



ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE O PROCESSO DE FERMENTAÇÃO DA CERVEJA

Mariana Barreto Carvalho Pinto ⁽¹⁾

Gerhard Kater ⁽²⁾

Jörg Wikert ⁽³⁾

Flávio Luis Schmidt ⁽⁴⁾

Resumo

A cerveja é conhecida como uma das bebidas mais consumidas no mundo, além de estar se popularizando cada vez mais em países onde seu consumo era ínfimo. O processo de fabricação dessa bebida incluem poucas etapas, porém todas com alta complexidade, já que envolvem várias reações químicas e bioquímicas. Uma das etapas com maior influência na qualidade final do produto é a fermentação, embora ela dependa de um processo bem sucedido nas etapas anteriores. Durante a fermentação são produzidos e incorporados diversos compostos de aroma e sabor, os quais caracterizam cada tipo de cerveja. Por isso, o presente trabalho teve como objetivo monitorar e comparar algumas variáveis medidas e calculadas no processo de fermentação e maturação, a fim de promover maior controle de qualidade do produto durante o processo. As cervejas produzidas foram *Lagers* de estilo alemão, de estilos distintos fermentadas em tanques separados. Foi utilizado o método da MEBAK (Comissão de Análise de Técnicas de Cerveja da Europa Central) para medir a densidade, densidade aparente (20/20) e extrato real (°Plato) pelo aparelho Biegeschwinger, além de medir o índice de refração e pH. Através desse método também foram calculados os valores do teor de álcool, extrato real, extrato original (*Stammwürze*) e grau de atenuação. Esse último utilizou a técnica denominada *Gärrohrmethode*, o qual utiliza fermento com umidade relativa abaixo de 76% e uma fermentação forçada em tubo de fermentação por 24h. A partir desses parâmetros, analisou-se o comportamento de cada tanque durante a fermentação e maturação os quais foram comparados entre si. Além disso, o tempo de maturação foi determinado a partir da taxa de diacetil residual, a qual deve se situar abaixo de 0,12ml/L.

Palavras-chave: fermentação, cerveja, análise

1 Introdução

A cerveja é uma bebida milenar, com uma cultura muito difundida ao longo da história de diversos países. Seu consumo é muito popular, apresentando significativo crescimento em países onde seu consumo não é muito comum, como Rússia e China (MATTOS, 2007). O Brasil, por sua vez, está na terceira posição entre os maiores consumidores de cerveja do mundo, com aproximadamente 125 milhões de hectolitros em 2011. Com isso, seu consumo é inferior somente ao dos Estados Unidos e da China. Em relação ao posicionamento no mercado mundial com suas empresas, destaca-se a Anheuser-Busch InBev (AB InBev), a qual é uma empresa belga-brasileira. Esta é a maior produtora de cerveja do mundo com uma produção de 352,900 milhões de hectolitros em 2012 (JUNIOR, O.; JUNIOR, J.; GALINARI, 2016).

O mercado consumidor de cerveja no Brasil é composto em sua maioria pela população mais jovem (61% entre 25 e 44 anos), o que faz com que, devido ao baixo poder de compra, o consumo per capita seja relativamente baixo (51,9 L/per capita em 2006), embora o Brasil seja um país tropical. Além disso, as classes que mais consomem cerveja no Brasil são as com menor poder aquisitivo, ou

¹ Curso Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP, Brasil. Email: maribcarvalho@gmail.com

² Departamento de Tecnologia de Alimentos – Hochschule Anhalt – Köthen, Alemanha.

³ Departamento de Tecnologia de Alimentos – Hochschule Anhalt – Köthen, Alemanha.

⁴ Departamento de Tecnologia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP, Brasil.



seja, esta é responsável por 72% das vendas totais e cerca de 56% dos consumidores são do sexo masculino (FERRARI, 2008).

O processo de fabricação da cerveja contém poucas etapas, porém com elevado detalhamento dentre elas, o que caracteriza sua complexidade quanto à gama de produtos. A brassagem da cerveja se inicia com a moagem do malte e posterior adição à água de cozimento. Segundo Narziß (2009), esta etapa consiste na adição do malte já moído para formar uma solução, na qual não ocorrem somente processos mecânicos, como também bioquímicos a fim de obter uma composição com maior qualidade e rendimento. Assim, quanto mais fino o malte é moído, a solução alcança mais rapidamente uma composição mais abundante de açúcares de menor peso molecular por meio de reações químicas e enzimáticas (NARZIß e BECK, 2009).

Contudo, quanto mais fina é a moagem do malte, mais prejudicada é a filtração do mosto, já que para a filtração deste utiliza-se a própria casca proveniente do cereal maltado. O mosto é então constituído principalmente por açúcares provindos majoritariamente do amido do malte e proteínas, os quais devem estar basicamente em solução com a finalidade de serem metabolizados pelas leveduras, promovendo as características intrínsecas do produto (NARZIß e BECK, 2009).

Ao finalizar a conversão de amido em açúcares fermentescíveis, o mosto é filtrado com o objetivo principal de separar os componentes solúveis e insolúveis do mosto o mais rápido possível. Esse é um processo basicamente físico, o qual pode ser feito a partir de três métodos que descritos por Eaton (2006) como *Mash Tun Separation*, *Lautering* e *Mash Filtration*. Sendo assim, na infusão clássica, as etapas de cozimento do mosto e sua separação são realizados no mesmo tanque, o que caracteriza o *Mash Tun Separation*. Entretanto, o mosto pode ser transferido para um segundo tanque para sua separação, podendo seguir dois caminhos que aceleram seu processo: *Lautering* e *Mash Filtration*. O primeiro é realizado pela separação durante a transferência do mosto de tanque e caracterizado pelo grande diâmetro do tanque, juntamente com uma profundidade maior dos grãos superficiais. Por outro lado, o segundo utiliza a pressão e uma profundidade muito fina de grãos no leito a fim de proporcionar uma rápida extração. Sendo assim, essa etapa tem como objetivo a produção de um mosto mais límpido, além de coletar o máximo possível de açúcares dos materiais sólidos residuais (EATON, 2006).

O mosto filtrado é então transferido para um tanque de cozimento, onde passará por uma fervura de uma a duas horas, dependendo do estilo de cerveja desejado. Neste cozimento adiciona-se lúpulo independente de sua forma com o intuito de desenvolver compostos de amargor e aroma no produto final (NARZIß e BECK, 2009). Além disso, ocorrem a evaporação da água e consequente concentração do mosto e eliminação de compostos voláteis, como o dimetilsulfato (DMS), a desnaturação completa das enzimas antes presentes e a coagulação e precipitação de excesso de proteínas e taninos que compoem o “*Trub*”. A estabilidade microbiológica também é alcançada através dessa etapa, a qual realiza a esterilização do mosto, eliminando microrganismos que podem competir com as leveduras, causando off-flavors. Por fim, há algumas alterações químicas do mosto, como o desenvolvimento da cor e sua acidificação obtida pelas melanoidinas e também compostos provenientes do lúpulo. Após a fervura completa do mosto, seu produto final será o mosto ebulido, ou seja, o mosto quente finalizado (EATON, 2006; KUNZE, 2007).

Há diversos métodos de remoção do “*Trub*”, de acordo com o equipamento usado, entretanto, o mais utilizado dentre eles é denominado “*Whirpool*”. Esta técnica tem como princípio o uso da força centrífuga agindo sobre as partículas, enquanto ocorre a rotação do mosto, as partículas são forçadas a ir para o centro do tanque por uma força tangencial, assim, o *Trub* é depositado em forma de cone no centro do tanque e o mosto clarificado pode ser obtido pela periferia do tanque (BRIGGS, 2004; EATON, 2006).

A finalização da brassagem se dá pelo resfriamento do mosto clarificado para, então, inocular as leveduras que iniciaram a fermentação da cerveja. As últimas etapas são definidas pela fermentação e maturação, as quais são de extrema importância para a qualidade do produto final. Entretanto, para se obter uma fermentação com sucesso, que não produza compostos que causem *off-flavors* e que



mantenha as características finais desejadas da cerveja, deve-se ter um controle rígido e conhecimento sobre as etapas anteriores. Estas etapas antecessoras à fermentação são de extrema importância para produzir um mosto com açúcares fermentescíveis suficientes para o crescimento e fermentação das leveduras, assim como, extrair e/ou adicionar outros compostos que contribuem para a estabilidade, sabor e aroma do produto final (NARZIß e BECK, 2009).

A faixa de temperatura ótima que se deseja alcançar é usualmente de 6 a 12°C para Lagers, que utiliza *Saccharomyces calrsbergensis* (BRIGGS, 2004). A fermentação da cerveja é de suma importância para o desenvolvimento de sabores, além de ser quando se produz álcool e CO₂. Embora seja simples realizar a inoculação de leveduras no mosto, ela deve seguir certos passos, com o intuito de reduzir a mortalidade das células de levedura e promover uma fermentação mais eficiente. Usualmente, a inoculação é realizada com 5 a 20 milhões de células de levedura por mL de mosto, número que aumenta devido à reprodução. Contudo, momentos antes da adição de leveduras ao mosto, deve-se realizar a aeração do mesmo a um nível apropriado, pois ao se reproduzir, as leveduras utilizam a via metabólica aeróbica (EATON, 2006).

No processo de fabricação de cerveja, a fermentação primária é considerada a etapa de maior duração com cerca de 2 a 3 semanas, assim como, de grande importância na produção de compostos aromáticos. O principal objetivo da fermentação é utilizar as habilidades das leveduras em metabolizar açúcares em etanol e CO₂ como produtos majoritários, mas também são produzidos outros compostos minoritários como ésteres, álcoois superiores e ácidos, os quais promovem o desenvolvimento do sabor. Embora a maioria dos subprodutos da fermentação contribuam positivamente para o sabor, alguns que influenciam negativamente também são metabolizados, como o diacetil, diketonas e compostos sulfurados, os quais são em sua maioria eliminados ainda durante a fermentação. (BRUGGS, 2004; EATON, 2006; LANDAUD, 2000; VERBELEN, 2008)

Durante a fermentação ocorrem diversas alterações fisiológicas nas leveduras, iniciando com o desenvolvimento das células e o aumento de sua população. Nessa primeira fase, há a acumulação de ácidos graxos insaturados e esteróis, os quais são essenciais para o crescimento normal das células de levedura. A energia necessária para a formação desses compostos advém da quebra glicogênio originários da reserva das células, por isso, níveis ótimos de glicogênio na reserva das leveduras é um fator importante para o potencial de fermentação das leveduras. Após o esgotamento de oxigênio, o glicogênio se acumula durante a fase de crescimento exponencial, para posteriormente fornecer energia na fase estacionária. (VERBELEN, 2008) Ao mesmo tempo, enquanto o oxigênio é consumido, tornando o meio anaeróbico, as leveduras transportam açúcar para o interior de suas células a fim de formar piruvato, o qual é metabolizado em etanol e CO₂, sendo então excretados para ambiente externo. O fim da fermentação, portanto, é caracterizado geralmente pelo consumo de todo o açúcar fermentescível e o começo da floculação das leveduras, o que pode ocorrer também através do resfriamento. A finalização do produto ocorre pela maturação, na qual ocorre mais desenvolvimento de sabor (EATON, 2006).

O processo de fermentação possui uma tamanha complexidade de reações químicas e bioquímicas que tornam essa etapa uma das mais importantes para o processo de fabricação da cerveja. Além disso, ela promove influência sobre a eficiência na produção da cerveja e a qualidade do produto final, por isso, a importância do controle rígido destes parâmetros. Do mesmo modo, a fermentação sofre influência de diversos fatores durante o processamento como a gravidade do mosto, sua composição, processo de inoculação e temperatura (YU, 2012). Com isso, o presente trabalho apresenta o monitoramento de parâmetros durante a fermentação, assim como suas correlações físico-químicas.

2 Materiais e Métodos

O presente trabalho teve enfoque em realizar o controle e análises somente durante o processo de fermentação através de análises físico-químicas durante a fermentação primária e a maturação. As



cervejas produzidas seguiram a Lei de Pureza Alemã, portanto, como ingredientes foram adicionados somente malte, lúpulo, água e levedura. Além disso, as cervejas foram fermentadas com leveduras de baixa fermentação, do tipo *Lager*.

2.1 Equipamentos

A brassagem foi realizada num equipamento tribloco, composto por uma tina de mosturação, de clarificação e fervura, com capacidade para produção de 250L. A tina de mosturação possuía agitação e controle de temperatura, enquanto a tina de fervura também possuía controle de temperatura, automáticos.

A fermentação e maturação foram realizadas em tanques cilíndricos e cônicos, encamisado com três zonas de resfriamento, com controle automático de temperatura e pressão. As análises feitas durante essas etapas utilizaram como equipamento um Biegeschwinger para medir o extrato real ($^{\circ}$ Plato), densidade (g/cm^3) e densidade relativa 20/20 (m/m). Para a medição de pH utilizou-se um pHmetro e para os valores de índice de refração utilizou-se um refratômetro digital (Leica AR200).

2.2 Brassagem

Foram produzidos quatro tipos de cervejas diferentes, de acordo com as etapas padrão do processamento de cerveja. Adicionou-se malte moído à tina de mosturação, onde permaneceu por cerca de 120 min, seguindo as rampas de tempo e temperatura especificada para cada cerveja. Em seguida, o mosto foi filtrado na tina de clarificação pelas próprias cascas do malte (torta) e então lavado duplicando seu volume. O mosto foi então transferido para a tina de fervura, permanecendo por cerca de 90 min (com variação de uma cerveja para outra), adicionando lúpulo de amargor após 10 a 20 min a partir do início da fervura e lúpulo de aroma dentre 10 a 20 min antes do final da fervura. Posteriormente à fervura realizou-se o processo de clarificação do mosto em *Whirlpool* retirando-se o mosto fervido com cautela para não carregar o *Trub*. O mosto foi então resfriado em trocador de calor até 9,5 a 10 $^{\circ}\text{C}$ antes de se realizar a inoculação.

2.3 Fermentação/Maturação

Após o resfriamento do mosto, cada um deles foi transferido para um tanque de fermentação, com diferentes tipos de cerveja. A inoculação foi feita de forma direta, com fermento líquido, a diferentes temperaturas, conforme a cerveja (tanque 1 a 9,3 $^{\circ}\text{C}$; tanque 2 a 9,5 $^{\circ}\text{C}$; no tanque 3 a 9,0 e no tanque 4 a 9,3 $^{\circ}\text{C}$). A fermentação primária se manteve por cerca de 2 semanas em cada tanque e após esse período iniciou-se a maturação da cerveja para o desenvolvimento e incorporação de compostos de sabor, quando a temperatura foi reduzida gradativamente até 3 $^{\circ}\text{C}$ e com extrato real abaixo de 4 $^{\circ}$ Plato.

2.4 Análises físico-químicas

Todas as medições tiveram uma etapa precedente de preparação da amostra de cerveja. Tomou-se de 300-500mL de amostra de cada tanque em um Erlenmeyer e promoveu-se agitação para a retirada do gás carbônico com aberturas frequentes para a expulsão do gás. As amostras foram então temperadas a 20 $^{\circ}\text{C}$ e, então, filtradas em papel. Após essa etapa, a amostra foi utilizada para medir os parâmetros abaixo de acordo com os métodos descritos por MEBAK. Todas as análises foram feitas em triplicata, expressando-se a média das leituras.

Análise Refratométrica:

O refratômetro foi lavado e calibrado com água destilada antes de receber a amostra. Realizou-se então a leitura em triplicata na unidade nD-Tc e obteve-se o índice para cálculo do polinômio representado pela equação 1. Assim, a variável R denominada número de refração e seu resultado expresso em m/m% com um decimal.



$$R = 2964,563 - 7007,752 x + 3596,889 x^2 \quad (\text{equação 1})$$

Análise no Biegeschwinger: O aparelho foi devidamente higienizado com água destilada e descartou-se a primeira amostra tomada. Realizou-se então a leitura da densidade (g/cm^3) e alterando no próprio aparelho o tipo de leitura, obteve-se o extrato real ($^\circ\text{Plato}$) e a densidade aparente (20/20).

pH: A leitura do pH realizou-se através do pHmetro com o mergulho do medidor na amostra.

Teor de Álcool (A) (v/v%): O teor de álcool é um valor que auxilia na determinação da eficiência da fermentação, assim como a caracterização e classificação da cerveja produzida. Após as medições dos parâmetros já descritos, com o cálculo do número de refração (R) e a o valor da densidade aparente (D), obteve-se o teor alcoólico através das equações 2 e 3 de cada cerveja em cada dia medido. A utilização das equações não é simultânea, ou seja, a equação para o cálculo do teor alcoólico é escolhida de acordo com o estilo de cerveja a ser produzido.

Vollbier (cervejas claras/fracas)

$$A = 0,2965 R - 295,8 D + 291,2825 \quad (\text{Equação 2})$$

Starkbier (cervejas escuras/fortes)

$$A = 0,2984 R - 298,4 D + 293,764 \quad (\text{Equação 3})$$

Extrato Real (Ew) (m/m%): Na medição do extrato fermentescível disponível pelo sacarômetro, perde-se uma parte importante do valor real, pois a maior parte deste déficit é representado pelo extrato que foi fermentado em álcool e CO_2 . Assim como o cálculo para o teor de álcool, o cálculo de extrato real utiliza o número de refração (R) e a densidade aparente (D). O cálculo pode ser feito através de duas equações, entretanto uma deve ser escolhida de acordo com o estilo da cerveja produzida e são representadas pelas equações 4 e 5.

Vollbier (cervejas claras/fracas)

$$Ew = 0,1235 R + 126 D - 127,6825 \quad (\text{Equação 4})$$

Starkbier (cervejas escuras/fortes)

$$Ew = 0,1174 R + 130,1 D - 131,581 \quad (\text{Equação 5})$$

Etrato Original (*Stammwürze*) (m/m%): O teor de extrato do mosto antes da fermentação é denominado *Stammwürze*, o qual é uma relação entre o extrato real e o teor de álcool produzido. Sendo assim, com os valores obtidos após o cálculo de extrato real e teor de álcool, calculou-se o valor do extrato original a partir da equação 6.

$$St = \frac{(2,0665 A + Ew) 100}{1,0665 A + 100} \quad (\text{equação usada para todos os tipos de cerveja}) \quad (\text{Equação 6})$$

Grau de atenuação (%) (*Endvergärungsgrad*): Esta é uma medida da escala de material fermentável presente no mosto, ou seja, o carboidrato a ser fermentado no mosto, resultando no grau de fermentação da cerveja. Com isso, entende-se que este é um valor, o qual indica o quanto de extrato inicial (*Stammwürzegehalt*) está disponível para a fermentação. Sendo assim, o grau de atenuação se dá pela quantidade máxima de extrato presente no mosto pode ser fermentado. Sendo assim, utilizou-se o método descrito por MEBAK, denominado *Gärrohrmethode*, no qual se promove uma fermentação forçada em um tubo de fermentação com leveduras previamente preparadas.

As leveduras utilizadas nesse método foram secas até 76%, a qual foi alcançada através da sucção por bomba à vácuo. Contudo, para a secagem das leveduras, colocou-se uma camada com cerca de 4cm de levedura em um filtro de porcelana com 12cm de diâmetro, com filtro de papel e a deixada secar por cerca de 30 min.

A fermentação forçada, por sua vez, foi realizada com uma amostra com cerca de 600mL de mosto previamente fervido, a qual tinha valor de extrato original conhecido a 20°C . O mosto foi então filtrado em papel e tomado um volume de 400 mL em um béquer para se misturar às 30g da levedura



seca. O tubo foi coberto por uma folha de alumínio e deixado em repouso para a fermentação durante 24h à temperatura ambiente (por volta de 21°C). Após esse período, tomou-se uma amostra do mosto fermentado, retirou-se completamente o gás carbônico e filtrado em papel. Mediu-se então uma amostra extrato inicial tomada antes da fermentação e outra após a fermentação através do aparelho Biegeschwinger (em °Plato). A atenuação foi calculada pela equação 7 com o valor conhecido de extrato real (p) (m/m%) e o extrato final aparente medido pelo Biegeschwinger. O resultado é expresso em % sem decimal.

Grau final de fermentação aparente:

$$V_{s,end}(\%) = \frac{(p - Es,f) \cdot 100}{p} \quad (\text{Equação 7})$$

3 Resultados

A partir dos dados obtidos tanto pelas medições em aparelhos quanto pelos cálculos foram construídos gráficos para se analisar o comportamento dos parâmetros monitorados ao longo do processo de fermentação primária e maturação. A discussão dos resultados será baseada nos dados dos tanques 1 e 2, visto que os dados do tanque 1 foram medidos com a fermentação já em processo e a análise dos dados do tanque 2 é equivalente a análise dos dados obtidos nos tanque 3 e 4. As análises são importantes para manter o controle de qualidade da cerveja, assim como, um padrão de fabricação referentes ao mesmo estilo. Por isso, utilizam-se diversos métodos, mas o mais utilizado na Alemanha segue a Comissão de Análise de Técnicas de Cerveja da Europa Central, ou em alemão Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysekommission (MEBAK) (KUNZE, 2011).

O monitoramento da fermentação do tanque 1 demonstrado pelo gráfico 1 não foi realizado a partir do primeiro dia de fermentação, o que pode causar certa distorção nos dados. A gravidade específica se refere ao extrato real da cerveja medido em °Plato, o qual deve diminuir ao longo do tempo, já que o extrato fermentescível é consumido pelas leveduras. (KUNZE, 2011)

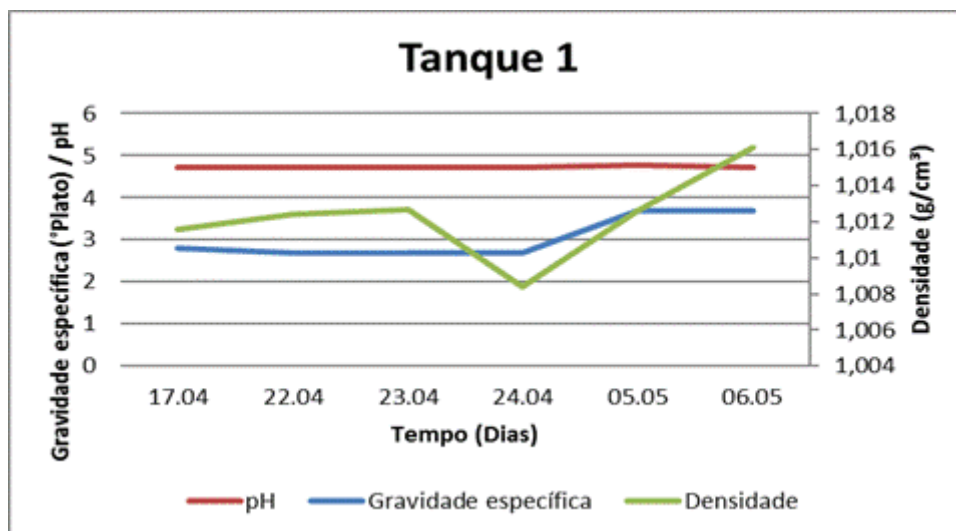


Gráfico 1- Variáveis físico-químicas ao longo do tempo no tanque 1

O pH da cerveja é uma medida de alta importância, pois é influenciado por todas as reações enzimáticas, assim como o comportamento dos microrganismos. Com isso, consegue-se obter informações sobre a qualidade da cerveja durante a fermentação. Ele deve se manter constante, pois não é produzido nenhum composto que altere significativamente o pH, o qual foi reduzido pela adição de lúpulo na fervura do mosto. O valor de pH ideal para o mosto fervido é entre 5,3 a 5,5, enquanto na cerveja deve se manter na faixa de 4,3 a 4,6. Entretanto, o pH medido na cerveja do tanque 1 é 4,7,



sendo relativamente acima da faixa ideal, porém não causando muitos danos ao produto (KUNZE, 2011).

A densidade medida por meio do Biegeschwinger é utilizada amplamente combinada com outros métodos para o cálculo de outros parâmetros da cerveja, como o teor de álcool, extrato real e extrato original. Entretanto, ela não é analisada puramente.

A estimativa do valor de (*Stammwürze*) oferece a informação sobre os ingredientes da cerveja, ou seja, este valor é referente ao extrato original do mosto antes da fermentação. Entretanto, somente parte destes ingredientes está disponível, porque parte importante é utilizada pelas leveduras na fermentação (KUNZE, 2011). No gráfico 2 pode-se observar um valor praticamente constante de *Stammwürze*, como o esperado, já que apesar de o cálculo do extrato original depender dos valores de Ew (%/m) e A (%/m), estes são inversamente proporcionais, pois ao se produzir álcool, degrada-se o extrato. O valor de *Stammwürze*, portanto, situa-se por volta de 17%, o qual está acima da faixa esperada para cervejas do tipo Alemã (entre 11% e 14%). (KUNZE, 2011) Entretanto, de acordo com o gráfico 2, os valores do teor de álcool e do extrato real permanecem praticamente constante, o que indica o fim da atividade das leveduras. Portanto, este período indica o final da fase de maturação da cerveja, apesar de o valor do extrato real ser alto, indicando a produção de uma cerveja forte com alto teor de açúcar residual.

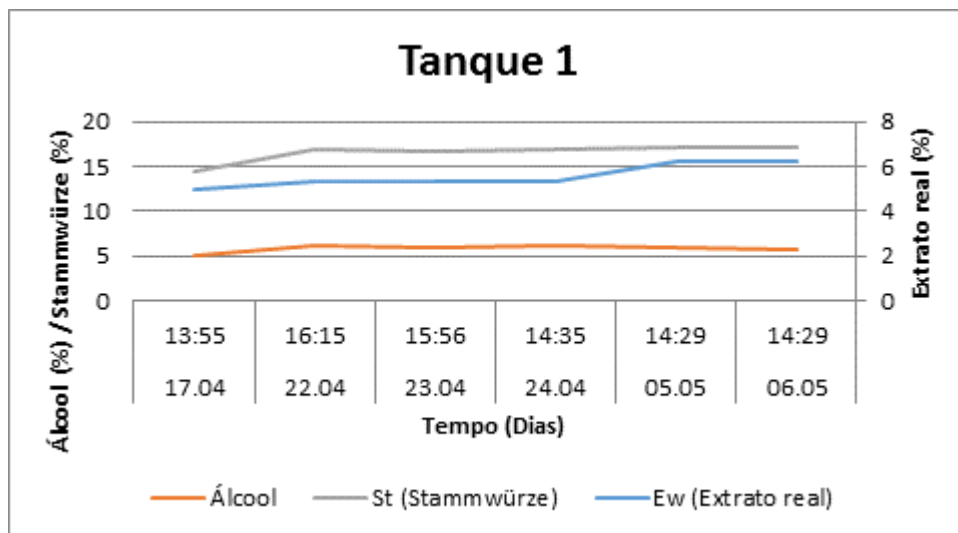


Gráfico 2- Dados de fermentação ao longo do tempo no tanque 1

Conforme pode ser observado no Gráfico 4, a temperatura medida no tanque 2 se mantém na faixa de 9°C durante como período da fermentação primária, como o esperado, e decresce durante a maturação até atingir cerca de 3°C. O tempo da maturação é determinado pelo decréscimo do teor de diacetil, o qual é um subproduto da fermentação primária. O diacetil é um composto que ocasiona um sabor desagradável quando encontrado em grandes concentrações, deixando a cerveja com gosto semelhante à manteiga, contudo ele pode ser reabsorvido pelas células de levedura e metabolizado à 2,3-butanodiol, que tem um limite de aceitação muito alto, reduzindo o *off-flavor* no produto. Portanto, o valor máximo de diacetil aceito na cerveja é de 0,12mg/L e o o teor de diacetil pode ser estimado a partir de uma relação entre a temperatura e o tempo de maturação, sendo que quando a multiplicação destes é maior que 100, significa que o teor de diacetil é inferior à 0,12mg/L. Sendo assim, o teor de diacetil da cerveja pode ser maior ou menor que 0,12 mg/L, e quando é menor que 0,12 mg/L, pode-se dizer que a cerveja já foi maturada. Contudo, quando este valor não é alcançado, recomenda-se que promova mais um tempo de maturação com temperatura cerca de 3°C.

Por outro lado, no gráfico 4, pode-se observar o valor de pH durante a fermentação da cerveja, oscilando entre 4,5 e 4,9. Este valor inicial está acima do pH recomendado para o produto final, o qual deve situar entre 4,3 a 4,6. Contudo, o valor final (4,55) está dentro da faixa aceitável, resultando em um produto com boas qualidades.

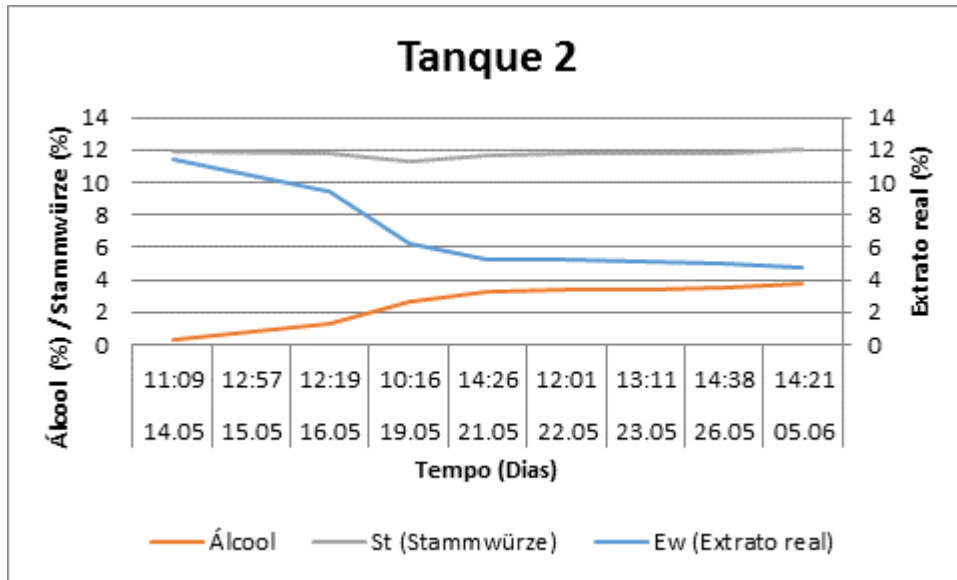


Gráfico 3 - Variáveis físico-químicas ao longo do tempo no tanque 2

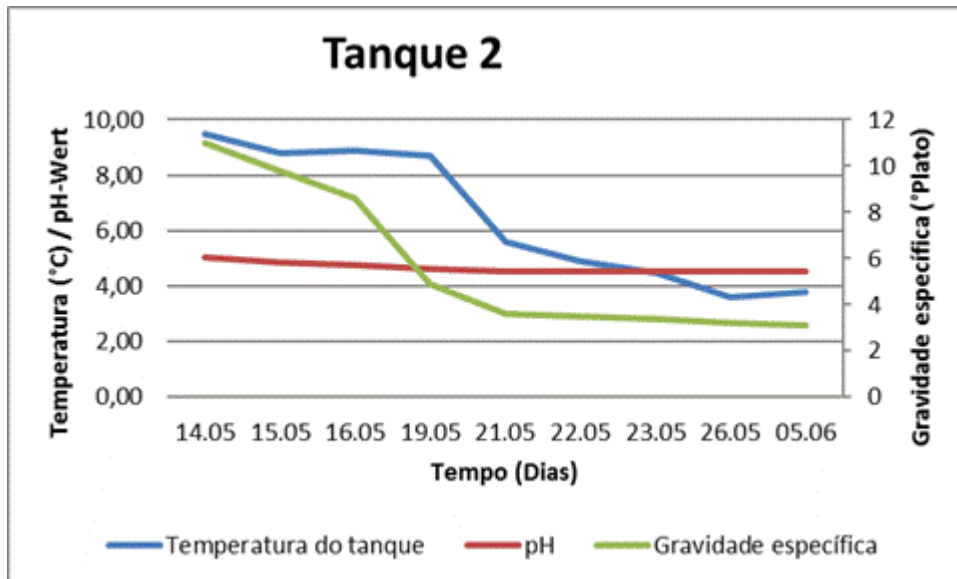


Gráfico 4 - Dados de fermentação ao longo do tempo no tanque 2

Pode-se observar no gráfico 3 que o valor de Stammwürze do tanque 2 permanece praticamente constante, como o esperado, e dentro da faixa para os estilos de cervejas alemãs (11 a 14%). Além disso, há rápido decréscimo do valor de extrato real, obtendo um valor constante após cerca de uma semana, o que indica boa atividade do fermento durante a fermentação primária. Observa-se também o crescimento simultâneo do teor de álcool, resultando em boa conversão do extrato fermentescível disponível. (KUNZE, 2011)



Grau de Atenuação	76,27%
extrato final aparente do mosto fermentado	2,8 °Plato
Stammwürzegehalt (extrato original)	11,8 °Plato

Tabela 1 - Grau de atenuação do mosto do tanque 2

O grau final de fermentação pode ser determinado nas cervejarias a partir do mosto, não podendo ser alterado posteriormente. Este parâmetro deve situar em um valor entre 82 a 84%, sendo o mínimo permitido de 75%. Sendo assim, quando maior o valor do grau final de fermentação, maior é o teor de maltose no mosto e, com isso, maior a velocidade de fermentação e maturação da cerveja. O valor medido no tanque 2 e representado pela tabela 1, embora esteja acima do valor mínimo permitido, não está dentro da faixa ideal. Isto resulta em um mosto com menor potencial de fermentação e, conseqüentemente, menor produção de álcool e CO₂, além de ter velocidade de fermentação reduzida. (KUNZE, 2011)

4 Conclusão

A qualidade da cerveja depende diretamente do desempenho nas etapas do processo. Se alguma etapa não ocorreu como deveria pode implicar em alterações sensoriais ou de estabilidade do produto final. O presente projeto desenvolveu uma análise de uma dessas etapas, a fermentação. O monitoramento de alguns parâmetro da cerveja durante a fermentação indica como está o andamento do processo, já que dificilmente consegue um monitoramento direto, como visualmente, pois a cerveja é fermentada em tanques. Portanto, consegue-se medir o desempenho das leveduras, assim como do mosto, já que ambos são importantes para essa etapa, e, assim, definir melhor o tempo e temperatura de processamento.

5 Referências

BRIGGS, Denis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; et. Al. *Brewing: Science and Practice*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press, LLC, Cambridge, UK. 2004.

EATON, Brian. An Overview of Brewing. In: PRIEST, G. Fergus; STEWART, G. Graham. **Handbook of Brewing**. New York, USA: Ed. Taylor & Francis Group, 2 ed, 2006. Cap. 3, p. 82 – 87.

FERRARI, Vanessa. **O Mercado de Cervejas no Brasil**. Dissertação de mestrado em economia, Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, PUCRS, p. 21, 22, Porto Alegre, Brasil, 2008.

JUNIOR, Osmar. Cervieri; JUNIOR, Job Rodrigues Teixeira.; GALINARI, Rangel; et. al. **O setor de Bebidas no Brasil**. BNDES Setorial 40, p. 93-130. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf> Acesso em: 15 jul 2016 .

KUNZE, Wolfgang. **Technologie Brauer & Mälzer**. Überarbeitete Auflage, Berlin, Alemanha, 2007.

LANDAUD, Sophie; LATRILLE, Eric; CORRIEU, Georges. **Top Pressure and Temperature Control the Fusel Alcohol/Ester Ratio through Yeast Growth in Beer Fermentation**. UMR Genie et Microbiologie des Precedes Alimeninires, Tliiverval-Grignon, France, 2000.



MATTOS, Rubens C. Fonseca. **Efeito das variáveis de transporte e estocagem sobre a estabilidade sensorial de cervejas tipo Pilsen**. 2007. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEBAK brew-technical analysis methods, 4th Edition, Freisig-Weihenstephan, Alemanha, 2002.

NARZIß, Ludwig; BACK, Werner. **Die Bierbrauerei**: Band2: Die Technologie der Würzebereitung. Weinheim, Alemanha: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2009. Cap. 2, p. 185-187, Cap.3, p. 233-234, Cap.4, p. 397-398.

VERBELEN, P.J.; DEKONINCK, T.M.L.; SAERENS, S.M.G.; et. al. **Impact of pitching rate on yeast fermentation performance and beer flavor**. Published online: Springer-Verlag, Heverlee, Belgium, 2008.

YU, Zhimin; ZHAO, Haifeng; ZHAO, Mounming; et.al. **Metabolic Flux and Nodes Control Analysis of Brewer's Yeasts Under Different Fermentation Temperature During Beer Brewing**. Published online: Springer Science+Business Media, New York, USA, 2012.