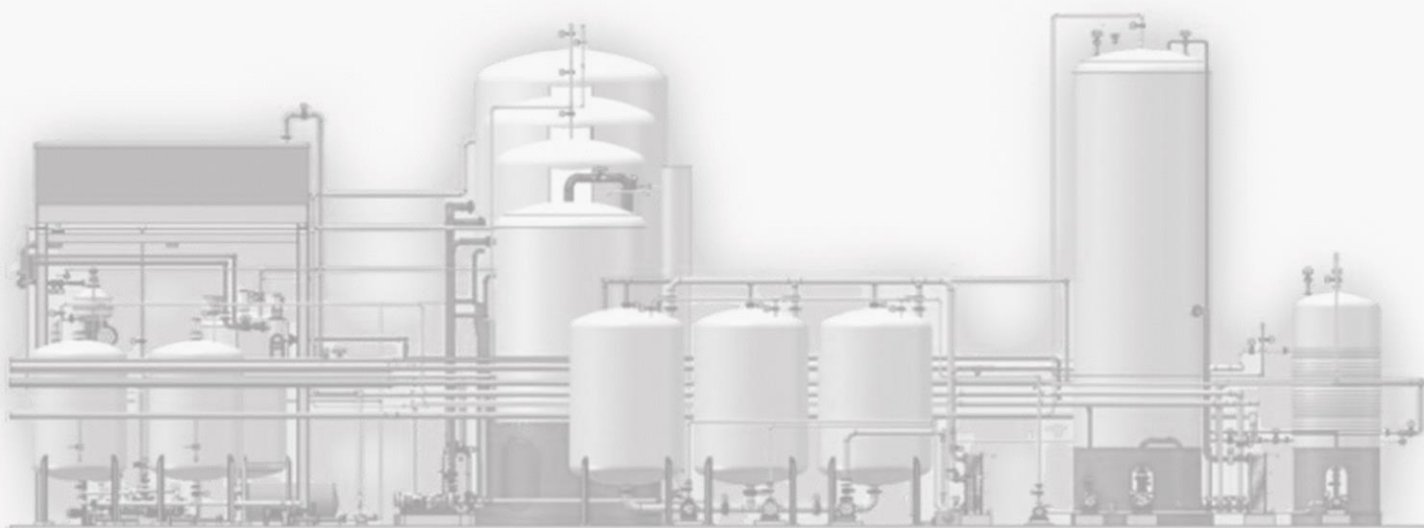




Andrietta
Soluções em Bioprocessos

PARTICULARIDADES DE UM PROCESSO COM RECICLO DE CÉLULAS

TEXTO TÉCNICO



Dr. Silvio Roberto Andrietta

FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

PARTICULARIDADE DOS PROCESSO FERMENTATIVOS COM RECICLO DE CÉLULAS

Os processos fermentativos das destilarias brasileiras de produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar apresentam características únicas quando comparados a outros processos fermentativos industriais. Trata-se, em sua maioria, de processos operados em batelada alimentada ou de forma contínua, não sanitários, com reciclo de células, utilizando uma matéria-prima altamente variável e suscetível à deterioração.

Processos com características tão distintas exigem, necessariamente, cuidados específicos e uma abordagem diferenciada de controle operacional, que não pode ser simplesmente extrapolada de processos fermentativos sanitários ou de ciclo único.

O uso do reciclo de células em fermentações alcoólicas teve início na década de 1930, em fermentações de melaço de beterraba na França, com o desenvolvimento do processo Melle-Boinot. No Brasil, essa tecnologia começou a ser adotada nos anos 1960 e consolidou-se como padrão nas novas destilarias implantadas a partir do PROALCO, na década de 1970, substituindo gradualmente os processos de ciclo único e os processos de cortes.

O reaproveitamento das células após sua separação do vinho fermentado permite operar com altas densidades celulares, reduzindo o tempo de fermentação e, consequentemente, aumentando a produtividade volumétrica. Essa estratégia, viabilizada pela ausência de sólidos insolúveis no mosto, torna o processo brasileiro singular, com vantagens evidentes, mas também com limitações importantes.

Apesar do ganho de produtividade, o reciclo de células em processos não sanitários dificulta a manutenção de uma única linhagem de levedura dominante ao longo do tempo. Na prática, observa-se uma dinâmica populacional contínua, cuja intensidade varia de uma unidade para outra, em função das condições operacionais adotadas. A linhagem dominante em um determinado período da safra tende a ser aquela mais apta às condições momentâneas do processo, e não necessariamente a linhagem originalmente inoculada.

Como as condições operacionais se alteram ao longo da safra, seja por variações na qualidade da matéria-prima, seja por ajustes operacionais, e como diferentes linhagens de levedura são introduzidas continuamente via matéria-prima, é esperado que ocorram mudanças sucessivas na linhagem dominante, cada uma com características fisiológicas distintas. Em unidades com baixa estabilidade operacional, essa dinâmica populacional torna-se ainda mais intensa, com alternâncias frequentes entre linhagens dominantes.

Nesse contexto, torna-se praticamente impossível dispor de uma linhagem de levedura que se adapte satisfatoriamente a todas as condições operacionais de uma unidade ao longo de toda a safra. Mesmo linhagens isoladas do próprio processo ou desenvolvidas em laboratório não garantem dominância prolongada. Assim, ganhos de desempenho baseados exclusivamente na utilização de linhagens de alta performance são, em geral, mais difíceis de serem obtidos em processos com reciclo de células do que em processos de ciclo único, como aqueles empregados na fermentação de hidrolisados de milho.

O reciclo de células também exerce forte influência sobre o nível de contaminação do processo. Como se trata de um processo não sanitário, além das leveduras, bactérias estão naturalmente presentes no mosto e são igualmente recicladas juntamente com o creme de levedura após a separação do vinho fermentado. Dessa forma, os níveis absolutos de contaminação bacteriana observados em processos com reciclo de células são significativamente mais elevados do que aqueles encontrados em processos de ciclo único, nos quais a concentração de leveduras é tipicamente ao menos 30 vezes menor.

Por esse motivo, a avaliação da contaminação não deve se basear apenas na concentração absoluta de bactérias, mas sim na relação entre a população bacteriana e a população de leveduras. Em processos com reciclo de células, o controle da contaminação deve ser encarado sob outra perspectiva, priorizando a manutenção da vitalidade das células de levedura, uma vez que estas serão reutilizadas em múltiplos ciclos fermentativos.

Uma dorna de fermentação pode ser entendida como um ecossistema microbiológico, no qual se estabelece um ponto de equilíbrio entre os microrganismos presentes. Considerando que a levedura é o microrganismo de interesse, esse equilíbrio tende a ser rompido sempre que sua vitalidade diminui, permitindo que bactérias oportunistas se proliferem. Dessa forma, um processo

saudável é alcançado, prioritariamente, pelo fortalecimento fisiológico das leveduras, e não apenas pela eliminação das bactérias. O uso excessivo de agentes antimicrobianos de largo espectro, especialmente substâncias oxidantes, pode, paradoxalmente, enfraquecer as leveduras e favorecer o aumento da contaminação bacteriana.

A manutenção da vitalidade das leveduras é, portanto, um elemento central nos processos com reciclo de células. Entre as principais ferramentas disponíveis destaca-se o tratamento ácido, etapa na qual o creme de levedura proveniente das centrífugas é diluído e acidificado. A adição de água de boa qualidade promove a incorporação de pequenas quantidades de oxigênio, essenciais para a síntese de componentes da membrana celular, como os esteróis, fundamentais para a regeneração celular.

Embora parte desses compostos seja proveniente da lise de células menos aptas, uma fração precisa ser sintetizada para compensar as perdas associadas à centrifugação. Além disso, a acidificação ajusta o pH de fermentação para valores em torno de 4,0 a 4,5, reduzindo a taxa de crescimento de bactérias produtoras de ácidos, cujo pH ótimo situa-se acima de 5,0.

Outro aspecto relevante é a concentração celular do creme de levedura à saída das centrífugas. Concentrações mais elevadas reduzem o retorno de vinho aos tanques de tratamento ácido, diminuindo o reciclo de substâncias inibidoras e permitindo maior diluição com água, o que favorece ainda mais a regeneração celular.

Como o etanol é um metabólito primário, sua produção está diretamente associada ao crescimento celular em anaerobiose. Assim, em processos com reciclo de células, ocorre acúmulo de biomassa sempre que a taxa de morte somada às perdas físicas for inferior à massa celular produzida. Considerando que as principais perdas estão associadas à centrifugação e à lavagem das dornas, fatores relativamente controláveis, o excedente de células passa a ser, fundamentalmente, uma função da taxa de morte celular, a qual depende fortemente das condições de processo.

Dessa forma, não é possível aumentar ou reduzir deliberadamente a produção de biomassa durante a fermentação apenas por ajustes operacionais, sendo necessária a adição de oxigênio para alterar significativamente o rendimento celular. Somente a introdução controlada de oxigênio permite o desvio parcial ou total do metabolismo para a via respiratória, aumentando a produção de biomassa e reduzindo a formação de etanol. Nos processos industriais brasileiros com reciclo de células, a

produção de biomassa ocorre essencialmente em anaerobiose, de modo que não há perda significativa de rendimento alcoólico associada ao acúmulo de células. Um excesso de biomassa, nesses casos, é indicativo de um processo mais saudável, com baixa taxa de morte celular, e não de superprodução celular.

O sistema de separação sólido-líquido exerce papel crucial na saúde do processo, pois influencia diretamente a quantidade de substâncias tóxicas recicladas com o creme de levedura. Concentrações elevadas de células no creme são desejáveis, e a floculação das leveduras representa um dos principais desafios operacionais. A formação de flocos favorece a decantação, gera gradientes de concentração nas dornas e prejudica o desempenho das centrífugas, aumentando o retorno de vinho ao processo.

Para mitigar esse problema, as dornas devem dispor de sistemas adequados de agitação e, em processos batelada, recomenda-se a utilização de tanques pulmão de vinho bruto bem homogêneos. Em casos severos de floculação, pode ser necessária a adoção de sistemas de dupla centrifugação, embora essa estratégia implique maior consumo de água e aumento da demanda de vapor na destilação. O uso de mostos à base de melaço esgotado tende a intensificar a floculação, fenômeno associado a mecanismos de proteção celular induzidos pela presença de substâncias tóxicas, frequentemente formadas durante o processamento térmico dos açúcares na fabricação de açúcar.

Nas últimas décadas, houve um avanço significativo na tecnologia das instalações industriais de fermentação alcoólica no Brasil. Enquanto, nos anos 1980, uma destilaria autônoma apresentava eficiências industriais médias da ordem de 78%, atualmente é possível atingir valores superiores a 86,5%, dependendo do nível tecnológico empregado. Em muitas unidades modernas, o processo já se encontra próximo do limite tecnológico, exigindo investimentos elevados para ganhos marginais de desempenho.

Entretanto, um aspecto ainda pouco explorado é a estabilidade operacional, que atualmente representa o principal fator limitante do desempenho das fermentações com reciclo de células. Essa instabilidade decorre, em parte, da irregularidade no fornecimento de cana-de-açúcar, mas também da ausência de padronização rigorosa na condução do processo fermentativo. A estabilização

operacional surge, portanto, como a estratégia de melhor relação custo-benefício para a melhoria do desempenho global das plantas de fermentação alcoólica.