

Princípios para o (correto) cálculo de dosagem de Lúpulos



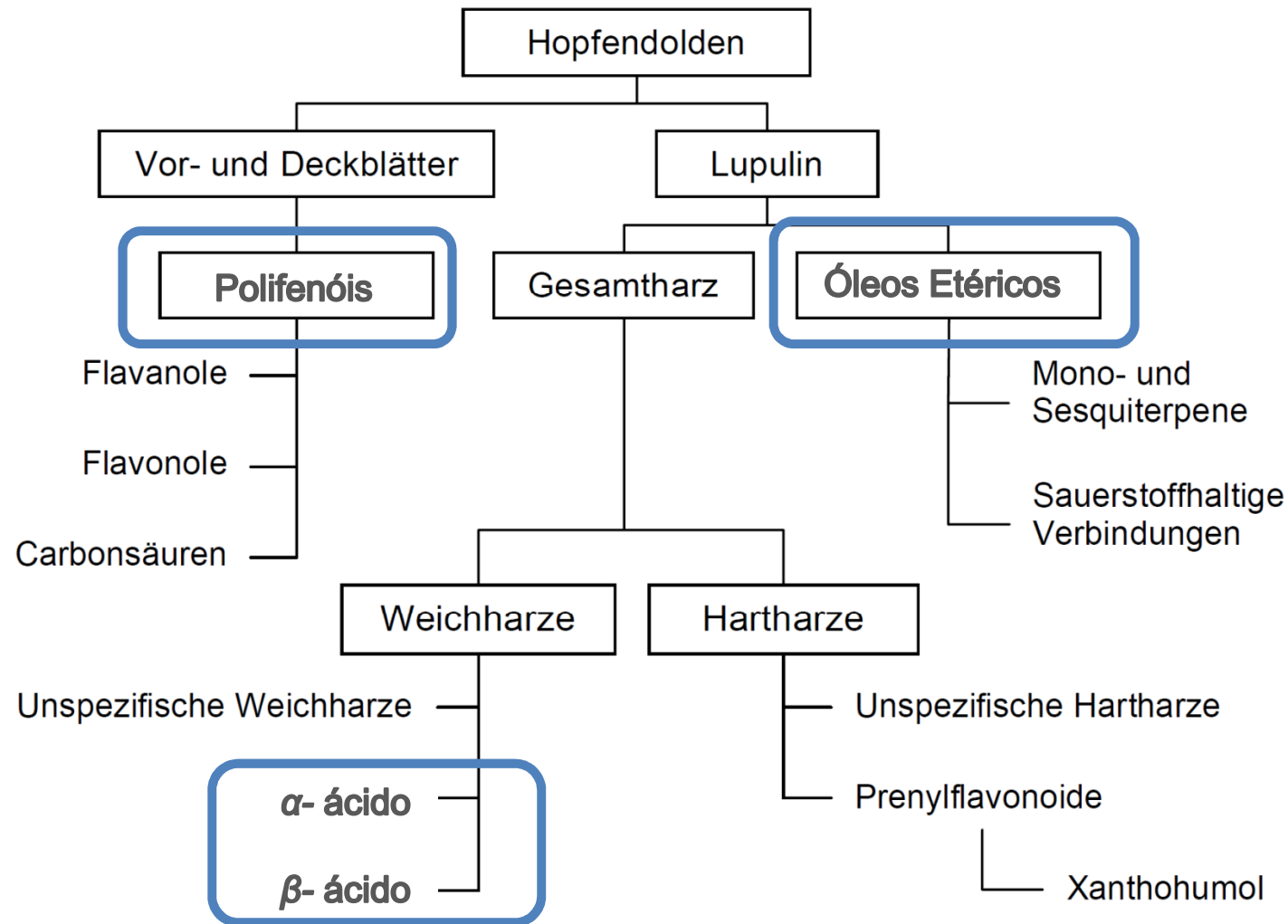
Andreas Gahr

Florian Schüll



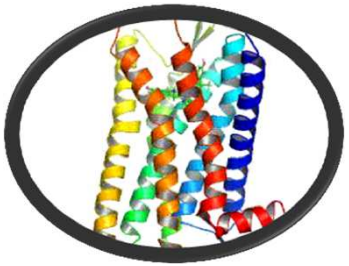
Workshop 01./02.08.2019

Compostos do Lúpulo



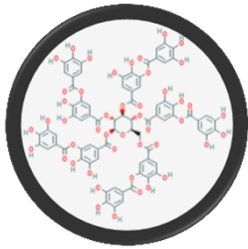
Complexidade do Amargor da Cerveja

Amargor da cerveja resulta de diversas substâncias e processos



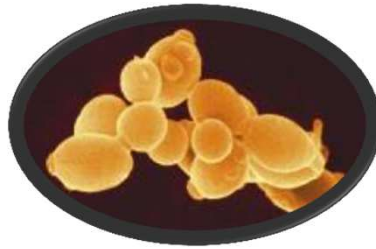
Amargor protéico

Cuidar com a separação do trub



Amargor tânico

Utilizar lúpulos frescos;
Evitar incorporação de oxigênio na mostura e fervura



Amargor da levedura

Leveduras com alta vitalidade (ICP) e viabilidade (Teste de azul de metileno)



Amargor de torrefação

Utilizar também maltes de coloração/ grau de torrefação mais baixa (munique 2, Carared@...) para cervejas escuras



Minerais

Cuidar com a qualidade da água

Cálculo da dosagem de Amargor

$$\text{Dosagem do lúpulo [g]} = \frac{\text{amargor desejado na cerveja [mg/l]} \times \text{quantidade de mosto frio [L]}}{\text{rendimento [\%]} \times \alpha\text{-ácido do produto de lúpulo [\%]} \times 1000 \text{ [mg/g]}} \times 100\%$$

1) Informações necessárias para o cálculo correto:

Análise: Como foi medido o teor de α -ácido no lúpulo?

- **Específica** com HPLC (EBC 7.7)?
 - ▶ „amargor desejado" é a quantidade real esperada de:
Iso- α -ácidos em mg/l
 - **Não específica** análise condutométrica (EBC 7.5)?
 - ▶ „amargor desejado" é o resultado real esperado de:
Compostos de Amargor totais dissolvidos (IBU)
 - ➡ **Específico α < Não Específico α !**
- Em caso de descuido > Perigo de Super- ou Subdosagem**

2) Cálculo de rendimento de Compostos de Amargor

Lúpulo - Análises

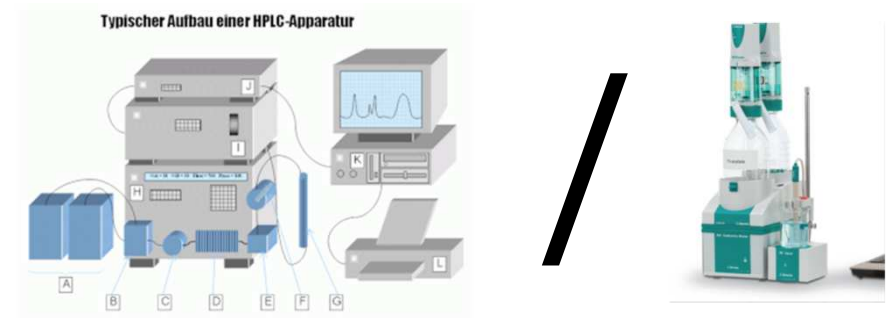
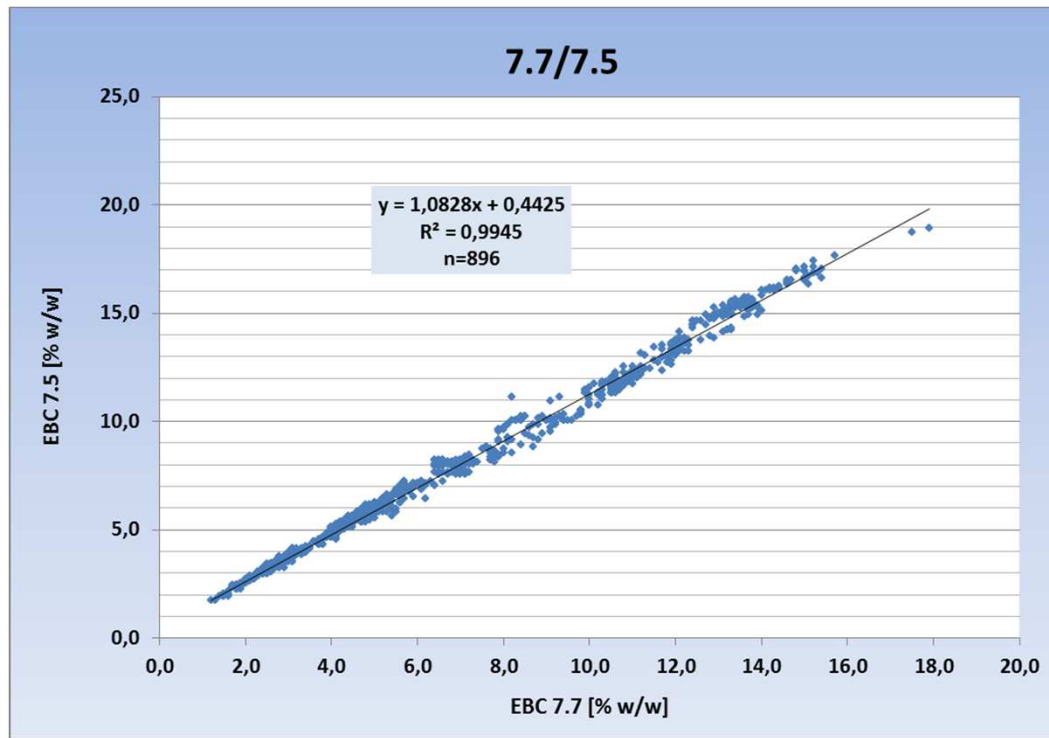
- Alfa-ácidos (EBC 7.7) é a soma dos homólogos dos alfa-ácidos medidos com HPLC (específica).
- Alfa-ácidos (EBC 7.5) é o valor adquirido por análise condutométrica de uma solução de lúpulo/éter/metanol (não específica).

Produto	Análise Específica	Análise Não Específica
Lúpulo	HPLC (EBC 7.7)	Valor Condutométrico (EBC 7.5)
Lúpulo		Alfa-ácidos (ASBC Hops 6)
Cerveja	HPLC (EBC 9.47)	IBU (EBC 9.8)

- Valor de alfa-ácido (ASBC) é determinado espectrofotometricamente (não específico) declarado normalmente na negociação de lúpulos americanos.
- Nas Unidades Internacionais de Amargor - IBU - (EBC 9.8) são medidos os compostos de amargor por espectrofotometria a 275nm (não específico).
- Compostos de amargor na cerveja HPLC (EBC 9.47): Medição dos compostos individuais de amargor por cromatografia líquida (específico)

Lúpulo - Análises

Comparação de Métodos EBC 7.7 (HPLC) / 7.5 (KW)



Regressão linear: $a x + b$

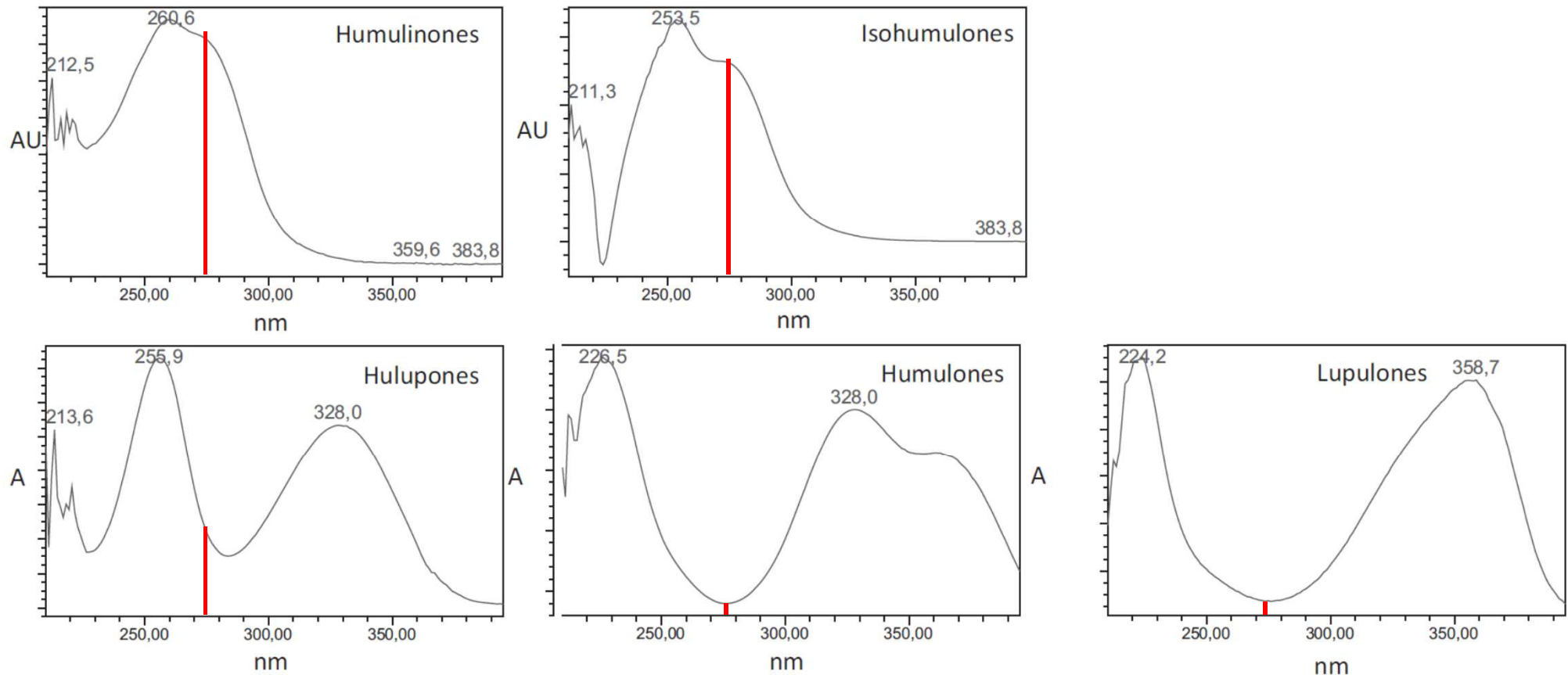
Inclinação $a = 1,0828$

Os resultados do método EBC 7.5 são na média 8,3% maiores que EBC 7.7

Secção transversal do eixo $b = 0,4425$

Mesmo com $\alpha=0$ é medido um valor condutométrico de 0,4425
= ruídos condutométricos ex.
Clorofila, Ácidos Orgânicos

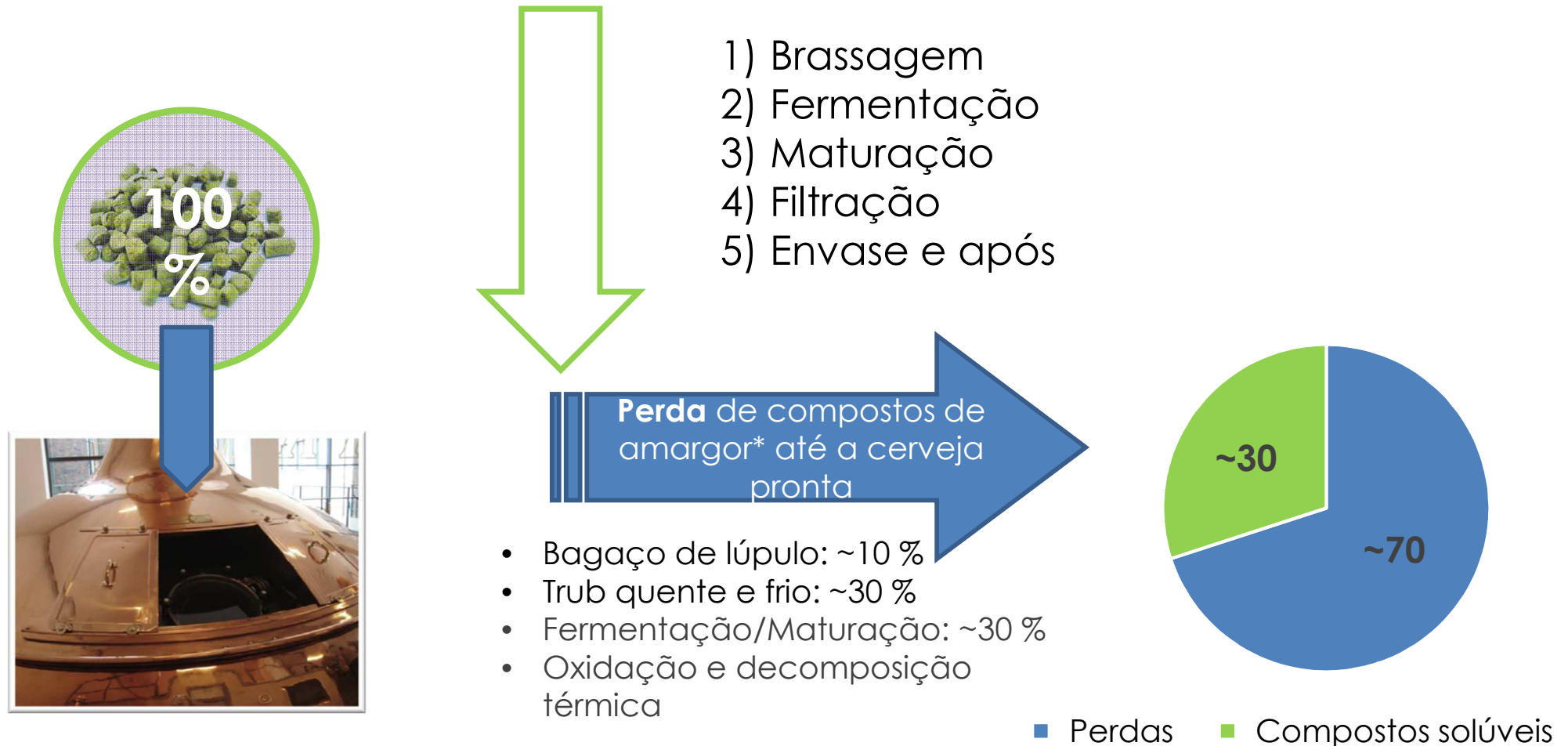
Espectros de UV de variados compostos de amargor



- Iso- α -ácidos e Humulinonas são medidos com bom coeficiente de absorbância a 275nm.
- α - e β -ácidos tem em 275nm seu mínimo.

Quelle: Ferreira et. al, ASBC Journal, 75, 04/2018

Rendimento – Fatores de influência



* Os diferentes compostos de amargor sofrem perdas de acordo com sua polaridade durante o processo de produção da cerveja.

Rendimento – Fatores da Brassagem



- 1) Tempo e Temperatura
- 2) Valor de pH
- 3) Tipo de Produto de Lúpulo
- 4) Frescor do Produto de Lúpulo
- 5) Tamanho da dosagem
- 6) Densidade
- 7) Composição do mosto
- 8) Sistema da fervura

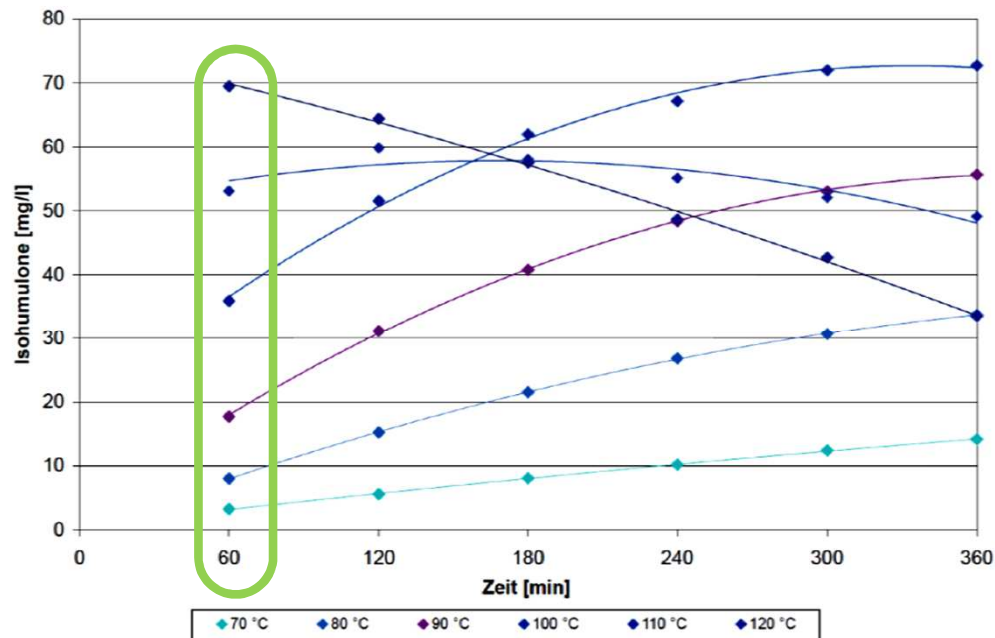
Rendimento – Fatores da Brassagem



1) Tempo e Temperatura



*Influência de diferentes temperaturas na isomerização
(Dosagem de pellets, 96 mg α/l)*

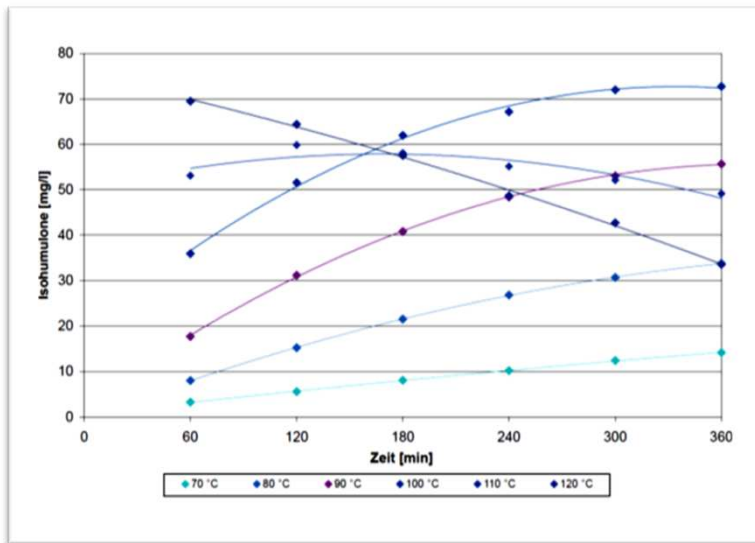


Fatos:

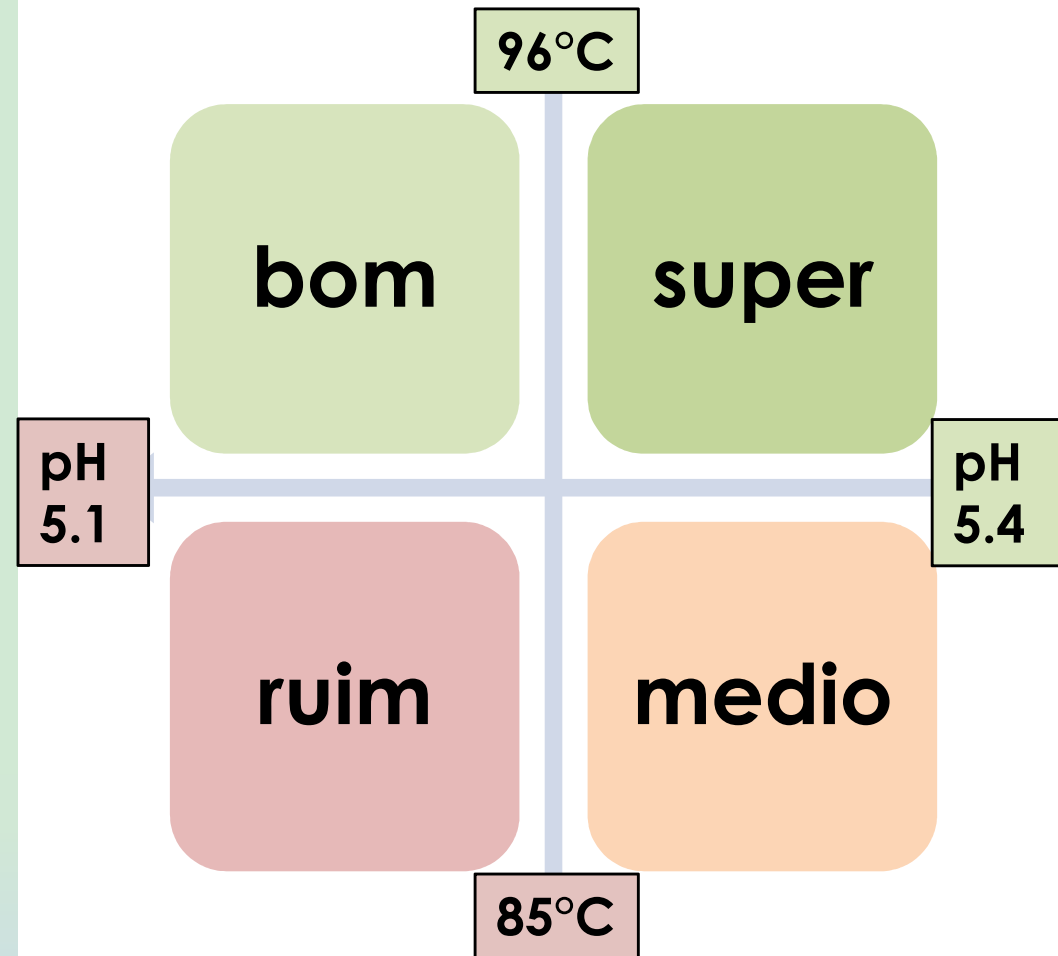
- Abaixo de 80 °C não ocorre isomerização considerável de alfa ácidos findet
- Quanto menor o tempo de fervura, menor a isomerização (à temperatura constante)
- Quanto maior a temperatura, melhor a isomerização (com tempo constante)
- À temperatura de fervura (100 °C) o máximo é atingido com 4 horas, com fervura sob pressão (120 °C) já após 20 minutos.

Rendimento – Fatores da Brassagem (Whirlpool)

- Informações de rendimento variam bastante: 3 - 9%, por que?
 - Na prática a isomerização não prolonga somente pela fervura, mas sim por todo o período quente
 - Período quente = ca. 50-90 min
- Repouso de Whirlpool + $\frac{1}{2}$ Resfriamento



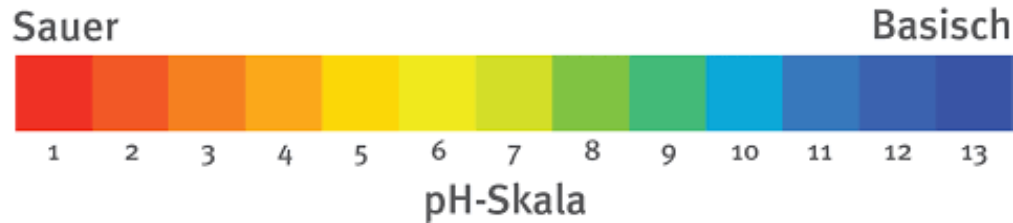
- WP isolado? 85°C ou 96°C
- Mosto Acidificado? pH 5.0 ou 5.4



Rendimento – Fatores da Brassagem



2) Valor de pH

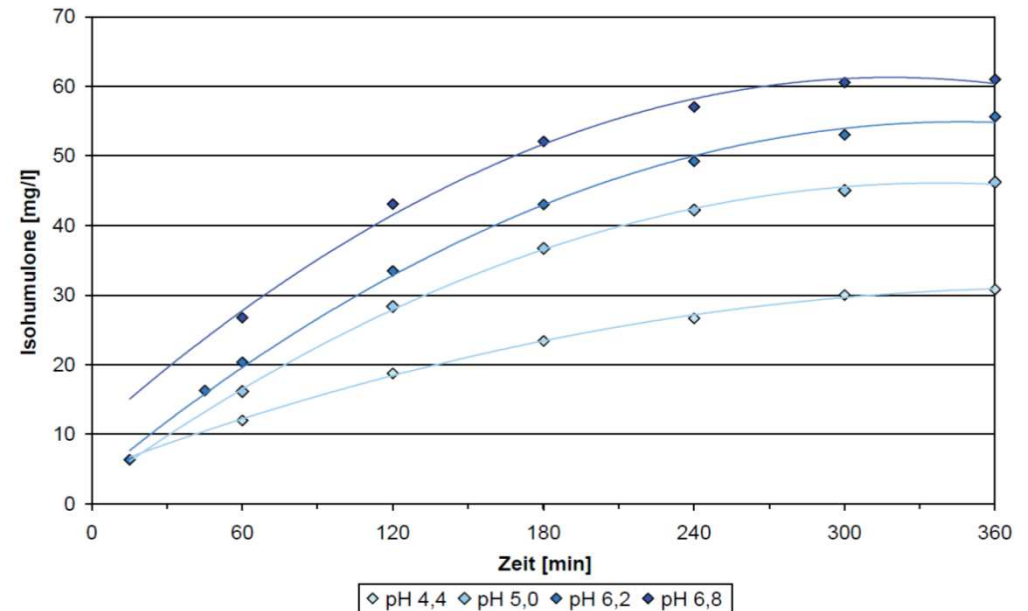


Fatos:

- Valor de pH determina a **solubilidade** dos Iso- α -ácidos e particularmente dos alfa ácidos
- α -ácidos **isomerizam** melhor em **pH mais altos** (Acidificação biológica melhor no fim da fervura)
- Água cervejeira com menor alcalinidade produz um mosto pH mais baixo e dificulta assim a isomerização
- A utilização de adjuntos pode diminuir o poder tampão e levar a um mosto com pH mais baixo e e consequentemente menor isomerização.

pH	Alpha ácidos[mg/l]	Iso-Alpha ácidos [mg/l]
4,2	<2	500
4,8	21	1700
5,0	40	2000
5,2	84	2400
5,9	480	Keine Angabe

Limites de solubilidade de α - e Iso- α -ácidos em água à temperatura ambiente e valores de pH variados (segundo Hertel)



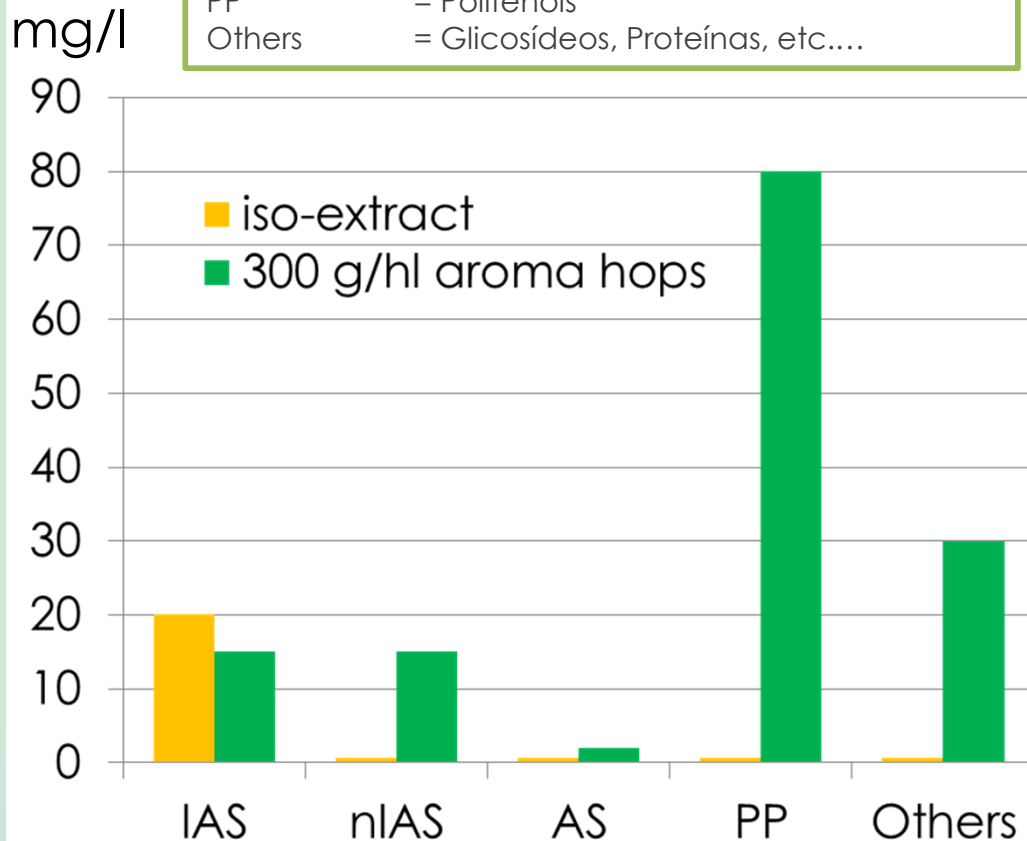
Influência de diversos valores de pH do mosto na isomerização à 90°C isotermal (Dosagem de pellets, 96 mg α /l)

Rendimento – Fatores da Brassagem



3) Tipo de Produto de Lúpulo

Duas cervejas com ca. 20 IBU
IAS = Iso- α -ácido
nIAS = Compostos Amargor Não-Iso- α -ácido
AS = Compostos aromáticos
PP = Polifenóis
Others = Glicosídeos, Proteínas, etc....



Fatos dos Produtos de Lúpulo:

- A solubilização e isomerização dos compostos de amargor para pelets T90 e T45 são semelhantes.
- Devido a um menor teor de sólidos, o mosto com utilização de extrato de lúpulo possui menor perda de compostos de amargor por absorção e com isso melhor rendimento.
- Lúpulo em flor possui 10 a 15 % menos rendimento, pois a solubilização de compostos de amargor é menor com a glândula de lupulina intacta
- Os compostos que são passados para a cerveja variam de acordo com o produto de lúpulo.



Quelle: Hopfenbuch

Rendimento – Fatores da Brassagem

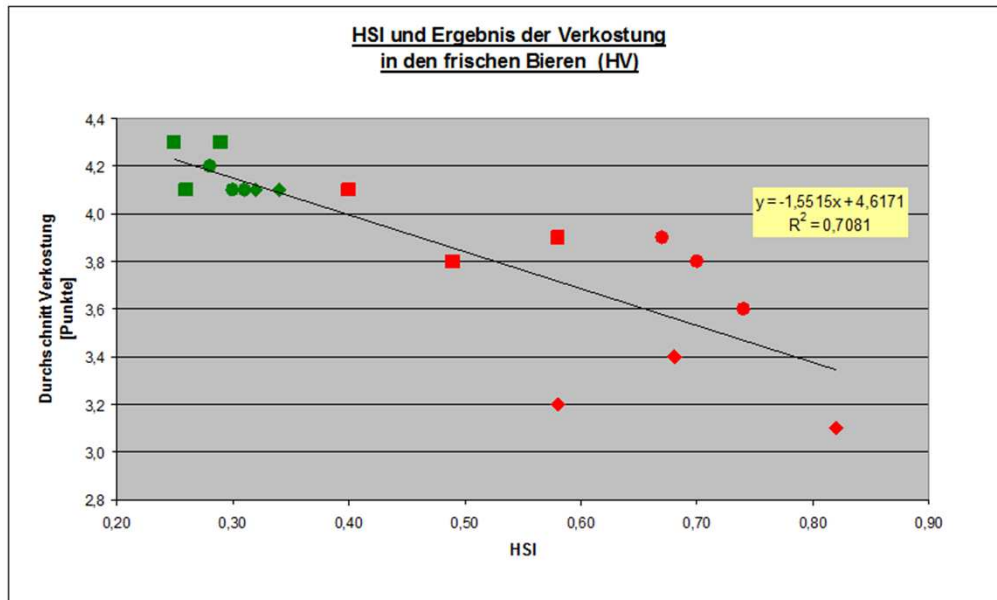


4) Frescor do Lúpulo



Fatos sobre o frescor do lúpulo:

- Lúpulo afetado por oxigênio ($HSI > 0,5$) ou produtos feitos a partir deste são caracterizados por um aparente ganho de substâncias amargas.
- Analisando apenas as unidades de amargor (IBU) na cerveja pronta, elas são mais altas em lúpulo envelhecido, mas o teor absoluto de iso- α -ácidos é menor.
- A qualidade de amargor das cervejas produzidas com lúpulo significativamente envelhecido sofre notavelmente.

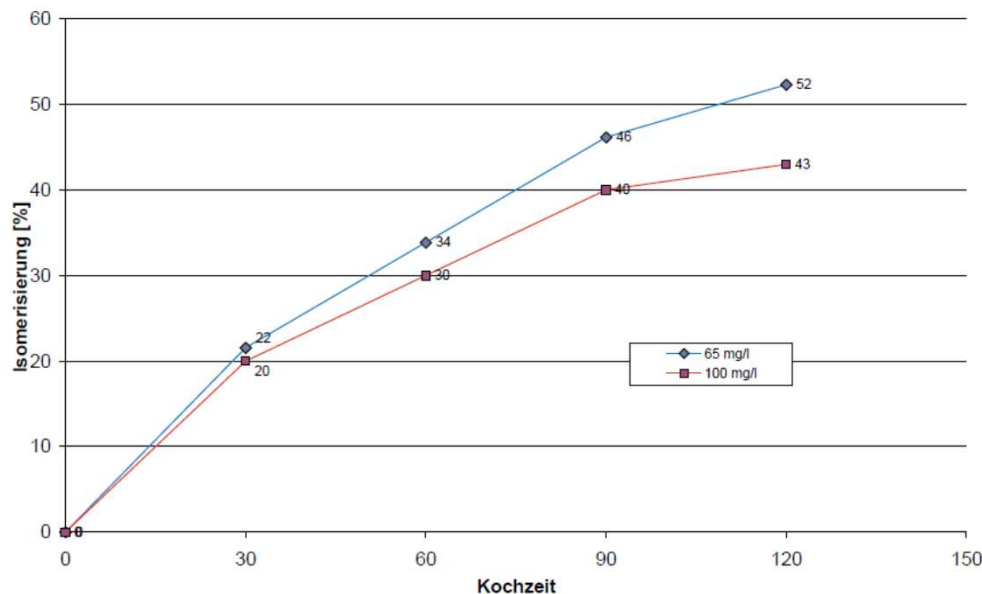


Quelle: Hopfenbuch

Rendimento – Fatores da Brassagem



5) Tamanho da dosagem



Taxas de isomerização em função da quantidade de lúpulo nas dosagens de 65 ou 100 mg de α -ácidos por litro
[EBC Manual of Good Practice]

Fatos:

- O **tamanho da dosagem** desempenha um papel menor para dosagens normais (40 a 60 mg/l Alpha-ácidos).
- Apenas com doses mais altas, o rendimento **diminui** com o aumento da dose.
- Narziss relata uma redução no rendimento de 18% com uma duplicação do lúpulo de 80 para 160 mg / l.
- O efeito fica mais claro com tempos de fervura mais longos.



Quelle: Hopfenbuch

Rendimento – Fatores da Brassagem



6) Densidade



Densidade [°P]	10,0	12,5	15,0
Flor de Lúpulo	25	20	16
Pellets	30	30	27
Extrato	31	28	26

Fatos:

- Produções com maior densidade (por exemplo, cervejas tipo Bock ou cerveja sde alta gravidade) têm, de acordo com a experiência, um menor rendimento de amargor:
 - Maior quantidade de proteína no mosto, resultando em > coagulação proteica mais intensa > mais Trub
 - Além disso, o pH é ligeiramente inferior com maior densidade e, portanto, a solubilidade é menor.



Quelle: Hopfenbuch

Rendimento – Fatores Fermentação & Maturação

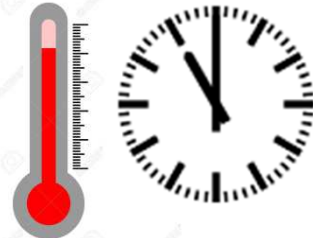


- 1) Tempo e Temperatura
- 2) Valor de pH
- 3) Pitching rate
- 4) Vitalidade da levedura
- 5) Purgas regulares
- 6) Amostragem para rendimento

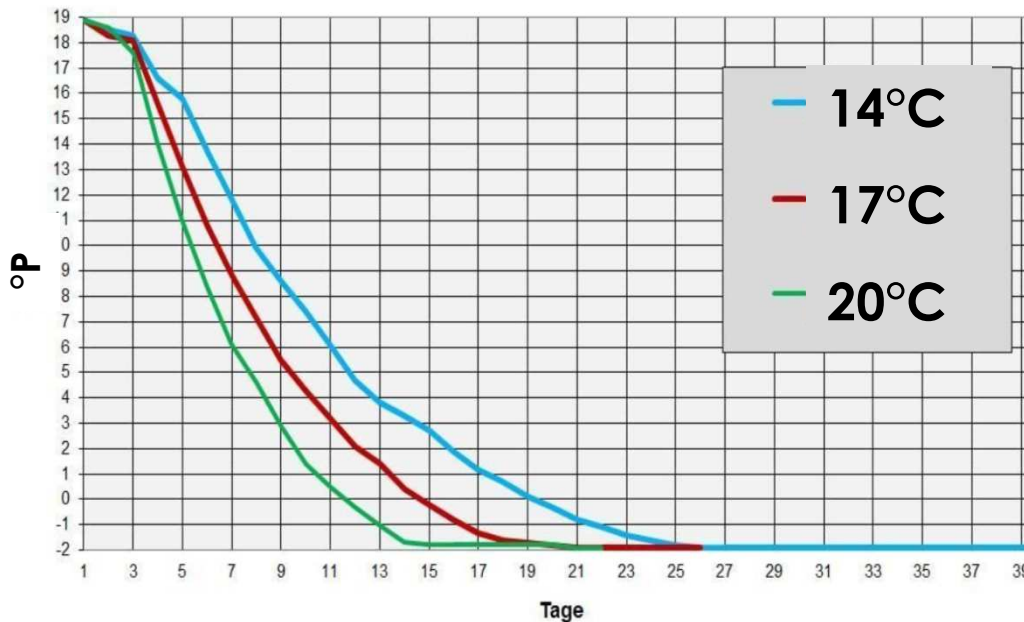
Rendimento – Fatores da Fermentação



- 1) Temperatura e Tempo
- 2) Valor de pH



Einfluss verschiedener Temperaturen auf die Gärung



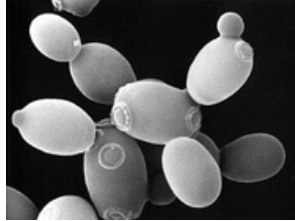
Fatos:

- Temperaturas mais altas aceleram a fermentação.
- A queda de pH é mais acentuada e termina mais baixa.
- Maior formação de subprodutos e risco de autólise!
- Precipitação mais intensa.
- Relação entre o pH mais baixo durante a fermentação e o rendimento de amargor.

Rendimento – Fatores da Fermentação

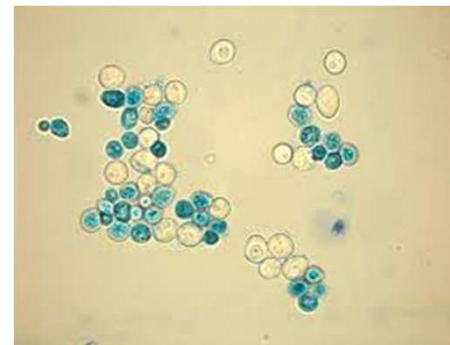
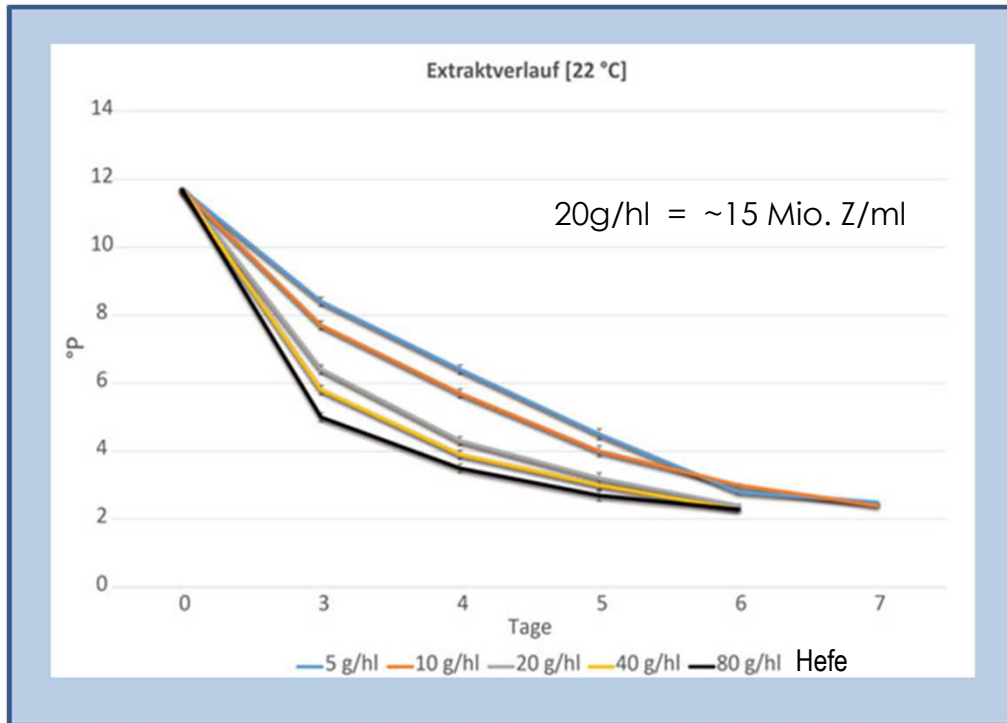


- 3) Pitching Rate
- 4) Vitalidade da levedura
- 5) Purgas
- 6) Amostragem para rendimento



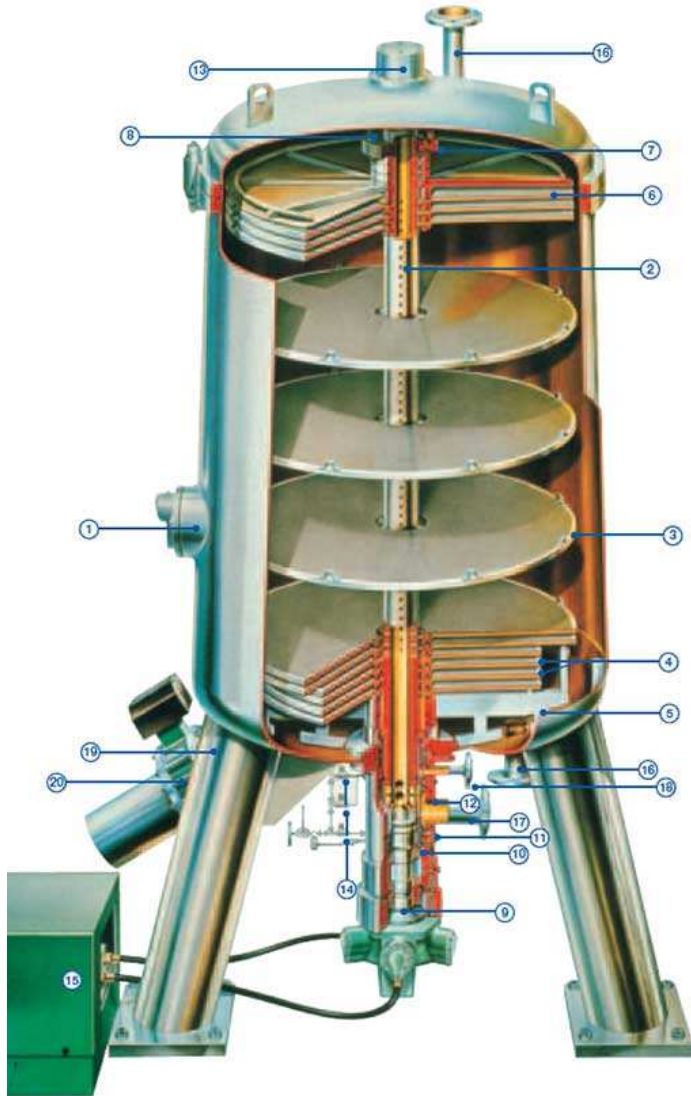
Fatos:

- Maior quantidade de levedura acelera a fermentação e a queda de pH.
- Grande dependência da vitalidade da levedura
- Mais levedura absorve mais compostos de amargor
- Risco de autólise!
- Necessidade de purgas regulares => perdas
- O momento ideal para amostragem é após o resfriamento e alguns dias de maturação



Quelle: <https://www.gradplato.com/kategorien/know-how/hefegabe-hilft-viel-wirklich-viel>

Rendimento – Fatores da Filtração



- 1) Tipo da filtração
- 2) Quantidade de material filtrante



Rendimento – Fatores da Filtração

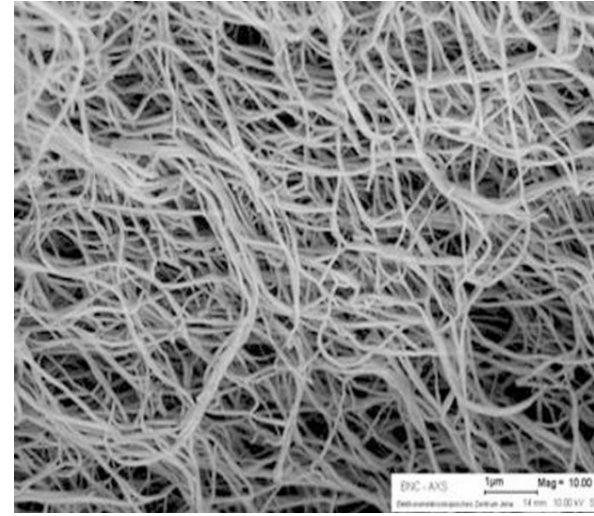


- 1) Tipo da filtração
- 2) Quantidade de material filtrante

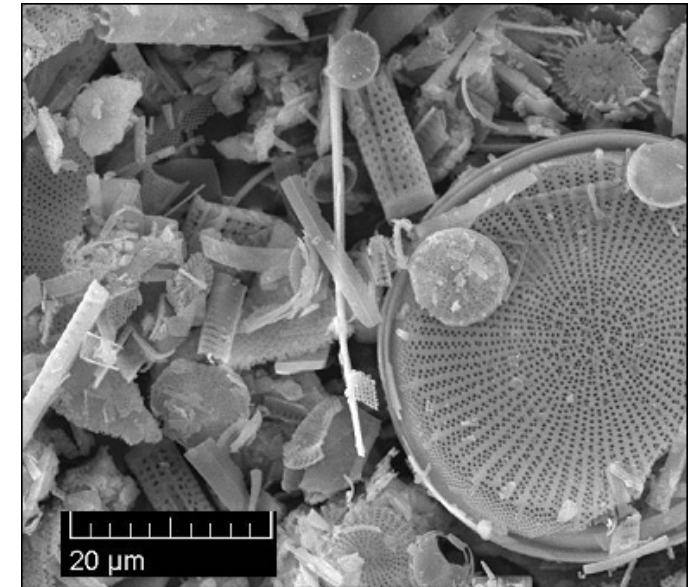
Fatos:

- Perdas variadas para cada tipo de filtração (Kieselgur/Membran)
- Grande dependência da quantidade filtrada (Grande/pequena cervejaria)
- Perdas adicionais pela estabilização (PVPP/Silica Gel) e filtração EK
- Perdas também dependentes da quantidade de material filtrante (Cellulose, Kieselgur etc.)
- Toda filtração reduz compostos de amargor da cerveja.
- Perdas de aroma podem ser significativas.

Quelle: <https://www.gradplato.com/kategorien/know-how/hefegabe-hilft-viel-wirklich-viel>

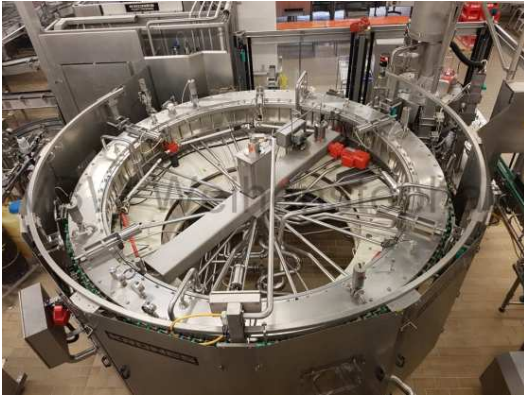


Cellulose



Kieselgur

Rendimento – Fatores do envase e após



- 1) Oxigênio
- 2) Perdas Pasteurização
- 3) Perdas envelhecimento da cerveja

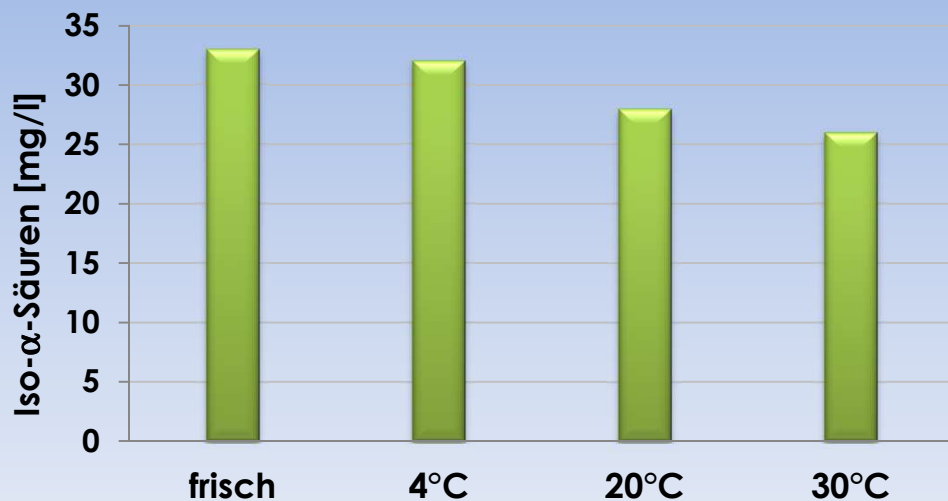


Rendimento – Fatores do envase e após



- 1) Oxigênio
- 2) Perdas Pasteurização
- 3) Perdas envelhecimento da cerveja

Bier-Alterung (12 Monate)



Fatos:

- O oxigênio acelera a oxidação de muitos compostos da cerveja, inclusive os de amargor.
- Na pasteurização de cervejas com dry hopping os iso-alfa-ácidos se mantêm iguais ou mostram um aumento mínimo alfa-ácidos baixam e com isso também o IBU (F. Peifer, Poster EBC 2019).
- O envelhecimento da cerveja é dependente da temperatura de armazenagem. Se a perda dos compostos de amargor de uma cerveja de 33 mg/l a 4°C for de 1 mg/l, com 20°C a perda é de 5 mg/L e com em 30°C, 7mg/L (Eigene Untersuchungen, unveröffentlicht)

Rendimento, Balanço dos Compostos de Amargor

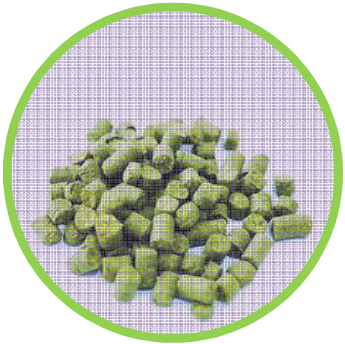
- Um grande número de fatores desempenham um papel importante para as taxas de transferência de compostos de amargor e, portanto, para o rendimento de lúpulo.
- O conhecimento destes fatores facilita a **estimar** o rendimento. Uma **dosagem exata de lúpulo (amargor)** necessita **rendimentos exatos**, que precisam ser determinados empiricamente:

$$\text{Rendimento não específico}[\%] = \frac{\text{IBU na cerveja (fotométrico)} \times \text{Volume de Apronte [hl]} \times 10}{\text{Lúpulo [g]} \times \text{KW (EBC 7.5) [\%]}} \times 100 \%$$

$$\text{Rendimento específico}[\%] = \frac{\text{Iso-alpha na } \frac{\text{cerveja}}{\text{mosto [mg] (HPLC)}} \times \text{Volume de Apronte [hl]} \times 10}{\text{Lúpulo [g]} \times \text{alpha do Lúpulo [\%] (HPLC)}} \times 100 \%$$

Quelle: Hopfenbuch

Recomendações Gerais para a dosagem de Lúpulo



- ➔ Dosagem **Aromática** em fim de fervura com **20 g/hl** **não possui grande efeito**
- ➔ Para atingir aroma de lúpulo na última dosagem, -e necessária uma **quantidade de óleos mínima de 0.2 a 0.5 ml/hl**.
- ➔ Para ultrapassar o **limiar de percepção do Linalool** (ca. 20 µg/l) é necessária uma dosagem de **ca. 40 µg/l** (rendimento ca. 50%).
- ➔ Para atingir um **efeito positivo** dos polifenóis do lúpulo é necessária uma dosagem de **ca. 60 mg/l** (rendimento ca. 50%).



Cálculo da dosagem de Lúpulo (amargor)

$$\text{Dosagem de Lúpulo [g]} = \frac{\text{Amargor desejado na Cerveja [mg/l]} \times \text{Volume de Apronte [L]}}{\text{Rendimento de Amargor [\%]} \times \text{Valor de } \alpha [\%] \times 1000 \text{ [mg/g]}} \times 100\%$$

Cálculo da Dosagem de Lúpulo da fase quente

Exemplo

FIM DE FERVURA

Método

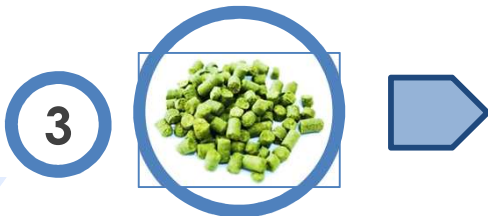
(em rendimentos conhecidos e definidos pontos de dosagem):



Determinação da última dosagem(n) Final da Fervura (KE), WHP ou DH levando em consideração os Óleos Totais ou Linalool. Quantidade de pellets e das variedades (n) está fixada. A dosagem de Alfa Ácidos na fase quente multiplicada pelo rendimento (taxa de isomerização) nos fornece a esperada quantidade de Iso-Alfa-Ácidos.



Para a dose no **meio da fervura** recomenda-se basear os cálculos em relação a **Concentração de Polifenóis**. A quantidade de pellets representa a quantidade de Alfa-Ácidos, multiplicado pela taxa de isomerização (rendimento) resulta na quantidade de Iso-Alfa-Ácidos Dosados.



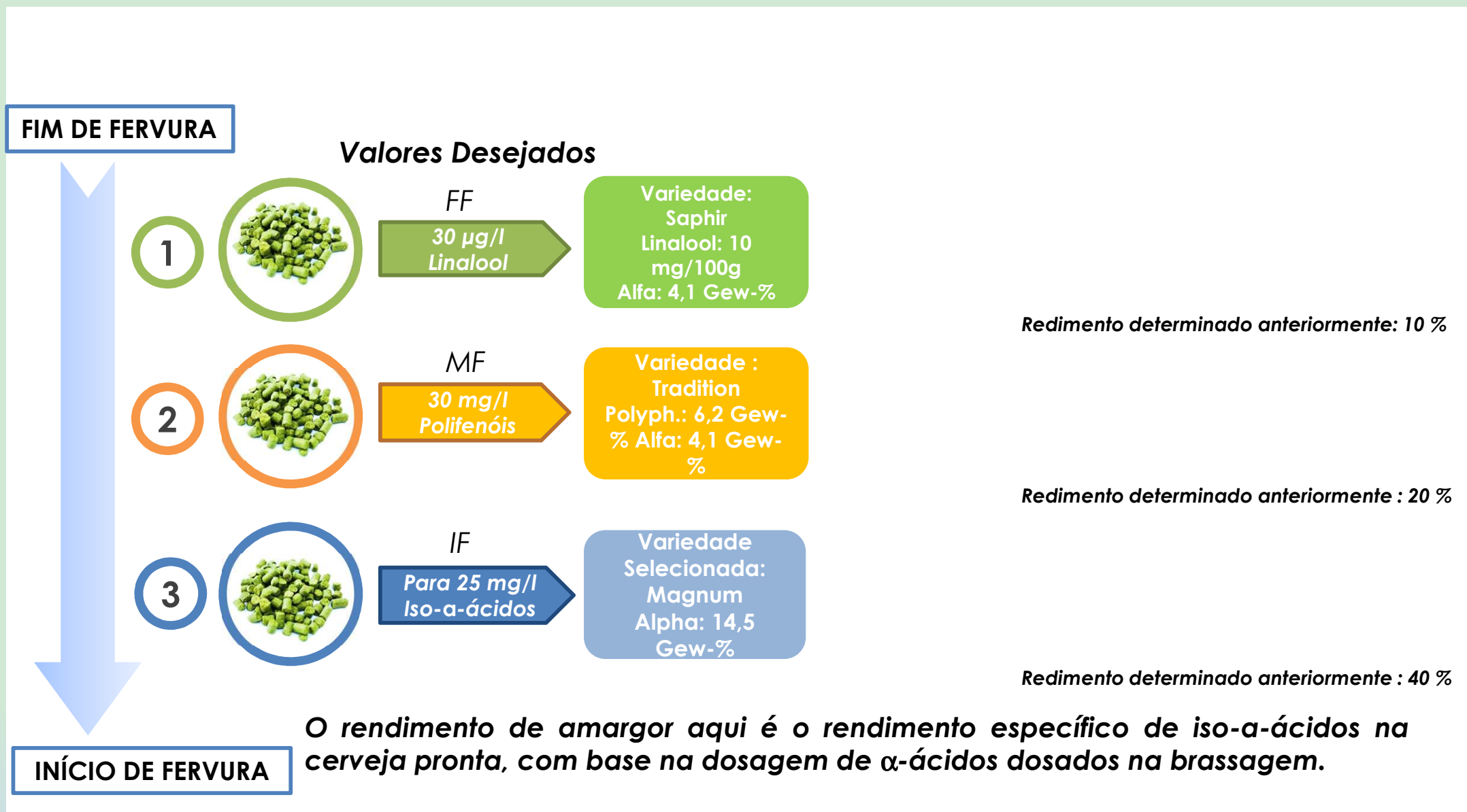
Do total de Iso-Alfa-ácido desejado na cerveja deve-se descontar estes incorporados durante o meio da fervura e do fim da fervura. Sabendo-se o rendimento de amargor do início da fervura, pode-se então calcular a quantidade de alfa-ácidos faltante.

INÍCIO DE FERVURA

Quelle: Hopfenbuch

Cálculo da Dosagem de Lúpulo da fase quente

Exemplo



Cálculo da dosagem aromática- Fim de Fervura(FF)

Objetivo : 30 µg/l Linalool (Redimento de Linalool ca. 50%)

Lúpulo possui 10 mg/100g Linalool, rendimento ca. 50%

$$\text{Dosagem de Lúpulo [g/l]} = \frac{\text{valor de linalol desejado no mosto} \times 100}{\text{Rendimento [\%]} \times \text{Valor de linalol no lúpulo [mg/100g]} \times 1000 [\mu\text{g/mg}]}$$

$$\text{Dosagem de Lúpulo [g/l]} = \frac{30 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right] \times 100 [\text{g}]}{\frac{50}{100} \times 10 \text{ mg} \times 1000 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right]} = \frac{3000}{5000} \frac{\text{g}}{\text{l}} = \mathbf{0,6 \text{ g/l}} = 60 \text{ g/hl}$$

Lúpulo possui 4,1 % α-ácidos 0,6 g Pellet = 600 mg

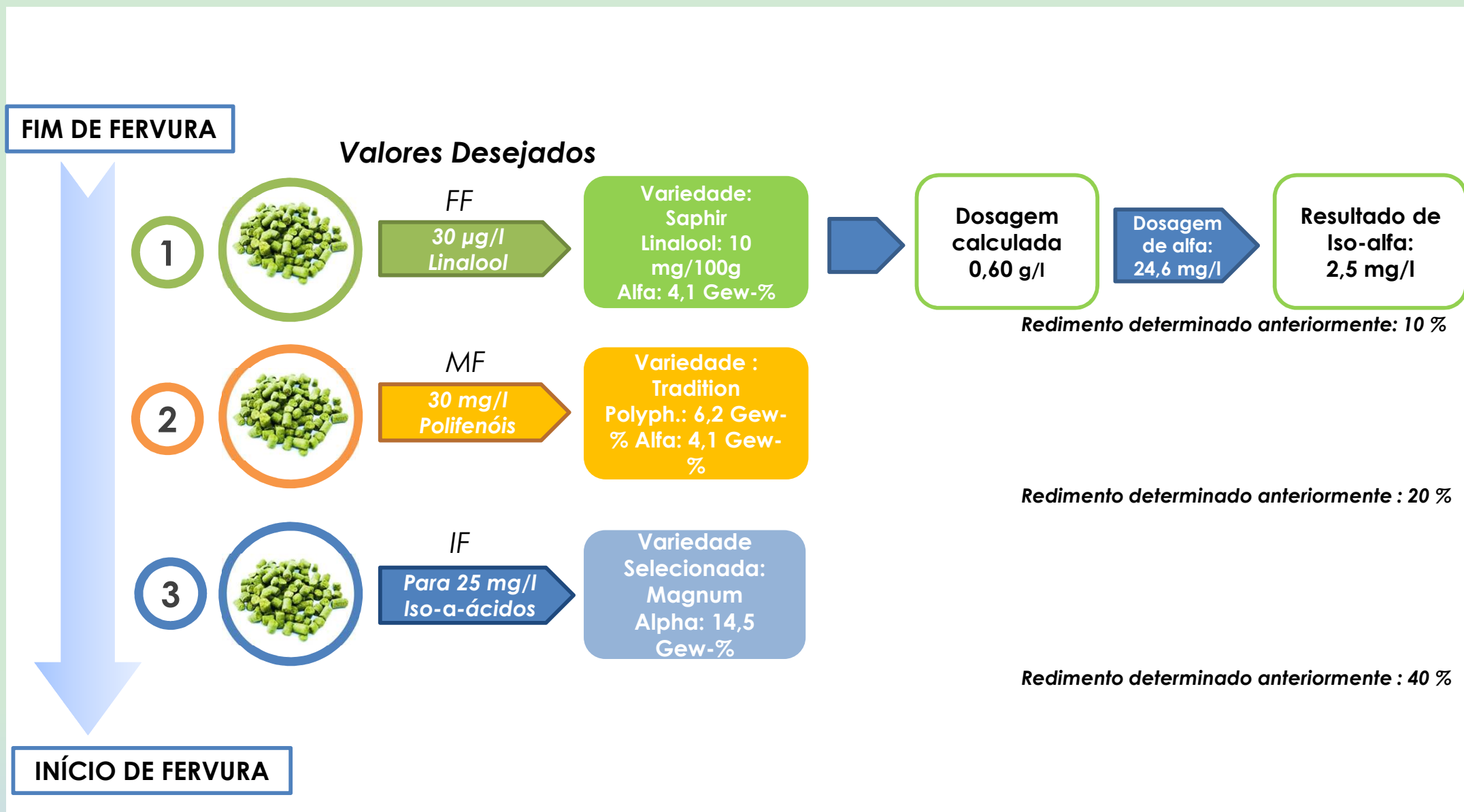
$$\text{Dosagem de alfa [mg/l]} = 600 \text{ mg} \times 4,1 / 100 = \mathbf{24,6 \text{ mg/l}}$$

Rendimento de Amargor 10%

$$\text{Contribuição dessa dosagem para o amargor: } 24,6 \text{ mg/l} \times 10 \% = \mathbf{2,5 \text{ mg/l [IBU]}}$$

Cálculo da Dosagem de Lúpulo da fase quente

Exemplo



Cálculo dosagem de Polifenóis– Meio Fervura (MF)

Objetivo : 30 mg/l Polifenóis (Rendimento de polifenol ca. 50%)

Hopfen enthält 6,2 Gew.-% bzw. 6,2 g/100g Polyphenole

$$\text{Dosagem de Lúpulo [g/l]} = \frac{\text{Valor de Polifenol desejado no Mosto [mg/l]} \times 100}{\text{Ausbeute [\%]} \times \text{Polyphenol-Gehalt Hopfenprodukt [g/100g]} \times 1000 [\mu\text{g/mg}]}$$

$$\text{Dosagem de Lúpulo [g/l]} = \frac{30 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] \times 100 [\text{g}]}{\frac{50}{100} \times 6,2 \text{ g} \times 1000 \left[\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right]} = \frac{3000 \text{ g}}{3100 \text{ l}} = \mathbf{0,968 \text{ g/l}} = 96,8 \text{ g/hl}$$

Lúpulo possui 4,1 % α -ácidos 0,968 g Pellet = 968 mg

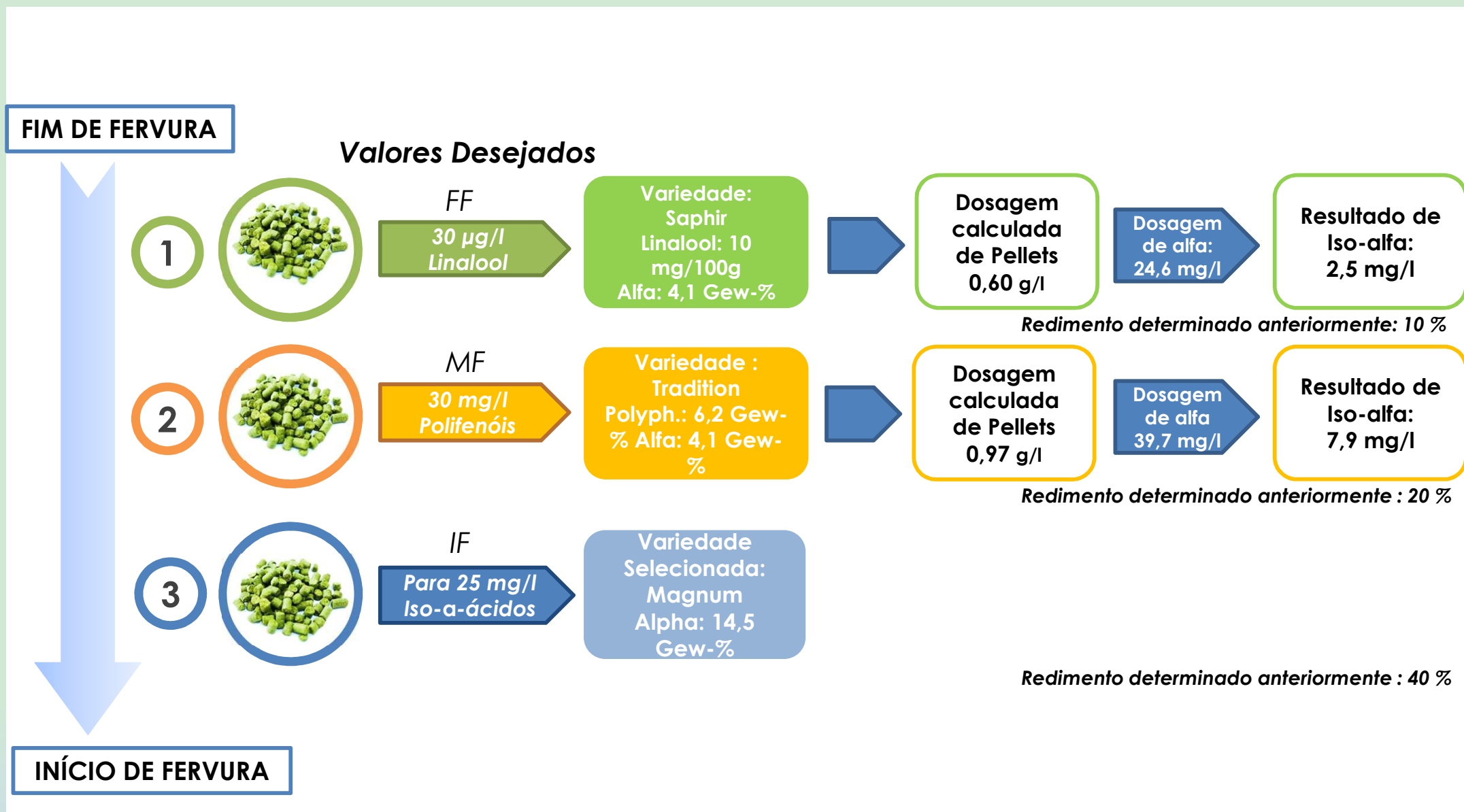
Dosagem de alfa [mg/l] = 968 mg x 4,1 /100 = **39,7 mg/l**

Rendimento de Amargor: 20%

Contribuição dessa dosagem para o amargor : 39,7 mg/l x 20 % = **7,9 mg/l [IBU]**

Cálculo da Dosagem de Lúpulo da fase quente

Exemplo



Cálculo da Dosagem de Amargor– Início Fervura (IF)

Objetivo : 25mg/l Iso- α -ácidos na cerveja pronta

Amargor faltante: $25,0 - 2,5 - 7,9 \text{ mg/l} = \mathbf{14,6 \text{ mg/l}}$

Rendimento de amargor no Início da Fervura: 40%

$$\alpha\text{-Dosagem [mg/l]} = \frac{\text{Amargor Faltante [mg/l]} \times 100 [\%]}{\text{Rendimento [\%]}}$$

$$\alpha\text{-Dosagem [mg/l]} = \frac{14,6 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] \times 100 [\%]}{40 [\%]} = \frac{1460 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]}{40} = \mathbf{36,5 \text{ mg/l}}$$

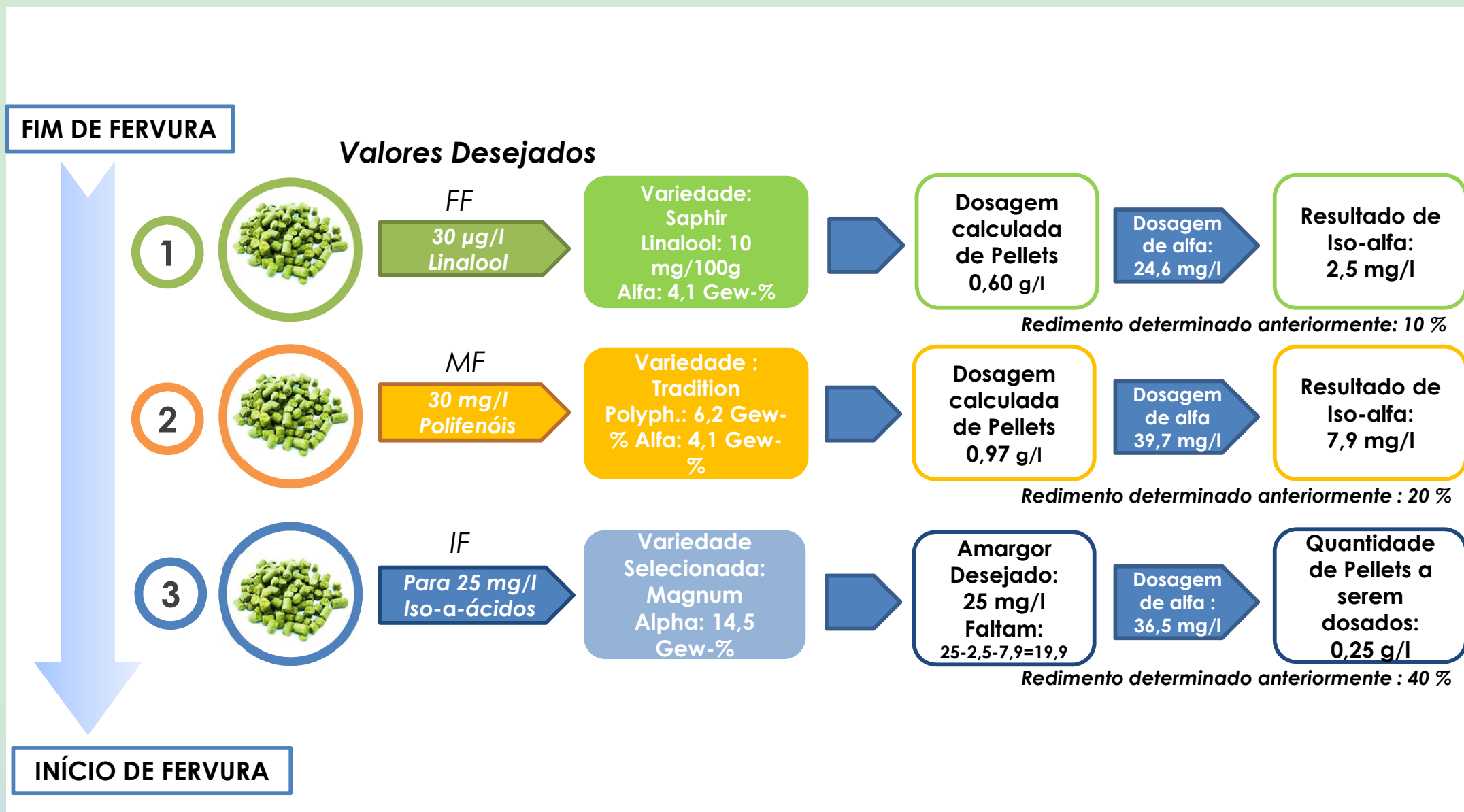
Lúpulo possui 14,5 % α -ácidos

$$\text{Dosagem de Lúpulo IF [g/l]} = \frac{\text{dosagem de } \alpha - \text{necessária} \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] \times 100 [\%]}{\text{valor de } \alpha \text{ no lúpulo [\%]}}$$

$$\text{Dosagem de Lúpulo IF [g/l]} = \frac{36,5 \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] \times 100 [\%]}{14,5 [\%] \times 1000 \left[\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right]} = 3650/14500 = 0,25 \text{ g/l} = \mathbf{25 \text{ g/hl}}$$

Cálculo da Dosagem de Lúpulo da fase quente

Exemplo

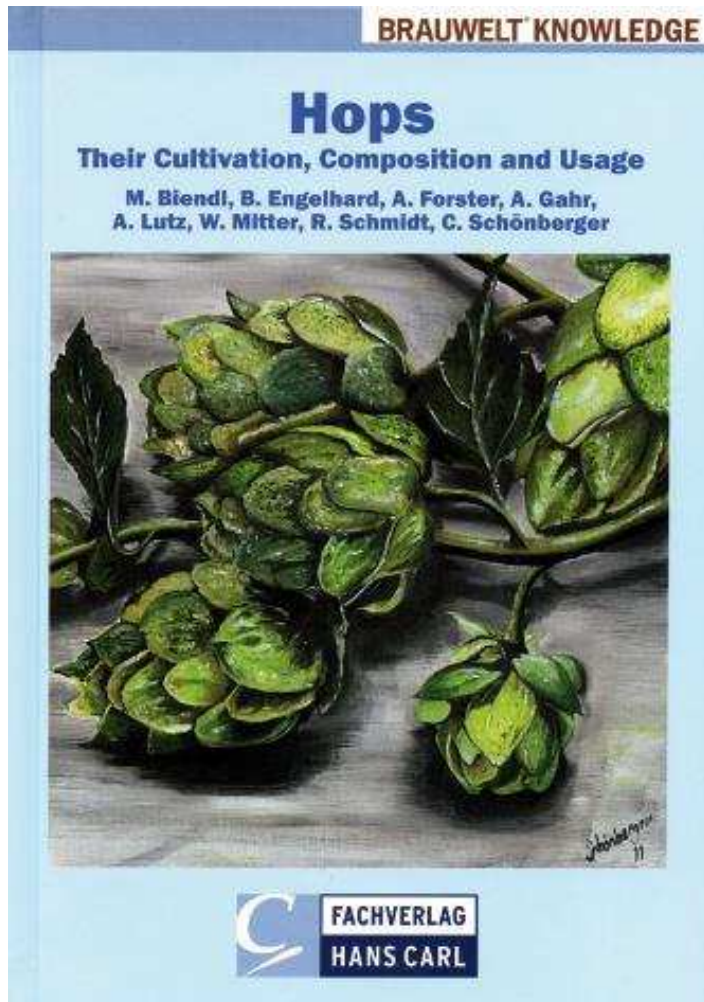


Resumo

- Cálculo de Dosagem de Lúpulo - Teoria
- Análises: $\alpha \neq \alpha$
- Escolha das metodologias de análise adequadas
 - IBU/EBC 7.5 é mais relevante na prática
 - HPLC Cerveja/HPLC Lúpulo é mais preciso
- Fatores que influenciam os rendimentos de amargor na cervejaria
- Informações gerais
- Cálculo de uma dosagem de lúpulo dividido em 3 partes com exemplo prático

Literatura

- A maior parte dos dados foi retirada deste livro:



Contato:

HVG eG

Dr. Florian Schüll

f.schuell@hvg-germany.de

Hopfenveredlung St. Johann GmbH

Andreas Gahr

andreas.gahr@hopfenveredlung.de