da madeira. Já a CS apesar de apresentar valor próximo ao das amostras de AM e JE quanto ao teor de extrativos, possui uma turbidez superior, decorrente do alto teor de leveduras detectadas conforme Tabela 13

As amostras BR e BA apresentaram um teor mais elevado de turbidez, provenientes de contaminação, presença de bactérias de ácido láctico, que agregam turbidez a cerveja.

3.2.9. Compostos Fenólicos Totais

Comparando as amostras maturadas com madeira e a amostra BR, pode-se observar que todas as amostras tiveram um incremento substancial em quantidade de fenóis totais, demonstrando que a madeira agregou polifenóis à cerveja, isso também foi observado durante a análise sensorial. A amostra AM foi a que apresentou o maior valor em intensidade de aromas e sabores, concomitantemente também a que apresentou maior resultado de fenóis totais. A análise sensorial foi feita imediatamente após a cerveja ser retirada da maturação. No final do terceiro mês do processo, a amostra de JE e CS apresentaram valores altos de fenóis, mas não apresentou valores de intensidades de aromas e sabores tão elevados. Após 18 meses do início do experimento, as amostras foram novamente analisadas sensorialmente e a amostra de JE e CS tiveram uma evolução surpreendente em intensidade de aromas e sabores, demonstrando que os fenóis extraídos da madeira continuaram a complexar e evoluir a bebida com o passar do tempo e que estes ficaram mais intensos, se comparados com as amostras de BA e CA, que é demonstrado na **Error: Reference source not found.**

Tabela 14. Relação de fenóis das amostras de cerveja.

Amostra	Fenóis (mg/L)
BR	107,0
AM	185,6
CS	170,8
JE	167,4
BA	125,6
CA	135,3

3.2.10. Análise sensorial

As amostras foram pré-avaliadas sensorialmente para se determinar a ordem de degustação.

Através desta análise sensorial chegou-se também a uma média de intensidade de sabores provenientes das madeiras maturadas em cerveja onde os maiores valores corresponde aos mais intensos sabores e aromas e os menores valores aos menos intensos, conforme a abaixo:

Tabela 145. Intensidade de aromas e sabores provenientes da análise sensorial.

Amostra	Aroma	Sabor
AM	1,41	1,75
CS	0,93	1,17
JE	1,37	1,47
BA	1,26	1,37
CA	1,62	1,58

O resultado sensorial da amostra JE, apresentou o aroma de baunilha mais evidente, demonstrando que estes aromas e sabores foram extraídos das madeiras. Os aromas de malte também foram percebidos pelos analisadores, o que era esperado visto que a cerveja padrão (BR) usada no experimento tinha um caráter maltado bem pronunciado. Conforme esperado, esta percepção de maltado se repetiu em todas as amostras. No sabor a amostra JE foi relatado a sensação resinosa na boca. Isso está associado ao ácido gálico proveniente da lignina da madeira e condimentado proveniente de substâncias tais como siringaldeído, sinapaldeído e coniferaldeídos da lignina, conforme Figura 7 e Figura 8.

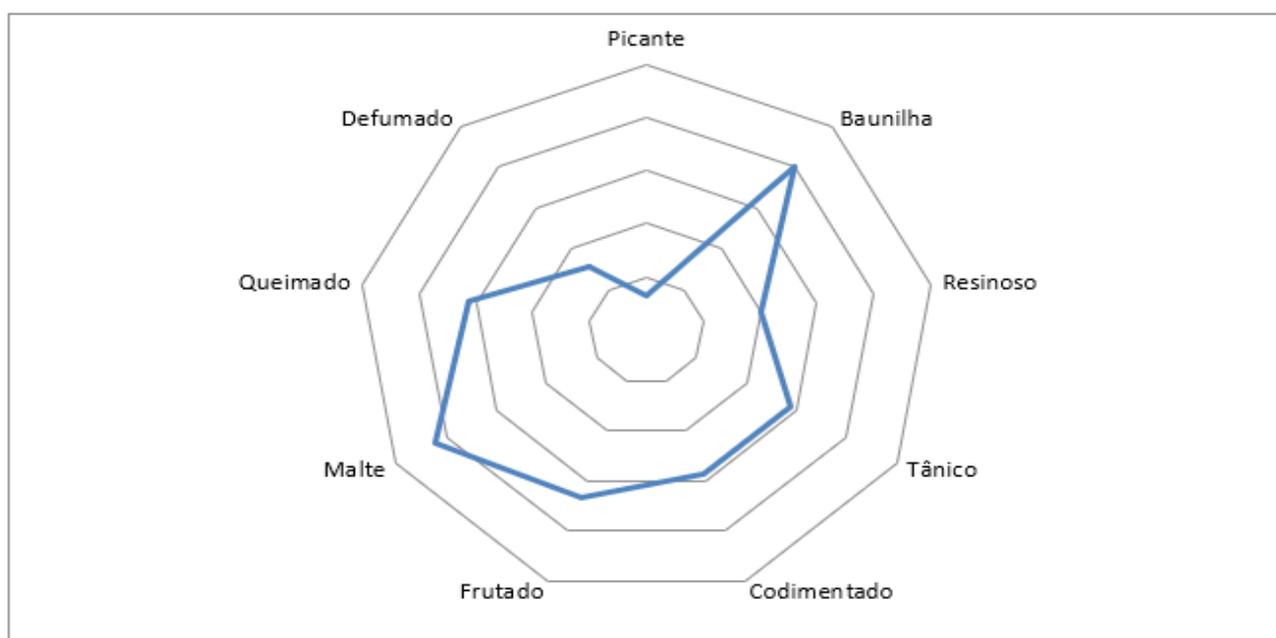


Figura 7. Perfil de aromas da amostra JE.

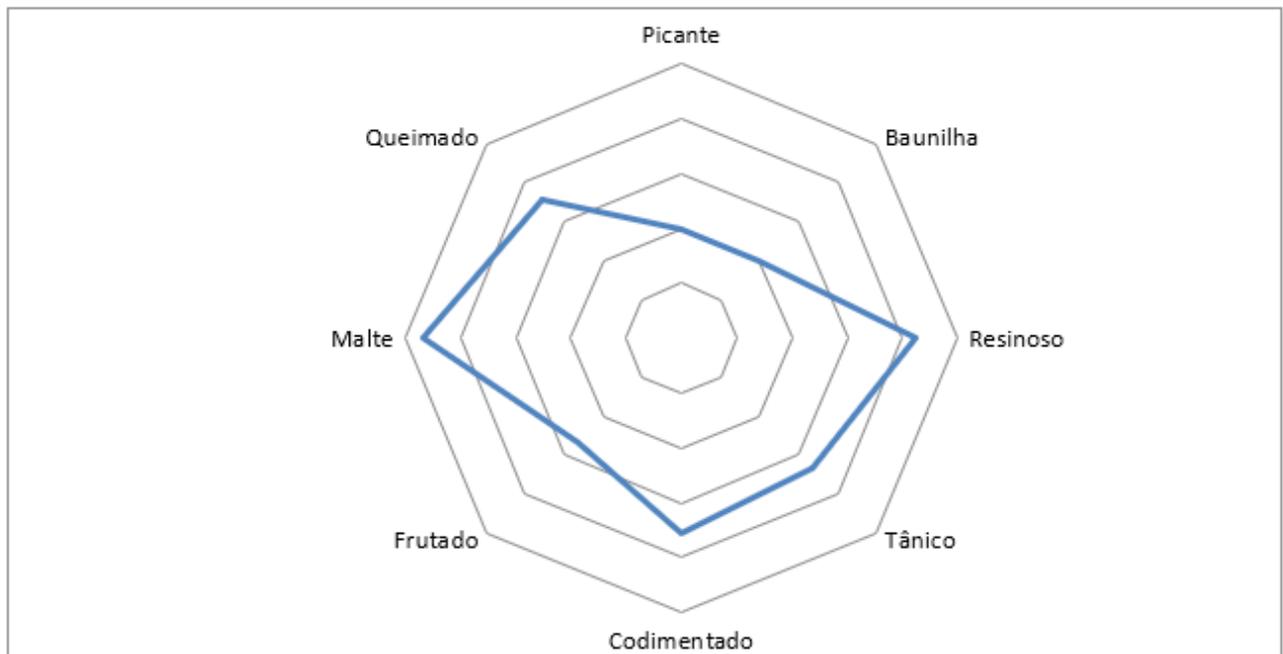


Figura 8. Perfil de sabor da amostra JE.

A amostra com CS apresentou aroma de maltado, baunilha e condimentado, a qual apresentou maior destaque. No paladar, o sabor de queimado teve destaque devido à tosta sofrida pela madeira, promovendo o sabor tânico na amostra. O sabor condimentado também aparece devido aos componentes provenientes da lignina conforme Figura 9 e Figura 10.

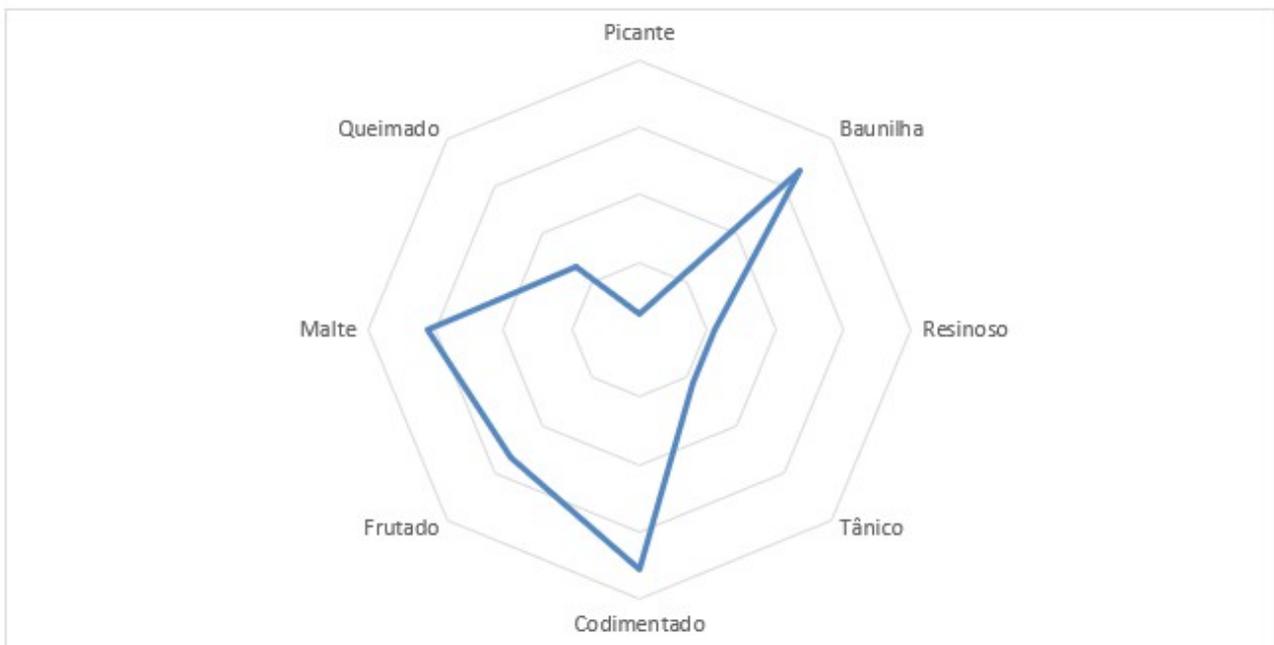


Figura 9. Perfil de aromas da amostra CS.

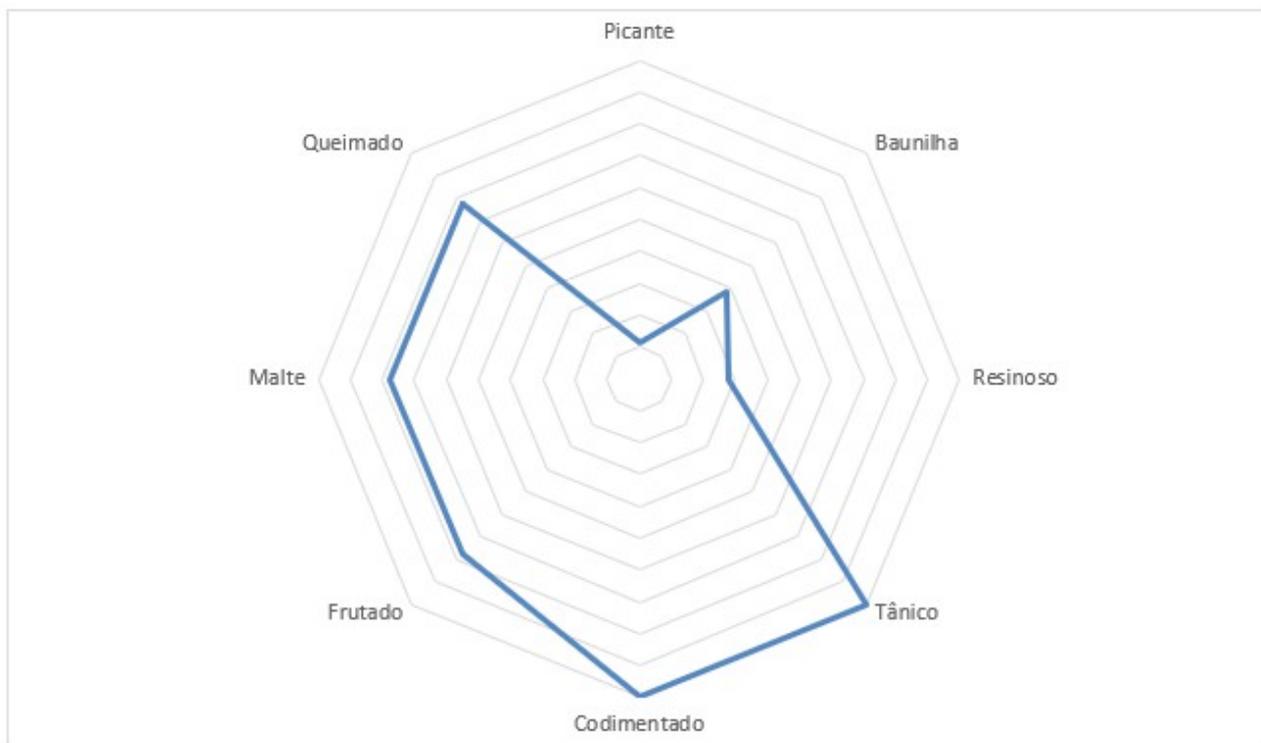


Figura 10. Perfil de sabor da amostra CS.

Na amostra BA tanto no sabor como no aroma associados a baunilha e frutado ficaram evidenciados. O primeiro devido aos compostos provenientes da lignina como a vanilina e, o segundo, de compostos como a catequina e a escopoletina provenientes da lignina, conforme Figura 11 e Figura 12.

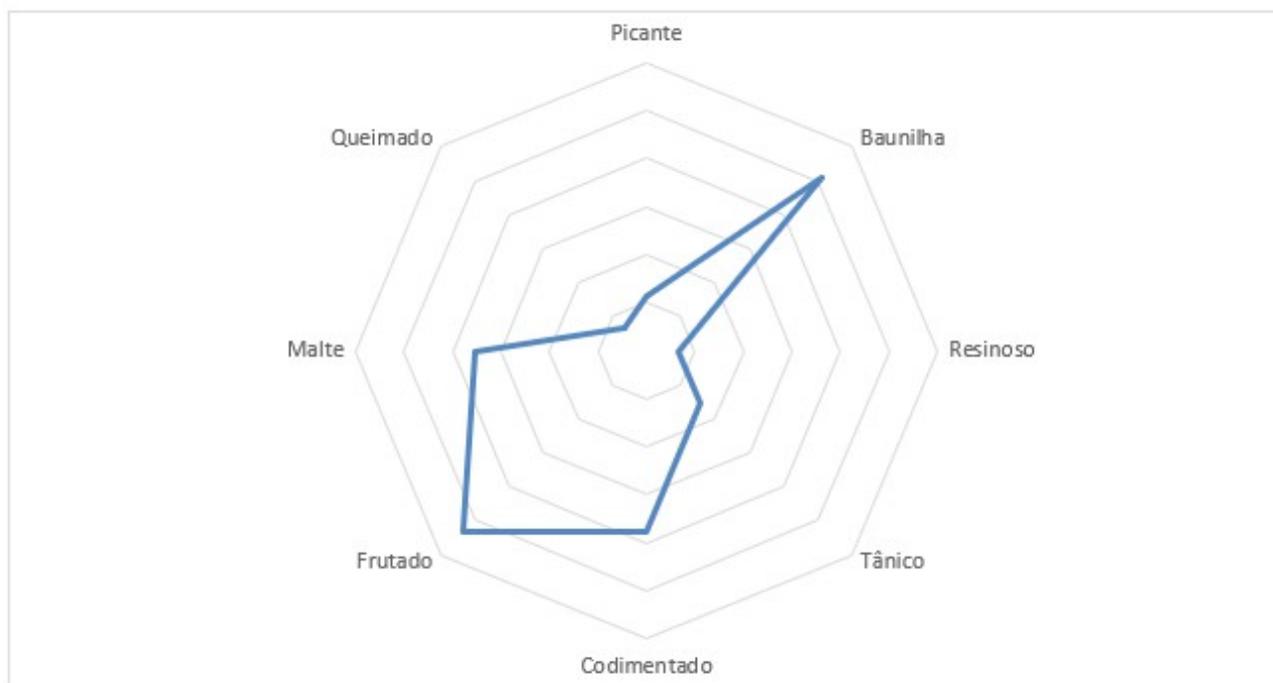


Figura 11. Perfil de aroma da amostra BA.

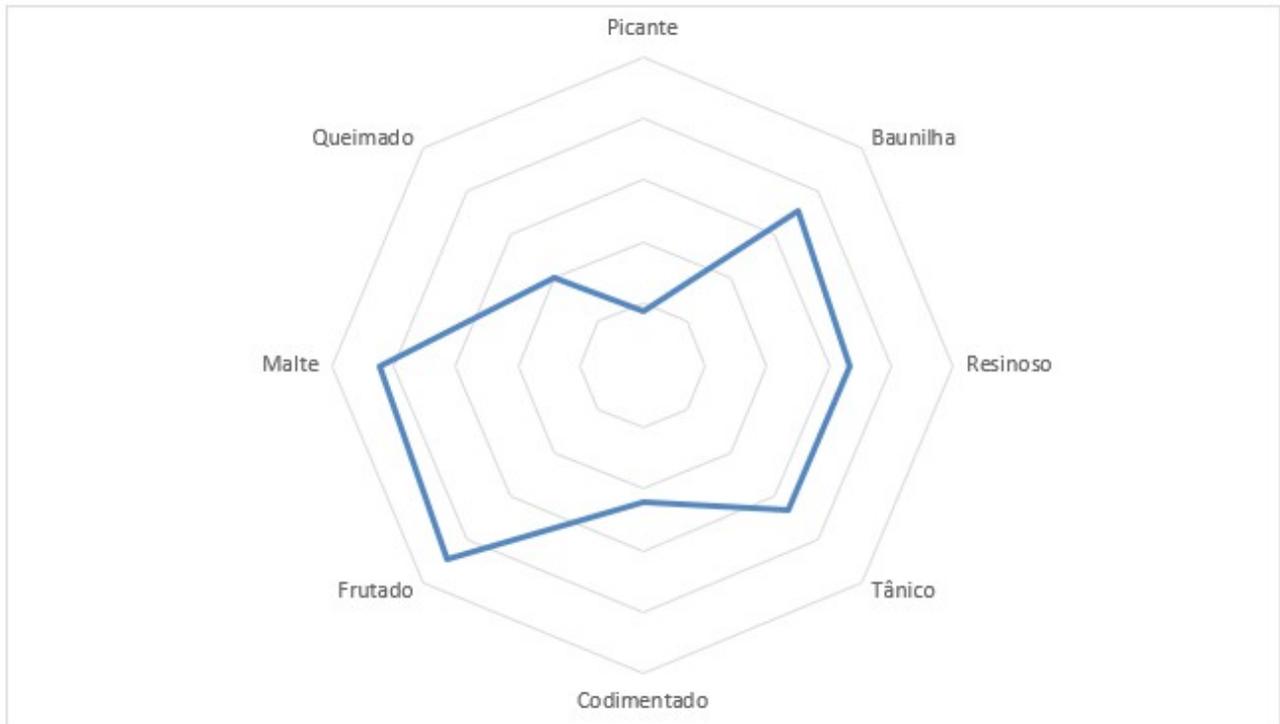


Figura 12.Perfil de sabor da amostra BA.

A amostra CA teve como características aromas de queimado, resinoso, baunilha, condimentado além de maltado. No paladar, características de resinoso, tânico e condimentado. Pode ser observado pelasFigura 13Figura 14que foi a amostra mais abrangente de aromas e sabores, com intensidades mais pronunciadas no paladar.



Figura 13. Perfil de aroma da amostra CA.



Figura 14. Perfil de sabor da amostra CA.

O perfil sensorial da amostra AM foram os mais intensos quando comparados com as outras amostras. Apresentaram valores de intensidade de 2,89 para o aroma de condimentado e 3,89 para o sabor de condimentado, conforme Figura 15 e Figura 16.

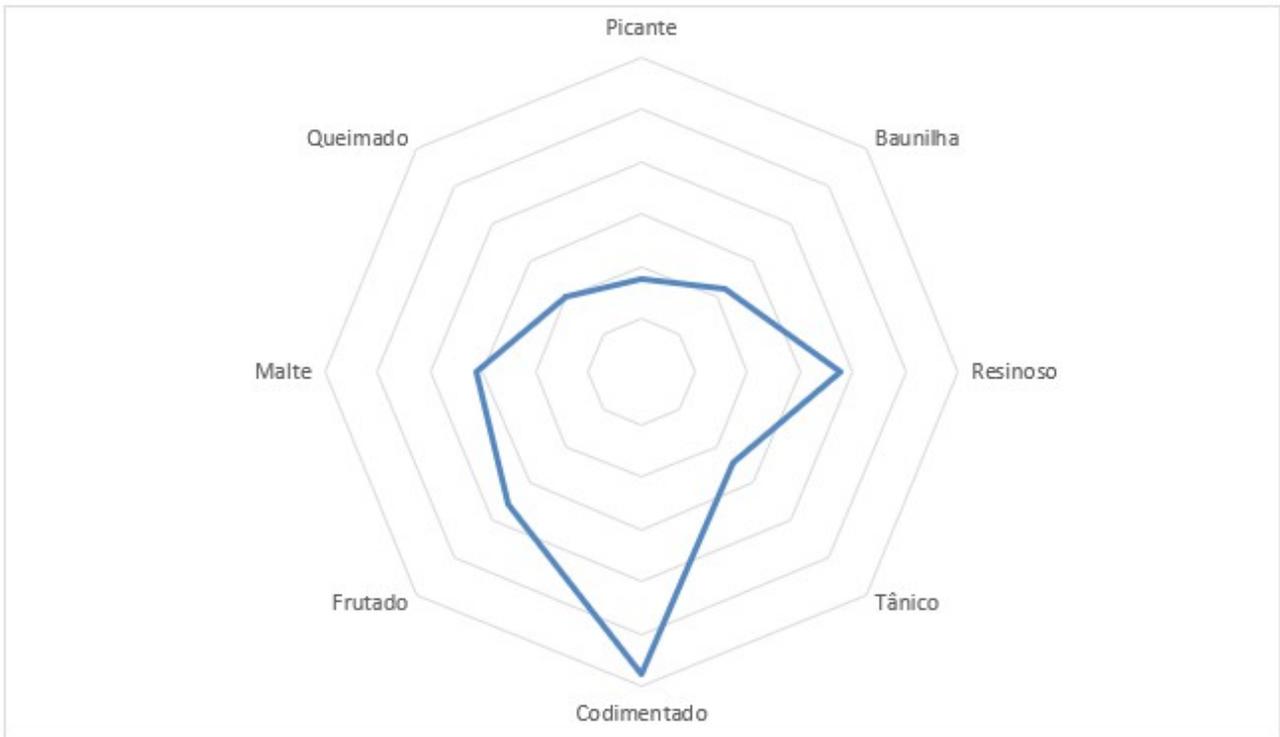


Figura 15. Perfil de aroma da amostra AM.



Figura 16. Perfil de sabor da amostra AM.

Com base nas análises físico-químicas e sensoriais e através de revisão bibliográfica, foi possível desenvolver um modelo simplificado para a tosta de madeiras para ser usado na maturação de cerveja e outras bebidas, conforme Figura 17.



Figura 17. Modelo Simplificado para Tosta.

Neste modelo, foi levado em consideração a intensidade da tosta comparando a modificação sofrida pela madeira por meio de tratamento térmico, associando ao perfil sensorial que a madeira vai proporcionar a cerveja no que se refere de maneira genérica a doçura, adstringência tânica e amargor. O que se pode observar de acordo com o modelo é que à medida que se aumenta a intensidade de tosta os compostos voláteis associados à adstringência são eliminados, ocorre a deterioração da hemicelulose aumentando a disponibilidade da lignina, na amostra de madeira, proporcionando assim um maior contato da bebida com a lignina. A cerveja maturada com madeira tratada por tosta, vai adquirir doçura provenientes dos compostos derivados das estruturas internas da madeira, sobretudo a lignina e a hemicelulose. Este modelo tem o limite de temperatura até 200°C, e acima deste limite, o tratamento térmico se torna agressivo para a madeira e os efeitos sensoriais se tornam negativos.

No experimento, as amostras de madeira que foram submetidas a tratamento térmico por 180 minutos à 180°C, AM* e CS** apresentaram um aumento proporcional no teor de lignina quando comparadas com amostras submetidas a tratamento térmico de 190°C por 40 minutos, isso devido a uma maior degradação de hemicelulose, que aumenta a disponibilidade de lignina e proporciona uma maior contribuição sensorial de compostos como: ácidos cumáricos, cumarina, ácido vanílico, vanilina, os quais agregam sabor de baunilha. Outros compostos como o eugenol, proveniente do mesmo constituinte da madeira, contribuirão para o perfil aromático de especiarias, como cravo-da-índia e fumaça na cerveja.

Já o tratamento térmico por um período menor, 40 minutos, contribuiu para a menor redução da proporção de hemicelulose na madeira, propiciando uma maior contribuição sensorial de compostos derivados da hemicelulose tais como: as hexoses e pentoses, ácidos e acetil, compostos furânicos como o

10. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

É conhecido sobre o envelhecimento de bebidas alcoólicas em madeiras, especialmente as de Carvalho, são as mais utilizadas para tal finalidade, devido às características ácidas, organolépticas e, devido a sua cor intensa e os odores liberados desde sua tosta, até o momento em que é triturada para análise. Observou-se que o uso desta madeira em diferentes tostas, adicionadas à cerveja, foram satisfatórios em questões de valores como nos teores de extrativos, cinzas e holocelulose. Entretanto, outras amostras de madeira se destacaram nos mesmos aspectos que o Carvalho, como a Amburana, Castanheira, Bálsamo e Jequitibá.

Atualmente, existem cervejas já comercializadas com madeira, com teores alcoólicos mais altos e mais complexas. Os estilos mais comuns como Imperial Stout, Tripel, Doppelbock e Dark Strong Ale são os mais comuns quanto à boa resposta do envelhecimento. A idéia de implementação do estilo Wood Aged – maturar em cubos, lascas ou chips de madeira, no Brasil ainda é recente e necessita mais estudos para aplicações em cerveja. Ainda, as cervejas nacionais comercializadas são envelhecidas em barris de carvalho oriundos da indústria do whisky.

Foi visto que a composição química das diferentes amostras insere compostos diferenciados que agregam valor ao produto final. Embora os componentes de sua composição sejam de baixo peso molecular, contribuem com inerentes propriedades para a cerveja, como nos aromas, gosto e cor.

O processo de maturação da cerveja em contato com a madeira aumenta a complexidade sensorial e química da bebida, o uso de cubos ao invés de tonéis é uma alternativa interessante visto a praticidade e ao baixo custo do processo quando comparado ao uso de barris de forma tradicional.

Através das análises físico-químicas realizadas foi possível observar o que é necessário na elaboração da bebida, pois é notável que ocorreram alterações microbiológicas que favoreceram o aumento da complexidade da cerveja bem como, que a madeira aplicada às amostras interagiu quimicamente durante o processo de fabricação, agregando as características amadeiradas ao produto final. É possível, ainda, confirmar que todas as amostras se referem a cervejas tipo Lager e classificam-se quanto à legislação do que é cerveja, já que as características amadeiradas favorecem o produto na análise sensorial não interferindo na composição da cerveja.

As madeiras Carvalho e Amburana interagiram melhor com a bebida devido aos altos valores obtidos em comparação com as demais e, as amostras de Castanheira, Jequitibá e Bálsamo apresentam serem mais estáveis e agradáveis ao paladar humano. Quanto às demais madeiras utilizadas, é possível que a realização de mais estudos e testes sobre elas possa ser uma boa opção para o mercado cervejeiro, como a madeira do Ipê, que pela composição também mostrou ser interessante para aplicação.

Este trabalho proporcionou a base para outro intitulado Projeto Tanoa que visa o uso de madeiras brasileiras para produção de cervejas comerciais na indústria e produtos derivados de madeira para o mercado cervejeiro. Em sua primeira fase do Projeto Tanoa foi elaborada uma cerveja estilo Wood Aged 9% álcool e 40 IBU, com o uso de três madeiras estudadas Castanheira, Bálsamo e Jequitibá em proporções diferentes se utilizando de cubos de madeira, esta mistura de madeiras e a tosta utilizada para elaboração

da cerveja foram definidos usando como base os dados mostrados neste trabalho. A cerveja se mostrou comercialmente viável, com um alto valor agregado, devido à madeira e teve seu lançamento no mercado no mês de junho de 2018, com uma tiragem inicial de 2000 litros, com grande aceitação do público.

11. REFERÊNCIAS

- ALCARDE, A. R.; SOUZA, P. A. DE; BELLUCO, A. E. D. S. Aspectos da composição química e aceitação sensorial da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de diferentes madeiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3649, p. 226–232, 2010.
- ALIMENTOS, T. DE. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz ” **Cerveja envelhecida em barril de madeira , aspectos químicos e microbiológicos**. Luís Henrique PoletoAngeloni Piracicaba. 2016.
- ALIMENTOS, T. DE. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz ” **Qualidade química e sensorial de cachaça envelhecida em barris de carvalho de diferentes espécies e quantidades de uso**. LethiciaSuziganCorniani Piracicaba. 2017.
- ALMEIDA, A. B. C. DE. Efeitos biológicos do lúpulo: Resultados de ensaios clínicos em humanos. 2017.
- ATAIDE Da S. A., PEREIRA Do N. E.S., CARDOSO D.R., FRANCO D.W. Coumarins and phenolic fingerprints of oak and Brazilian woods extracted by sugarcane spirit. **Journal of Separation Science**;v.32, n.21, p.3681-3691. 2009.
- BANERJEE, S.; SCHLAEPPI, K.; HEIJDEN, M.G.A. Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning. **NatureReviewsMicrobiology**, p. 1, 2018.
- BERNARDES, C. D. **Métodos Analíticos para Cachaças Utilizando Técnicas Espectrométricas , Cromatográficas e Quimiométricas**. 2015.
- BORTOLETTO, A. M. Composição química de cachaça maturada com lascas tostadas de madeira de carvalho proveniente de diferentes florestas francesas. Dissertação de Mestrado. p. 80, 2013.
- BORTOLETTO A. M; ALCARDE, A.R. Aging marker profile in cachaça is influenced by toasted oak chips. **Journal of the Institute of Brewing**. v.121, n.1, p.70-77. 2015.
- BORTOLETTO A. M; ALCARDE, A.R. Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça. **FoodResearchInternational**, n. 86, p.46-53. 2016.
- BRASIL. Decreto no 6.871D.O.U, 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm acessado em 19/06/2018.
- CANAS, S. et al. Effect of natural seasoning on the chemical composition of chestnut wood used for barrel making. **Ciência e técnica vitivinícola**, v. 21, n. 1, p. 1-16, 2006.
- CASTRO, J. et al. Use of Amazonian species for aging distilled beverages: physical and chemical wood analysis. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 319-327, 2015.

CERVIERI JÚNIOR, O. et al. O Setor de Bebidas no Brasil. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, v. 40, p. 93–129, 2014.

CONNER, J.; PATERSON, A.; PIGGOTT, J. R. The distribution of lignin breakdown products through new and used cask staves. **Distilled beverage flavour: origin and development**. Chichester: **Ellis Horwood**, p. 177-184, 1989.

CONNER, J. et al. Maturation and blending. *Whisky–Technology, Production and Marketing. I. Russell, Ed., Academic Press: London*, p. 211-242, 2003.

DIAS, S.; MAIA, A.; NELSON, D. Efeito De Diferentes Madeiras Sobre a Composição Da Aguardente De Cana Envelhecida. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 3, p. 331–334, 1998.

EBC. Contents. <http://www.analytica-ebc.com/index.php?mod=contents&scat=16>. Acesso: 18/06/2018.

EUCALIPTO, C. D. E. Correlation between levels of lignin and uronic acids in the wood and cellulose pulp of Eucalyptus. n. July 2014, 2011.

GHESTI, G. F. et al. Análise sensorial para cervejas. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2017.

HUGHES, P. S.; BAXTER, E. D. *Beer: Quality, safety and nutritional aspects*. Royal Society of Chemistry, 2007.

QUELHAS, J.O. F. Avaliação do processo de dry-hopping durante a maturação de cervejas artesanais. São José do Rio Preto - SP. 2017.

KUNZE, W.; MANGER, H.-J. *Technology brewing and malting*. Vlb Berlin, Germany, 2004.

LEÃO, M. M. Influência do termotratamento na composição química da madeira de amburana (*Amburana cearensis*), bálsamo (*Myroxylonbalsamum*) e carvalho (*Quercus sp.*) e o impacto no aroma de uma solução modelo de cachaça. p. 86, 2006.

LEME, Alexandre Montagnana Vicente et al. Efeito de diferentes leveduras e concentrações de inóculo no amargor da cerveja. Dissertação de Mestrado. 2017.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. [s.l: s.n.].

MACEDO, Lucélia Alves; ROUSSET, Patrick Louis Albert; VALE, Ailton Teixeira. Effect of biomass composition on the condensable gas yield from torrefaction of plant residues. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 417-424, 2014.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, 1989. 419p.

MARCUSSO, E. F.; MULLER, C. V. A CERVEJA NO BRASIL: O ministério da agricultura informando e esclarecendo. Mapa, 2017.

MENDON L., LIMA Z. Influência Da Luz Na Composição Fenólica , Atividade Antioxidante E Concentração De Carbamato De Etila Em Aguardentes De Cana / Cachaças. 2012.

MILANI, L.; RODRIGUES, A. Cachaça envelhecida em diferentes tipos de madeiras: quantificação de compostos fenólicos, atividade antibacteriana. 2013.

MIRANDA, M. B. DE et al. Perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho. **Food Science and Technology**, v. 2008, n. 002489, p. 84–89, 2008.

PARAZZI, C. et al. Avaliação e caracterização dos principais compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus sp.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 193–199, 2008.

PINHEIRO, L. D. G. S. *Caracterização e processamento de cevada cultivada no Cerrado brasileiro*. 78 f. (Mestrado) - Tecnologia Química e Biológica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SALOMÃO, Rafael de Paiva. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 11-25, 2009.

SANTIAGO, Wilder D. et al. Comparison and quantification of the development of phenolic compounds during the aging of cachaça in oak (*Quercus sp*) and amburana (*Amburana Cearensis*) barrels. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 21, p. 3140, 2014.

SANTIAGO W.D. Composição fenólica no processo de produção e no envelhecimento de cachaça em tonéis de carvalho (*Quercus sp*) e embuarana (*Amburana cearensis*). 2013.

SANTIAGO, Wilder Douglas et al. Perfil físico-químico e quantificação de compostos fenólicos e acroleína em aguardentes de cana-de-açúcar armazenadas em tonéis de diferentes madeiras. **Científica**, v. 40, n. 2, p. 189-197, 2012.

SANTOS, I. D. Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. . Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade de Brasília, Brasília. 2008

SEBRAE. Potencial De Consumo De Cerveja No Brasil. p. 1–6, 2014.

SILVA, Francisco AM; BORGES, M. Fernanda M.; FERREIRA, Margarida A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SIQUEIRA, P. B. *et al.* O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 4, p. 491-498, 2008.

STRONG, G.; ENGLAND, K. Beer Judge Certification Program 2015 Style Guidelines. Beer Judge Certification Program, p. 93, 2015.

SUGARI, Adair; BENNEMANN, Délcio. **Avaliação das características de vinhos tintos elaborados no Sudoeste do Paraná**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TAMBARUSSI, Evandro V. *et al.* Paternity analysis reveals significant isolation and near neighbor pollen dispersal in small *Cariniana legalis* Mart. Kuntze populations in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecology and evolution**, v. 5, n. 23, p. 5588-5600, 2015.

TAPPI - T 204 om-88. (s.d.). TAPPI - T 204 om-88 - Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, GA: TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

TEMPLETON, D., & Ehrman, T. (1995). Determination of Acid-Insoluble Lignin in Biomass - LAP-003. National Renewable Energy Laboratory - NREL.

TEMPLETON, D., & Ehrman, T. (1995). Determination of acid-Soluble Lignin in Biomass - LAP-004. National Renewable Energy Laboratory - NREL.

TÉO, Diane *et al.* Características físico-químicas de aguardentes envelhecidas em barris confeccionados com diferentes madeiras. **Científica**, v. 33, n. 2, p. 152-159, 2008.

VIVAS, N. *et al.* Détection CPG/SM des biomarqueurs spécifiques de l'élevage des vins en barriques. **Analisis**, v. 26, n. 2, p. 88-92, 1998.

VIVAS, N. *et al.* Development of microorganisms in the oak heartwood (*Quercus petraea* Liebl) during air drying in open air conditions. In: **Annales des Sciences Forestières**. 1997. p. 563-571.

WYLER, Patricia. Influência da madeira de carvalho na qualidade da cerveja. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2013.

WYLER, P. *et al.* Effect of oak wood on the quality of beer. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121, n. 1, p. 62–69, 2015.

12. ANEXO 1

Produção de cerveja

A cerveja é uma solução complexa formada através da mistura de 4 ingredientes principais e transformada pela interação físico-química e microbiológica destes componentes. Pela imensa variedade destes ingredientes, diferentes formas de se fazer este produto e por ter suas matérias primas de origem vegetal (suas características determinadas pelo meio ambiente onde são cultivadas (terroir)), se apresenta ao mundo como uma bebida de enorme variedade, estima-se mais de 20 mil tipos de cerveja no mundo.

O uso de outros ingredientes além dos quatro ingredientes básicos é também responsável por essa imensa diversidade do mesmo produto.

Água, malte de cevada, lúpulo e levedura são misturados no processo de produção para a elaboração da cerveja, este processo é dividido em etapas, cada qual com sua importância e relevância.

A água cervejeira utilizada no processo de produção é responsável por mais de 90% da composição do produto final, suas características variam da fonte onde são coletadas, dependendo do estilo de cerveja a ser produzido a água pode ter suas propriedades modificadas para atender a receita a ser elaborada, água com teores de cloreto de cálcio em torno de 100 – 150mg/l são ideais para elaboração de cervejas claras, leves dos estilos pilsen, águas mais duras são preferidas para elaboração de cervejas estilos porter ou stouts. O pH da água influencia significativamente o processo de produção, pois através do pH ideal o processo produtivo terá uma maior ou menor eficiência, sobretudo nas atividades das enzimas do malte que possuem seu pH ótimo de ativação enzimática, na formação do trub no processo de fervura e na atividade microbiológica da levedura durante a fermentação da cerveja.

Além disso a água é utilizada durante todo o processo de produção em diferentes etapas, seja na transferência do produto para os tanques ou para o envase, na moagem dos grãos em algumas plantas de produção, na rinsagem final na lavagem de garrafas, latas ou barris e como água de serviço no processo de limpeza industrial.

Portanto a água é de fundamental importância em uma planta cervejeira, sendo que para se utilizar a água alguns quesitos de qualidade devem ser cumpridos como ser potável, incolor, inodora, livre de turbidez e livre de qualquer sabor.

A cevada apresenta um teor de amido em torno de 80% e sua casca confere proteção e propriedades que serão utilizadas como leito filtrante no processo de clarificação de cerveja. Além disso possui um conteúdo proteico adequado para produção de cerveja e nutrientes para o desenvolvimento da levedura durante o processo de fermentação.

A malteação é processo, em que o grão em estado de dormência é ativado através da umidificação (maceração), após esta etapa o grão é colocado em uma cama com fluxo de ar para respirar e iniciar o processo de germinação. Para que isso ocorra, o grão através da aleuroma libera ácido giberélico e secreta enzimas aminolíticas que vão modificar o endosperma do grão, com isso o amido do grão se torna mais macio e solúvel. A produção de enzimas no processo de malteação é fundamental para o processo de fabricação de cerveja. O processo é interrompido quando o grão começa se desenvolver e tem se início a etapa de secagem do grão, para a redução do conteúdo de umidade, retenção da atividade enzimática, conservação e transporte do malte já pronto. De acordo com a intensidade dessa etapa o grão adquire através de reações de maillard cor e aroma característico que serão repassados para a cerveja em um processo posterior. Diferenças ao longo deste processo e diferentes blend de matéria prima irão determinar o produto final na etapa de malteação e proporcionar uma variedade enorme de diferentes estilos de malte.

A utilização do lúpulo na cerveja foi fixada inicialmente pela Lei da pureza alemã de 1516 (REINHEITSGEBOT) esta lei, que foi promulgada em 23 de Abril de 1516 pelo Duque Wilhelm IV (Guilherme IV) da Baviera, basicamente regulamentava que a cerveja somente poderia conter três ingredientes: malte, lúpulo e água. Antes disto se utilizava uma mistura de ervas para temperar a bebida chamada de gruit.

O *Humulus lupulus*, uma trepadeira da família Cannabaceae, possui a propriedade de ser um inibidor natural contra microorganismos, As resinas presentes na planta, principalmente os α - e β -ácidos, são os responsáveis pela estabilidade da espuma, digestibilidade fisiológica e pelo poder de inibição microbiana. As formas não isomerizadas dos α -ácidos possuem de três a quatro vezes mais efeito antimicrobiano em alguns micro-organismos do que os iso- α -ácidos. Shimwell (1937) identificou que a ação antibacteriana dos compostos do lúpulo restringe-se apenas às bactérias Gram-positivas, sendo ineficaz contra bactéria Gram-negativas. (“João Olavo Figueiredo Quelhas Avaliação do processo de dry-hopping durante a maturação de cervejas artesanais São José do Rio Preto - SP João Olavo Figueiredo Quelhas Avaliação do processo de dry-hopping durante a maturação de cervejas artesanais São José”, 2017)

O lúpulo apresenta diversas características benéficas aos seres humanos, dentre elas podemos destacar: alívio de desconfortos na menopausa, diminuição da latência do sono, redução da gordura visceral, proteção do ADN na presença de espécies reativas de oxigênio e melhoria de sintomas de rinite alérgica. (Almeida, 2017)

A levedura tem o papel de transformar microbiologicamente o mosto cervejeiro em cerveja através do processo de fermentação, no qual absorver em sua parede celular os açúcares, aminoácidos e nutrientes presentes no mosto e o transforma em álcool, gás carbônico e compostos secundários como: álcoois superiores, compostos sulfurados, ácidos orgânicos, aldeídos e cetonas que justos darão aroma ao produto. O papel do cervejeiro ao elaborar uma receita é o de fazer na medida do possível o melhor alimento (mosto), para o crescimento da levedura, e manter o ambiente mais adequado para que o fermento se desenvolva.

Existe dois grandes grupos de cervejas as ales e lagers. As ales são conhecidas pela alta fermentação (pela *Saccharomyces cerevisiae* entre 18 e 22°C) e as lagers são conhecidas pela baixa fermentação (pela *Saccharomyces carlsbergensis* entre 6 e 15°C).

Processo

O processo de produção de cerveja começa pela sala de brasagem que tem por objetivo a formação do mosto cervejeiro. É dividida em etapas, a primeira delas é a moagem do grão, onde a casca do malte é separada do amido para que posteriormente seja transformado. A moagem é uma etapa de muita importância no processo, uma vez que é a responsável pela boa filtrabilidade do mosto em uma etapa posterior. A moagem vai ser ajustada de acordo com a tecnologia de filtragem usada no processo, para filtros de membranas a utilização do moinho tipo martelo é a mais adequada. Já para tinas filtros a tecnologia mais adequada é o moinho de rolos, a casca do grão é apenas separada do conteúdo interno do grão, o amido. O bom ajuste do moinho vai favorecer o rendimento da sala de brasagem e uma melhor extração dos compostos do malte.

A segunda etapa do processo de brasagem é a mosturação, o malte moído é misturado com a água em porção pré-determinada na receita da cerveja, se ajusta o teor de sais da água e Ph, para melhor atividade enzimática. Esta mistura então é submetida a repousos de tempo em temperaturas diferentes, cada temperatura ativa um grupo de enzimas que irão degradar o grão. As amilases são as principais e degradam o amido para a formação de açúcares, as α -amilases atuam em uma faixa ótima de temperatura entre 72-75°C, já nas β -amilases sua temperatura ótima fica entre 62-65°C (KUNZE, 2014). Após o repouso, chamado de sacarificação, um teste é feito para verificar se todo o amido do grão presente no mosto inicial, foi convertido em açúcar. Como o iodo reagem com a presença de amido se tornando escuro, ao final do teste um resultado negativo para esta reação de iodo é o esperado, o que demonstra que todo amido foi convertido e se pode avançar para a próxima etapa. O mosto então é elevado a uma temperatura de 77°C onde suas enzimas são desnaturadas e consequentemente inativadas.

Na etapa seguinte o mosto é transferido para uma tina de clarificação, onde através de um fundo falso com tela de filtração e um sistema de circulação, o bagaço do malte vai ser separado. Na etapa de clarificação através da circulação do mosto, as cascas do malte formam na tina, um sistema de filtro que irá clarificar o mosto, separando a parte sólida da parte líquida. Após a clarificação que o mosto já se encontra límpido, este começa a ser transferido para a próxima tina, chamada tina de fervura. E começa a etapa de lavagem do mosto, ainda na tina de clarificação, à medida que o mosto límpido é transferido para a tina de fervura pela parte de baixo do equipamento, a lavagem com água cervejeira começa a ser feita pela parte de cima da tina. Assim o mosto concentrado sai por baixo e a água entra por cima para retirar os compostos de extratos retidos no bagaço de malte. Esta etapa do processo é feita com um certo

controle de velocidade, para dar tempo de os extratos diluírem na água de lavagem e assim evitarem um baixo rendimento de produção.

Após a finalização da lavagem e o enchimento da panela de fervura, tem início a próxima etapa, a fervura é feita em 60 minutos, durante este processo ocorrem importantes reações como: extração e transformação de componentes do lúpulo, formação e precipitação de complexos proteínas-polifenóis, evaporação de água, esterilização do mosto, desnaturação de enzimas, incremento de cor no mosto, acidificação do mosto, formação de substâncias redutoras e volatilização do dimetilsulfureto (DMS) (KUNZE, 2014). Na fervura os lúpulos são adicionados, lúpulos que dão caráter amargo para a cerveja é adicionado no início deste processo, já o lúpulo ao qual sua principal função é a de dar aroma a cerveja é adicionado no final da fervura, para que estes compostos, óleos essenciais, responsáveis pelo aroma não se volatilizem ao longo do processo.

Imediatamente após a finalização da fervura tem se início o processo chamado de Whirlpool, nesta etapa o mosto cervejeiro é girado até a formação um redemoinho, após fica em repouso para que as proteínas e composto oleaginosos formados durante a fervura, chamados de trub, se concentrem e se depositem no meio da tina. Esta etapa demora em torno de 20 minutos.

Com o trub decantado no centro da tina Whirlpool o resfriamento começa, a temperatura varia de acordo com a receita entre 10-20°C sendo enviado para o tanque de fermentação.

Para a adição da levedura e o início a fermentação da cerveja, o mosto é oxigenado para a primeira etapa deste processo. A levedura na etapa aeróbica da sua respiração irá desenvolver, aumentar sua parede celular e se multiplicar de maneira rápida, até consumir o oxigênio presente no mosto, para esta etapa é dado o nome de fase lag de fermentação, e tem por objetivo a multiplicação celular e crescimento da levedura. Pelo fato do mosto ser uma solução rica em compostos orgânicos e se encontrar em uma temperatura propícia a contaminação e com uma composição de levedura ainda baixa e em formação, está etapa do processo é susceptível a contaminação microbiológica e todos os cuidados com assepsia devem ser realizados com atenção.

Como o ambiente se tornando anaeróbico a levedura para se manter em atividade começa a ingerir os açúcares do mosto, formando álcool, CO₂ e outros compostos secundários, como: álcoois superiores, compostos sulfurados, ácidos orgânicos, aldeídos e cetonas. O tempo de fermentação vai variar com o tipo de levedura usada, tipo Ale dura 5 dias, tipo lager 7 dias. Ao final da fermentação a levedura consumiu todo o açúcar fermentescível disponível e se aglutinam umas às outras, neste momento do processo se inicia a maturação da cerveja e a temperatura é baixada para -1°C. (KUNZE, 2014). O fermento aglutinado decanta com facilidade e a cerveja se torna mais límpida pela decantação de fermento e trub frio, formado na maturação.

Na etapa de maturação a cerveja se torna mais complexa pela estabilização de compostos como poli fenóis e proteínas, e interação de compostos fenólicos. Esta etapa do processo pode variar de 7 dias a 30 dias normalmente, mais outros estilos de cerveja permitem tempos superiores a 2 anos. Durante a maturação tem se o início das fermentações secundárias, a saturação da cerveja com dióxido de carbono, sobe baixa pressão, e extração de todos os compostos formadores do trub da cerveja. (KUNZE, 2014)

Segundo KUNZE a estabilidade da cerveja cumpre um papel decisivo se alcançar a data mínima de validade indicada, a cerveja pode se tornar imbebível ao longo do tempo. Existem várias causas para que isso ocorra: poder contaminantes microbiológicos, por coloides presentes na cerveja, estabilidade sensorial o sabor da cerveja se deteriora com o passar do tempo.

Após o tempo de maturação a cerveja está pronta para ser envasada, o envase usa embalagens de garrafas de vidro, latas e barris, de acordo com a finalidade de comercialização do produto.