



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPACTO PARA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL

Igor Tatto Pan ⁽¹⁾

Sérgio Scoppel ⁽²⁾

Luciani Tatsch Piemolini-Barreto ⁽³⁾

Ivana Greice Sandri ⁽⁴⁾

Resumo

O consumo de cerveja no Brasil está em franca expansão e acompanhando esta tendência, está o consumo de cervejas artesanais. Entre os apreciadores deste produto, muitos tornam-se produtores. Nos últimos anos houve um forte crescimento de microcervejarias no Brasil, que passaram de umas poucas dezenas para centenas. As cervejas artesanais, produzidas pelas microcervejarias, caíram no gosto do brasileiro, mas os empresários do setor acreditam que este é apenas o início de um movimento que ainda está maturando. Neste contexto o objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema compacto para produção de cerveja artesanal. O sistema desenvolvido é composto basicamente por dois tanques, no primeiro tanque são realizadas as etapas de mosturação, filtração, lavagem e fervura. Tradicionalmente estas operações são realizadas por distintos tanques. No segundo tanque são realizadas as operações de Whirlpool, resfriamento, oxigenação, fermentação e maturação. Para realizar estas etapas, geralmente são necessários três tanques e várias bombas. Para avaliar a eficácia do sistema, foi realizada uma produção de cerveja artesanal com levedura de baixa fermentação, tipo W 34/70 (*Sacharomyces cerevisiae*). Durante a fermentação foi controlada a temperatura e acompanhada a densidade, quantidade de glicose consumida e etanol produzido. No final da fermentação foram feitas as análises quantitativas de teor alcoólico, acidez total, acidez volátil, acidez fixa, matérias redutoras e matérias não redutoras. A cerveja obtida apresentou parâmetros físico-químicos (teor alcoólico, acidez volátil, acidez fixa, matérias redutoras, matérias não redutoras e extrato seco) aceitáveis pela legislação brasileira. O sistema compacto permitiu a elaboração de uma cerveja artesanal de alta qualidade.

Palavras-chave: Cerveja artesanal, micro cervejaria, processo

1 Introdução

Como resultado da crescente competitividade do mercado, tanto para a redução de custos como para a introdução de novos produtos, os cervejeiros estão constantemente buscando inovações tecnológicas para seus processos (DRAGONE et al. 2007). Entre as inovações está a retomada por cervejas artesanais, produzidas por micro cervejarias. As cervejas de micro cervejarias caracterizam-se por ser um produto mais encorpado e de aroma e sabor mais pronunciados que as demais. Estas características, provenientes, dentre outros fatores, da utilização de variedades específicas de lúpulo, justificam o crescimento acentuado deste segmento (KEUKELEIRE, 2000).

A legislação brasileira define cerveja como sendo 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, grits de milho e de arroz (BRASIL, 1997). As cervejas podem ser classificadas pelo tipo de fermentação, teor de extrato primitivo, cor, teor alcoólico e teor de extrato no produto acabado (SACHS, 2001).

Apesar de existirem variações na forma de elaboração dependendo do tipo de cerveja a ser produzida, o processo completo consiste basicamente em quatro etapas: 1) malteação (germinação da cevada); 2) produção do mosto cervejeiro (extração e hidrólise dos componentes da cevada malteada seguido de

¹ Graduando em Engenharia de Alimentos

² Engenheiro de Alimentos

³ Engenheira de Alimentos, Mestre em Engenharia Química, Doutora em Engenharia de Alimentos

⁴ Engenheira de Alimentos, Mestre em Biotecnologia, Doutora em Biotecnologia



uma separação dos componentes insolúveis e posterior fervura com a adição de lúpulo); 3) fermentação (dividida em fermentação primária e maturação); e 4) processamento final (filtração, estabilização, engarrafamento) (LINKO, et al. 1998).

Basicamente as etapas de produção de cervejas artesanais são as mesmas utilizadas no processo industrial, porém a maneira de realizá-las e a proporção de ingredientes utilizados diferem, como por exemplo o malte de cevada, milho ou arroz utilizados como fonte de carboidratos, sendo a matéria prima mais importante que diferencia uma cerveja artesanal de uma cerveja industrial, assim também como conservantes, antioxidantes e estabilizantes que as cervejas artesanais não utilizam. Em geral, as cervejas artesanais são produzidas por micro cervejarias, e seu processamento é acompanhado pelo cervejeiro responsável. São assim denominadas porque utilizam matérias-primas selecionadas na formulação. Poucos utilizam a mais moderna tecnologia de produção, desta forma, a incorporação tecnológica nas no ramo cervejarias artesanais se faz necessário para atender a demanda de mercado e fornecer um produto de qualidade ao consumidor. Neste sentido o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema compacto para produzir cerveja artesanal, visando aprimorar o processo produtivo.

2 Material e Métodos

2.1. Matéria prima para elaboração da cerveja

O malte tipo pilsen, os lúpulos amargor (Clauster 7% alfa ácido) e aromático (MT Hood 3,5% alfa ácido), a levedura (W 34/70 Lager), assim como o ácido cítrico foram adquiridos em lojas especializadas. A cevada utilizada no processo foi adquirida já malteada em grão tipo pilsen e foi moída em moinho de rolos (EGISA). Os ingredientes utilizados para elaboração de 1000 litros de cerveja artesanal estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Ingredientes utilizados para elaboração da cerveja artesanal

| <u>Ingredientes</u> | <u>Quantidades</u> |
|---------------------|--------------------|
| Água | 1300 Litros |
| Cevada | 270 Kg |
| Lúpulo amargo | 399,42 g |
| Lúpulo aromático | 352,57 g |
| Ácido cítrico | 10 g |
| Levedura | 800 g |

2.2. Descrição das etapas do processo produtivo da cerveja

Na etapa de mosturação foram utilizados 270 kg de malte em um recipiente de inox contendo 1.080 litros de água aquecida a 44 °C e o pH corrigido para 6,0 com a utilização de ácido cítrico. A mistura foi agitada por 30 minutos, em seguida, a temperatura foi elevada para 65°C durante por 10 minutos e posteriormente para 70°C. Empregou-se iodo para avaliar a hidrólise do amido. Quando todo amido foi transformado em glicose, maltose dextrose a temperatura foi elevada para 78°C para a inativação enzimática.

Após a preparação do mosto, separou-se o bagaço, para isso foi utilizada uma peneira posicionada no fundo do próprio recipiente onde se realizou a mosturação e por meio de uma bomba o mosto foi transferido para outro recipiente, em seguida, procedeu-se a lavagem do bagaço com aproximadamente 220 litros de água a 78°C, com a finalidade de recuperar o extrato que ficou na torta do filtro.

Posteriormente, em um recipiente de inox com circulação de vapor o mosto foi fervido por aproximadamente 90 minutos. Aos 15 minutos de fervura foram adicionados 399,39 g de lúpulo amargor e aos 75 minutos 352,57 g de lúpulo aromático. Quando cessou a fervura ocorreu à precipitação do trub.

O mosto clarificado seguiu para o resfriamento (12°C) em um equipamento de frio que emprega uma solução hidroalcolóica a -5°C e por meio de uma bomba circula essa solução nas cintas de refrigeração do tanque. Em seguida, o mosto foi aerado com auxílio de oxigênio puro, que foi introduzido ao mosto por meio de um difusor posicionado no fundo do recipiente de fermentação e na tubulação, que por meio da bomba proporcionou turbulência ao mosto facilitando a incorporação de oxigênio.

Em seguida, foi inoculada a levedura, e após 3 horas, já foi observado o início da fermentação. A fermentação durou 8 dias com temperatura controlada entre 9 a 12°C. Após a fermentação a cerveja foi maturada, no próprio tanque de fermentação, em temperatura de 0°C durante uns 14 dias. Depois da estabilização foi feito a chaptalisação com 8 gramas / litro de açúcar, quantidade suficiente para formação de 2 Kg/cm² de pressão. Posteriormente, a cerveja foi engarrafada para que ocorresse a segunda fermentação, em sistema fechado, importante para a formação de perlage, espuma, pressão e um aumento de 0,5% (v/v) de etanol. Depois de terminada a fermentação, iniciou-se o tratamento térmico em tanque contendo água a 60°C durante 15 minutos.

2.3. Análises físico-químicas

Foram realizadas análises de etanol e glicose, acidez total expressa em ácido tartárico, acidez volátil expressa em ácido acético, acidez fixa, matérias redutoras e matérias não redutoras segundo as normas analíticas do Instituto Adolf Lutz (1985).

3 Resultados e Discussão

O sistema compacto é composto basicamente por dois tanques, no primeiro tanque foram realizadas as etapas de mosturação, filtração, lavagem e fervura. Tradicionalmente estas operações são realizadas por distintos tanques. Para realizar essas quatro operações, foram instalados os seguintes acessórios: tela de inox com perfurações de 2mm x 20mm, posicionada à 50 cm da extremidade inferior do tanque, com a função de reter o bagaço e formação do leito filtrante sobre a tela, que é formado pela própria casca do malte presente no mosto, também denominado dreche. Uma serpentina totalmente inox de 3/4" que circula vapor internamente com pressão em torno de 3 kgf/cm² para mosturação e fervura do mosto e uma bomba centrífuga com vazão de 5 m³/h conectada aos dois tanques. O sistema compacto de produção de cerveja artesanal está ilustrado na Figura 1.

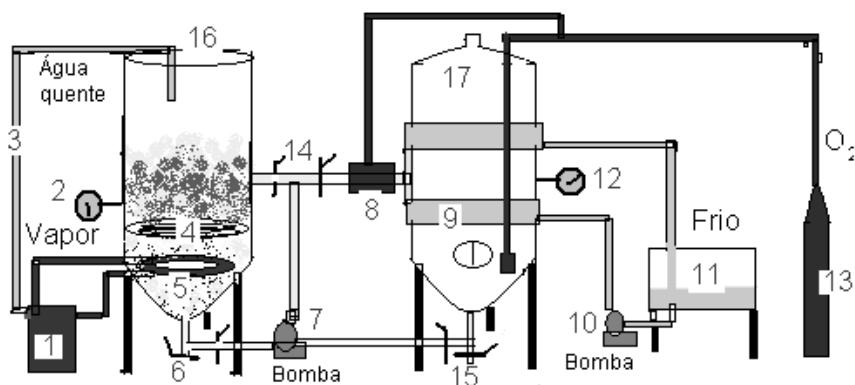


Figura 1. Esquema completo do sistema compacto de produção de cerveja. (Fonte: autor)

Legenda: (1) Caldeira de vapor térmica 1000 kg vapor/h, (2) Termômetro controle de temperatura de mosturação, (3) Gerador de água quente para lavagem do bagaço, (4) Tela de inox perfurações 2mm x 20mm utilizada para retenção do dreche, (5) Serpentina de inox 3/4" circula vapor para mosturação e fervura do mosto, (6) Registros para drenagem ou desvio de fluxo, (7) Bomba centrífuga 5 m³/h, (8) Cartucho de inox sinterizado utilizado para micro oxigenar o mosto, (9) Cinta de inox para circular solução hidro alcóolica a -5°C para controle de fermentação e maturação, (10) Bomba acoplada ao equipamento de frio para circular a solução hidro



alcoólica, (11) Equipamento de frio, (12) Termômetro analógico visualiza temperatura de fermentação e maturação, (13) Cilindro de oxigênio puro, (14) Registros para desvio de fluxo, (15) Registros de descarte de trube e leveduras e desvio de fluxo, (16) Tanque de inox cap 3.000L utilizado para mosturação, filtração e fervura do mosto e (17) Tanque de inox cap 2.000 L utilizado para Whirlpool, fermentação e maturação.

A mosturação foi realizada por decocção. No processo por decocção o mosto é aquecido em intervalos brandos de temperatura de 40°C a 75°C, com agitação. Quando a massa estiver a 50°C, estarão agindo as proteases, a 60-65°C, ocorre à sacarificação pela β -amilase e a 70-75°C, a dextrinização do amido pela α -amilase. O ponto final da mosturação é a degradação do amido, que se hidrolisa a açúcares fermentescíveis como maltose, glicose e maltotrioses, além de formar dextrinas. O tipo de mosturação é importante para as características do produto final, como teor alcoólico, sabor e aroma, relação amargor/dulçor, textura e qualidade da espuma (KUNZE, 1997).

Durante a mosturação, a função da bomba é succionar o mosto que está em baixo da tela e bombear para cima em forma de remontagem, para agitação do mosto. Nesta etapa, o equipamento operou perfeitamente. Foi utilizado o processo de decocção. As rampas de temperaturas e o tempo foram controlados manualmente, a ativação enzimática, ação enzimática e inativação ocorreram como previsto.

Após a mosturação o mosto é separado e aquecido juntamente com o lúpulo em temperatura de 100°C. Durante esta etapa há inativação das enzimas e esterilização do mosto. As proteínas coagulam e se precipitam reagindo com os taninos, formando o trube. Há também formação de compostos responsáveis pela cor e sabor do produto, através da reação de *Maillard* e caramelização, e extração de compostos de amargor e aromáticos do lúpulo. Nesta etapa é possível remover, por evaporação, de compostos voláteis indesejáveis (DENK et al., 2000).

Até a etapa de inativação enzimática em que o mosto foi aquecido a 78°C, o sistema operou perfeitamente. No entanto, durante o processo de filtração foi observado à formação do dreche sobre a peneira, ao se formar o leito filtrante, proporcionando certa resistência de passagem do mosto para a parte inferior da tela.

No projeto previa-se que apenas a pressão de sucção da bomba seria suficiente para superar essa resistência, mas devido à compactação foi impossível filtrar sem a agitação do mesmo. Então foi constatada a necessidade de um agitador mecânico em forma de navalhas, que periodicamente deverá ser acionado para movimentar o leito filtrante, facilitando a passagem do mosto.

A retirada do bagaço ocorreu manualmente pela parte superior do tanque que possui abertura total. A fervura e adição do lúpulo deram-se no tempo determinado, obtendo concentração do mosto como previsto. A fervura foi iniciada com densidade 1040 e foi encerrada com densidade 1052.

Para as operações de *Whirlpool*, resfriamento, oxigenação, fermentação e maturação, geralmente são necessários três tanques e várias bombas. No sistema compacto foram feitas todas essas operações em apenas um tanque.

Terminada a fervura, o mosto foi bombeado para o tanque de fermentação para fazer a decantação do trube, essa operação ocorreu sem problemas. Durante o resfriamento há precipitação de complexos de proteínas com taninos, chamado de *trube* frio (REINOLD, 1997).

O mosto foi submetido a um processo de decantação hidrodinâmica, realizado no mesmo tanque, que devido à geometria do tanque e funcionamento da bomba, faz com que o mosto entre tangencialmente em alta velocidade, separando as proteínas e outras partículas por efeito centrífugo; após 1 hora o *trube* decantou totalmente no fundo do tanque, sendo retirado e descartado, pelo registro no inferior do tanque.

Depois foi feito o resfriamento, que também foi extremamente eficiente, para isso foram instaladas duas cintas de refrigeração na parte externa do tanque, onde circula uma solução hidro alcoólica a -5°C e em menos de 30 minutos o mosto estava em condições de ser oxigenado para adição de leveduras.



A oxigenação foi realizada quando o mosto atingiu 12°C, a incorporação de oxigênio foi feita por meio de um cartucho de inox sinterizado, foi utilizado oxigênio puro de cilindro, durante a oxigenação a bomba permaneceu ligada para maior incorporação do mesmo.

A aeração do mosto é essencial para o crescimento da levedura cervejeira no início do processo fermentativo. O oxigênio é requerido pelas leveduras no processo de respiração celular e para a síntese de ácidos graxos insaturados e esteróis, componentes das membranas intracelulares (VENTURINI FILHO, 2000).

Em seguida, foi inoculada a levedura. A fermentação iniciou após 3 horas a inoculação e durou 8 dias com temperatura controlada entre 9 a 12°C. O processo fermentativo consiste no ponto central para produção de qualquer bebida alcoólica, possuindo como principal objetivo a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico pela levedura sob condições anaeróbicas (ALMEIDA; SILVA, 2005).

Após ser adicionada no mosto aerado, a levedura se reproduz rapidamente devido à alta quantidade de O₂ dissolvido no meio, oxidando o piruvato até CO₂ e água. Depois que todo o oxigênio é consumido as células de levedura passam a utilizar o açúcar de forma anaeróbica, fermentando esses açúcares em etanol e CO₂. O processo de fermentação é controlado pela concentração de etanol formado, pH do meio e quantidade de açúcar remanescente. Os principais produtos formados durante a fermentação são etanol, glicerol, ácido lático e dióxido de carbono, mas há a formação de vários outros compostos em baixas concentrações, resultantes do metabolismo de açúcares e aminoácidos. Podem ser formados ácidos orgânicos, como o ácido cítrico, acético, pirúvico, succínico e axaloacético; ésteres, como o acetato de isoamila e o acetato de etila; compostos sulfura-dos, como o dimetil sulfito e dióxido de enxofre; e outros compostos como acetaldeído, dicetonas vicinais e alguns alcoóis (STEWART, 2000).

A levedura utilizada foi de baixa fermentação, tipo W 34/70, que é uma *Sacharomyces cerevisiae*. O gênero *Sacharomyces* apresenta várias cepas, consideradas seguras e capazes de produzir dois metabólitos primários importantes: etanol e dióxido de carbono. Os dois tipos de cerveja mais importantes, lager e ale, são fermentadas com cepas de *S. uvarum* (carlsbergensis) e *S. cerevisiae*, respectivamente. Atualmente, taxonomistas tem designado todas as cepas empregadas na produção de cerveja como pertencentes à espécie *S. cerevisiae* (STEWART, 2000).

Durante a fermentação foi controlada a temperatura e acompanhada a densidade, quantidade de glicose consumida e etanol produzido, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Variação da densidade, temperatura, glicose e etanol durante a fermentação

| Dias | Densidade (ρ) | Temperatura (°C) | Glicose (g/L) | Etanol (% v/v)g/L) |
|------|---------------|------------------|---------------|--------------------|
| 1 | 1052 | 12°C | 90,94 | 0 |
| 2 | 1046 | 11°C | 74,96 | 0,94 |
| 3 | 1039 | 11°C | 60,00 | 1,82 |
| 4 | 1031 | 9°C | 44,87 | 2,71 |
| 5 | 1027 | 9°C | 23,79 | 3,95 |
| 6 | 1022 | 10°C | 14,27 | 4,51 |
| 7 | 1018 | 11°C | 10,87 | 4,71 |
| 8 | 1016 | 12°C | 8,83 | 4,83 |

No final da fermentação foram feitas as análises quantitativas de teor alcoólico, acidez total, acidez volátil, acidez fixa, matérias redutoras e matérias não redutoras (Tabela 3). Segundo a legislação Brasileira a cerveja é classificada sob diferentes formas em função das características da fermentação e do produto acabado (VENTURINI FILHO; CEREDA, 2001), desta forma com base nos resultados obtidos pode-se classificar a cerveja como sendo de baixa fermentação, alto teor alcoólico (teor alcoólico acima de 4,5% e abaixo de 7%), médio teor de extrato (quando extrato for igual ou maior que 2% e menor que 7% em peso).



Tabela 3 – Teor alcoólico, acidez total, acidez volátil, acidez fixa, matérias redutoras e matérias não redutoras determinadas e extrato seco no final de fermentação.

| Parâmetros analisados | Teores |
|--|----------------|
| Teor alcoólico % (v/v) | 4,83±0,115 |
| Acides Total expressa em ácido láctico | 1.17 ±0,050 |
| Acidez volátil expressa em ácido acético | 0,40±0,020 |
| Acidez fixa | 1,55±0,044 |
| Matérias redutoras (g/L) | 7,22±0,104 |
| Matérias não redutoras (g/L) | 8,37±0,058 |
| Extrato seco | 5,5% (em peso) |

Posteriormente realizou-se a maturação da cerveja. A maturação tem por objetivos refinar o sabor da cerveja pela redução do teor de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico, carbonatar parcialmente o produto, evitar a ocorrência de oxidações que comprometam sensorialmente a bebida e clarificar o líquido através da deposição do fermento, proteínas e sólidos insolúveis. A maturação é conduzida em baixa temperatura, normalmente 0°C, por um período que varia de duas a quatro semanas (VENTURINI FILHO, 2000).

A maturação da cerveja durou duas semanas na temperatura de 0°C, para isso a bomba de circulação da solução hidro alcóolica a -5°C foi acionada manualmente. Durante a maturação é natural a precipitação de fermentos, proteínas e sólidos insolúveis devido à baixa temperatura e esse material foi retirado periodicamente pelo registro inferior do tanque sem a operação de trasfegas. Durante esse tempo o tanque permaneceu sem a presença de oxigênio, para isso no final da fermentação o tanque foi fechado hermeticamente com uma pressão de 2 Kg/cm² de CO₂ oriunda da própria fermentação.

Depois da estabilização, foi feito o *priming*. A cerveja então foi engarrafada em garrafas de vidro em máquinas enchedoras, que possui um pré rincer para enxágue das garrafas antes do enchimento. Após o enchimento procedeu-se a segunda fermentação, em sistema fechado, importante para a formação de espuma, pressão e um aumento de 0,5% v/v de etanol.

Foi utilizada uma garrafa teste, escolhida aleatoriamente para o acompanhamento da fermentação. Fixou-se na tampa de uma garrafa um manômetro de pressão para controlar esta etapa, e quando a pressão chegou aos 2 Kg/cm², a fermentação foi encerrada.

Depois de terminada a fermentação iniciou-se a pasteurização. As garrafas foram imersas em um recipiente contendo água quando a temperatura interna das garrafas atingiu 60°C foram cronometrados 15 minutos. Em seguida, as cervejas foram resfriadas gradativamente evitando choque térmico até chegar à temperatura ambiente. A finalidade da pasteurização é conferir estabilidade biológica mediante a destruição dos microrganismos que deterioram a cerveja (REINOLD, 1997).

4 Considerações finais

O equipamento compacto mostrou-se viável para produção de cerveja artesanal, contudo foi possível constatar que se faz necessário a instalação de um sistema de agitação do bagaço e um controle de temperaturas com temporizador, e um sistema de acionamento periódico da bomba para agitação.

Referências bibliográficas

ALMEIDA e SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgar Blucher, 2005. Cap. 15, p. 347-382.



- BRASIL. Decreto n. 2.314, de 04 de setembro de 1997. Regulamenta a Lei n. 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. Boletim IOB, n. 38, p. 11-30, 1997.
- CEREDA, M. P. Cervejas. In: Aquarone, E.; LIMA, U. de A.; BORZANI, W. Alimentos e bebidas produzidas por fermentação. São Paulo: Edgarg Blucher, 1983, p.44-78.
- DENKE, M. A. Nutritional and health benefits of beer. American Journal Medicine Science. v. 5, p. 320-326, 2000.
- DRAGONE, G.; MUSSATTO, S. I.; SILVA, J. B. de A. Utilização de mostos concentrados na produção de cervejas pelo processo contínuo: novas tendências para o aumento da produtividade. Ciênc. Tecnol. Aliment., v. 27, p. 37-40, 2007.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Bebidas Alcoólicas. In: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 409-464.
- KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. Química Nova, v. 23, n. 1, p. 108-112, 2000.
- KUNZE, W. Technology brewing and malting. Berlim: VLB, 1997.
- LINKO, M.; HAIKARA, A.; RITALA, A.; PENTTILÄ, M. Recent advances in the malting and brewing industry. Journal of Biotechnology, v. 65, n. 2-3, p. 85-98, 1998.
- REINOLD, M.R. Manual prático de cervejaria. São Paulo: Aden, 1997.
- SACHS, L.G. Cerveja. In: <http://www.dbt.ffalm.br/sachs/TPA/cerveja.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2010, 2010.
- STEWART, G. G. A brewer's delight. Chemistry and industry, p.706-709, 2000.
- VENTURINI FILHO, W. G. Tecnologia de cerveja. Jaboticabal: Funep, 2000. 83 p.
- VENTURINI FILHO, W. G.; CEREDA, M. P. Cerveja. In: LIMA, U. A. et al. Biotecnologia Industrial: biotecnologia na produção de alimentos. v. 4. São Paulo: Edgar Blücher, 2001. p. 91-144.