Nova Geração Secador Inteligente de Grãos com Intervalo Estendido entre Limpezas: Secagem Multizona, Aspiração Contínua de Impurezas e Controle Inteligente Integrado do Processo

JOAO LUIZ FAVERO JUNIOR

Crivum EA78 · DOI 10.67665/crivum.n9m8zyka · publicada em 13/09/2026

01. Nova Geração Secador Inteligente de Grãos com Intervalo Estendido entre Limpezas: Secagem Multizona,

Aspiração Contínua de Impurezas e Controle Inteligente Integrado do Processo Agriaço Metalúrgica Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação -PDI Uma nova arquitetura de secagem orientada à disponibilidade operacional, eficiência energética e controle da qualidade do processo.

Figura 1

Figura 2

Figura 3

Figura 4

02. Secador Inteligente de Grãos com Intervalo Estendido entre Limpezas: Secagem Multizona, Aspiração

Figura 5

Figura 6

Figura 7

Figura 8

Figura 9

Figura 10

Contínua de Impurezas e Controle Inteligente Integrado do Processo Desenvolvimento de uma nova arquitetura de secagem para ampliar a disponibilidade operacional, otimizar o uso da energia térmica e preservar a qualidade de grãos e sementes O desenvolvimento propõe substituir a lógica convencional de secagem baseada em condição térmica predominantemente uniforme e intervenções periódicas de limpeza por uma arquitetura integrada que combina secagem térmica multizona, remoção contínua de impurezas na entrada e saída, e monitoramento inteligente do processo.

A solução estabelece como meta tecnológica ampliar de aproximadamente 110 para até 320 horaso intervalo entre intervenções programadas de limpeza, além de gerar uma redução do consumo específico de energia e a preservação da qualidade física e fisiológica do produto por meio da aplicação de condições térmicas diferenciadas ao longo da torre.

Os valores de 320 horas e os ganhos energéticos e qualitativos constituem metas de desenvolvimento e hipóteses a serem validadas.

Aspiração Aspiração

03. Da experiência em processamento de grãos para uma nova geração

de secadores A Agriaço Metalúrgica atua no desenvolvimento e fabricação de Maquina de Limpeza, destinados ao processamento e beneficiamento de produtos agrícolas.

A Agriaço Metalúrgicaatua no desenvolvimento e fabricação de equipamentos destinados ao processamento de grãos, reunindo competências de engenharia mecânica, desenvolvimento de produto, fabricação, automação e aplicação de equipamentos em unidades armazenadoras.

A experiência acumulada no desenvolvimento de máquinas de limpeza de grãos e sistemas de aspiraçãopermitiu identificar oportunidades para aplicação desse conhecimento em outra etapa crítica do póscolheita: a secagem.

O novo projeto nasce da integração entre conhecimento já adquirido em movimentação, limpeza e aspiração de grãos e novos desenvolvimentos relacionados à engenharia térmica, instrumentação, combustão, visão computacional e controle de processo.

O projeto não parte apenas de uma ideia conceitual: utiliza conhecimento tecnológico acumulado pela Agriaço em equipamentos e subsistemas já aplicados ao processamento de grãos.

Figura 11

Figura 12

Figura 13

Figura 14

Durante a safra, os secadores podem operar continuamente por longos períodos.

Impurezas leves, palhas, pó e fragmentos vegetais transportados juntamente com os grãos, mesmo após uma préLimpeza, podem contribuir para acúmulos em regiões internas do equipamento, exigindo intervenções periódicas de inspeção e limpeza.

No cenário operacional adotado como referência para o desenvolvimento, considera-se uma intervenção aproximadamente a cada:

110 horas de operação -atualmente exigido pelos fabricantes de secadores No cenário operacional acompanhado na Cooperativa Cotrirosa, foi observado um intervalo de referência de aproximadamente 110 horas de operação entre intervenções de limpeza. Manuais técnicos de diferentes fabricantes também estabelecem rotinas periódicas de inspeção e limpeza, com frequências que variam conforme tecnologia, configuração do equipamento, produto e condições operacionais.

A intervenção implica parada total do processo de secagem.

Não se trata simplesmente de redução da eficiência instantânea do equipamento.

Trata-se de perda de DISPONIBILIDADE OPERACIONAL.

04. O DESAFIO

Paradas a cada 110hs para limpeza

Figura 15

Figura 16

Figura 17

05. QUANTO CUSTA UMA PARADA?

Uma limpeza não representa somente o tempo de limpar

Evidência de campo — Cooperativa Cotrirosa

Tempos utilizados no cenário de referência foram obtidos a partir do acompanhamento e cronometragem de uma intervenção real de limpeza realizada em secador instalado na unidade da Cooperativa Cotrirosa.

RASTREABILIDADE DO LEVANTAMENTO

Empresa: Cooperativa Tritícola Santa Rosa Ltda. — Cotrirosa Unidade: Santa Rosa/RS Safra: Soja 2025/2026 Data do acompanhamento: 12/04/2026 Equipamento acompanhado: Secador de grãos CONSILOS Número de intervenções cronometradas: n = 1 Responsável pelo acompanhamento e cronometragem: Gerente de Grãos da unidade — Sr. M. B.

Condição: acompanhamento da operação durante procedimento real de parada e limpeza do secador.

Durante a operação do secador convencional foram acompanhadas e cronometradas as principais

etapas necessárias para realização da limpeza

Etapa Tempo considerado Descarga1 h Resfriamento4 h Limpeza2 h Recarga1 h Reaquecimento/retomada2 h Indisponibilidade total10 h Ciclo de referência:

110 h operando + 10 h parado = 120 h

Disponibilidade operacional de referência:

110 / (110 + 10) x 100 = 91,67%

No cenário operacional acompanhado, foi utilizado como referência um intervalo aproximado de 110 h de operação entre intervenções.

Assim, aproximadamente 8,33% do ciclo operacional considerado corresponde à indisponibilidade associada à intervenção de limpeza e retomada do processo.

Fonte dos dados: acompanhamento/cronometragem de operação em unidade armazenadora da Cooperativa Cotrirosa.

Av. Expedicionário Weber, 3086 - Cruzeiro, Santa Rosa - RS, 98900-000 Cooperativa Triticola Santa Rosa LTDA

Safra de medição: Soja - safra 2025 / 2026

Figura 18

Figura 19

Figura 20

05. DO CAMPO AO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

A oportunidade de inovação surgiu da combinação de evidência operacional de campo + referências técnicas de fabricantes + experiência de engenharia em processamento de grãos.

MANUAIS DE FABRICANTES

- Confirmam necessidade de inspeção e limpeza periódica (Referências técnicas: Kepler Weber, Manual do Proprietário - Secadores KW ADS; Sukup Manufacturing, Tower Dryer Manual; Mathews Company, Tower Series/ECO Series Operations Manual; Brock Grain Systems, SUPERB Energy Miser SQ Series Owner/Operator Manual.

OBSERVAÇÃO DE CAMPO — COTRIROSA

- Cronometragem das etapas e identificação da indisponibilidade operacional

PROBLEMA IDENTIFICADO

- Acúmulo de materiais -> necessidade de intervenção -> parada do processo

HIPÓTESE TECNOLÓGICA

- Remover continuamente parte das impurezas antes que se acumulem em regiões críticas

DESENVOLVIMENTO AGRIAÇO

- Aspiração contínua + secagem multizona + instrumentação e controle inteligente

META EXPERIMENTAL

- Investigar a possibilidade de ampliar o intervalo operacional de aproximadamente 110 h para até 320 h

A necessidade de limpeza periódica não é particular de uma única instalação. Manuais de diferentes fabricantes de secadores estabelecem inspeções e rotinas de remoção de pó, finos e resíduos, com frequências que variam conforme tecnologia, produto e condição operacional. Os documentos também relacionam o acúmulo de material à redução do fluxo de ar, perda de capacidade/desempenho e aspectos de segurança operacional

06. IMPACTO NA SAFRA -LIMPAR SECADOR A CADA 110hs

Indisponibilidade do secador pode limitar o recebimento da unidade Indisponibilidade do secador pode limitar o recebimento da unidade Exemplo de instalação considerada:

Secador 1:125 t/h Secador 2:120 t/h Capacidade conjunta = 245 t/h -19% para 14% de umidade.

Considerando 720 horas de período operacional:

A cada 110hs trabalhadas paramos 10hs para atender o processo 10/120 X 100 = 8,33% 6 ciclos x10 h de parada = 60 h indisponíveis Potencial de capacidade de secagem não utilizada:

245t/h X 60h = 14.700toneladas Equivalente a:

Deixou de secar 14.700 ton/ 60kg = 245.000 sacas a menos Importante:trata-se de capacidade potencial não utilizada no cenário calculado, considerando existência de demanda suficiente durante o período.

O equipamento apresenta aproximadamente 91,7% de disponibilidade operacional nesse cenário de referência, com cerca de 8,3% do tempo total comprometido por intervenções programadas de limpeza.

07. A PERGUNTA QUE ORIGINOU O PROJETO

Uma máquina que observa, interpreta e controla E se atuássemos sobre a causa do acúmulo durante a própria operação?

Em vez de simplesmente:

OPERAR -> ACUMULAR -> PARAR -> LIMPAR -> REINICIAR A proposta é investigar:

OPERAR -> REMOVER CONTINUAMENTE -> MONITORAR -> CONTROLAR -> PROLONGAR O CICLO Hipótese A remoção contínua de partículas leves em pontos estratégicos poderá reduzir o acúmulo interno e ampliar significativamente o período operacional entre intervenções de limpeza.

MODELO DECK • CASE ANPEI • Substituir placeholders pelas evidências do projeto

08. INOVADOR-A SOLUÇÃO

Uma nova arquitetura integrada de secagem O projeto desenvolvido pela Agriaço combina três pilares tecnológicos:

01 —ASPIRAÇÃO CONTÍNUA

Remoção de impurezas leves durante a operação.

02 —SECAGEM MULTIZONA

Diferentes condições térmicas ao longo da torre.

03 —CONTROLE INTELIGENTE

Sensores e aquisição de dados para compreender e controlar o processo.

Objetivo Maior disponibilidade + melhor utilização da energia + maior controle sobre a condição do produto

08. INOVAÇÃO 1

Da engenharia mecânica à inteligência aplicada à Secadores Aspiração contínua de impurezas O conceito prevê câmaras de aspiração posicionadas em regiões estratégicas, incluindo a entrada e a região de descarga do produto.

O fluxo de ar busca separar continuamente materiais de menor densidade aerodinâmica, como:

palhas + pó + fragmentos vegetais + partículas leves A proposta é retirar parte desses materiais antes que contribuam para depósitos internos.

Mudança de conceito Convencional Acumular -> parar -> limpar Proposto Remover continuamente -> reduzir acúmulo -> prolongar intervalo entre intervenções

09. META TECNOLÓGICA: AMPLIAR O INTERVALO ENTRE LIMPEZAS

Cenário de referência de campo 110 h operação + 10 h intervenção

120 h/ciclo

Disponibilidade = 91,67%

Nova arquitetura proposta

Aspiração contínua de impurezas - Redução do material que ingressa e/ou permanece em regiões críticas - Menor taxa esperada de acúmulo interno - Possibilidade de aumento do intervalo entre intervenções

Meta 110 h para uma meta de até 320 h Referência 110 h operação + 10 h parada Disponibilidade: 91,67% Meta tecnológica 320 h operação + 10 h parada Disponibilidade projetada:

Indisponibilidade proporcional:

8,33% -> 3,03% Potencial redução relativa ~ 64% do tempo proporcional de indisponibilidade associado às intervenções consideradas.

320 horas constitui uma meta tecnológica a ser validada experimentalmente, e não um resultado já comprovado.

O ganho não é simplesmente “5,3% de eficiência”. É um ganho de aproximadamente 5,3 pontos percentuais de disponibilidade.

10. O SEGUNDO PROBLEMA

Secar não significa simplesmente fornecer mais temperatura O grão é um material higroscópico.

Durante a secagem ocorre simultaneamente:

transferência de calor -> migração interna da água -> evaporação -> transferência de massa para o ar A condição do produto também se altera continuamente ao percorrer a torre.

Portanto:

A necessidade térmica no início do processo não necessariamente é a mesma no final.

11. INOVAÇÃO 2

Secagem térmica multizona A torre é concebida com zonas de secagem capazes de trabalhar com condições térmicas distintas.

ZONA 1

Produto em condição inicial de maior umidade.

Controle da energia térmica fornecida conforme a condição inicial do produto.

ZONA 2

Produto já submetido à primeira etapa de remoção de água.

Aplicação de condição térmica compatível com o estágio subsequente de secagem.

Objetivo Fornecer energia de acordo com a necessidade de cada estágio do processo, evitando exposição térmica desnecessária.

12. O QUE QUEREMOS RETIRAR?

Água -Não qualidade de forma simplificada M total = M matériaseca + M água O objetivo da secagem é atingir o teor de água adequado ao processamento e armazenamento preservando, tanto quanto possível, os constituintes da matéria seca e a integridade do produto.

Quando tratamos de sementes, existe uma exigência adicional:

Preservar sua qualidade fisiológica Germinação + Vigor + Integridade Portanto, o desenvolvimento não pretende avaliar apenas: “Quanto secou?”

Mas também:

“Como o produto chegou ao final da secagem?”

13.INOVAÇÃO 3

O quadro inteligente integra informações provenientes de diferentes regiões do equipamento.

O secador passa a enxergar o próprio processo

ZONA 1

Temperatura do ar quente Temperatura da massa de grãos

ZONA 2

Temperatura do ar quente Temperatura da massa de grãos

EXAUSTÃO

Temperatura/umidade do ar

FORNALHA

Variáveis da combustão CO- Imagem das emissões visíveis Isso permite construir uma visão integrada do processo.

A arquitetura busca correlacionar:

AR DE ENTRADA

MASSA DE GRÃOS

TRANSFERÊNCIA DE CALOR E ÁGUA

AR DE EXAUSTÃO

SENSORES

DECISÃO DE CONTROLE

14. O QUE JÁ EXISTE E O QUE AINDA PRECISA SER PROVADO

O desafio não é simplesmente juntar componentes

CONHECIMENTO E SUBSISTEMAS EXISTENTES

-Experiência da Agriaço em limpeza de grãos -Sistemas de aspiração aplicados a máquinas de limpeza -Conhecimento de processamento e movimentação de grãos -Desenvolvimento de engenharia e automação -Componentes/princípios tecnológicos previamente utilizados

EM DESENVOLVIMENTO

-Arquitetura do novo secador -Projeto mecânico -Integração dos sistemas -Estratégia de controle -Propriedade intelectual/patente em desenvolvimento

A VALIDAR

-Protótipo integrado -Intervalo de até 320 h -Consumo energético -Perfil térmico ideal -Qualidade do produto -Comportamento da combustão -Desempenho em diferentes culturas

15. COMO SERÁ VALIDADO?

A inovação precisa ser mensurável O protótipo deverá permitir comparar uma configuração de referência com a nova arquitetura.

Disponibilidade Horas entre intervenções Tempo total de parada Produtividade t/h processadas Secagem Umidade inicial xfinal kg de água removida Energia kg de biomassa/t MJ/kg de água removida Processo Temperaturas Umidade do ar Condições da massa Qualidade Integridade física Germinação e vigor, quando aplicável Aspiração Quantidade de impurezas removidas Acúmulos internos após o período de operação

16. OQUE JÁ POSSUI EVIDÊNCIAS X O QUE SERÁ VALIDADO

Evidências disponíveis

- Necessidade de limpeza periódica documentada em manuais técnicos de secadores.

- Existência de recomendações de limpeza da torre em intervalos da ordem de 100 h, variando conforme configuração e fabricante.

- Acompanhamento operacional em unidade da Cooperativa Cotrirosa.

- Cronometragem das etapas associadas à intervenção de limpeza.

- Aproximadamente 10 h de indisponibilidade no cenário acompanhado.

- Intervalo operacional de referência próximo de 110 h no caso analisado.

- Conhecimento e aplicação prévia de princípios de aspiração no processamento de grãos pela Agriaço.

Em desenvolvimento / ainda a validar

-> Secador integrado com a nova arquitetura.

-> Taxa de redução do acúmulo interno.

-> Intervalo operacional de até 320 h.

-> Ganho efetivo de disponibilidade.

-> Consumo específico de energia.

-> Desempenho da secagem multizona.

-> Preservação da qualidade de grãos e sementes.

-> Estratégia de controle inteligente.

17. REFERÊNCIAS TÉCNICAS E ESTADO DA ARTE

A necessidade de inspeção, remoção de resíduos e limpeza periódica é documentada por diferentes fabricantes de secadores de grãos.

Os manuais consultados demonstram que pó, palhas, finos e outros materiais podem se acumular em regiões do secador, tornando necessárias rotinas de inspeção, limpeza e manutenção. A frequência dessas intervenções varia conforme a tecnologia do equipamento, produto processado e condições de operação.

MANUAIS TÉCNICOS CONSULTADOS

KEPLER WEBER INDUSTRIAL S.A.

Manual do Proprietário — Secadores KW ADS.

EIMAN 806 — Automatic Drying System.

Referência utilizada para caracterização técnica dos secadores KW ADS e das práticas de operação/manutenção. (pagina 37 - seção 2.3 / pagina 48 - seção 6.2 — Torre de Secagem)

COMIL SILOS E SECADORES. Manual de Operação e Manutenção - Secadores de Coluna CM 40, 60, 80, 100, 125 e 150 DR. Código 057699, versão 06/2011.

p. 17 - Limpeza do equipamento: recomenda limpezas periódicas conforme utilização, sugerindo que o período não ultrapasse 2 dias.

pp. 31-32 - Prevenção de incêndios: relaciona excesso de impurezas e negligência na limpeza ao acúmulo de resíduos no secador.

p. 36 - Manutenção: estabelece, em condições normais, limpeza diária das câmaras de ar e limpeza da torre de secagem a cada 3 dias.

CONSILOS INDUSTRIAL LTDA. Manual de Operação - Secadores Standard - Atualizado. Seção 6 - Limpeza do Secador, pp. 16-17; Seção 6.2 - Torre de Secagem, p. 17.

O fabricante estabelece limpeza periódica da torre, indicando 100 horas de operação para secadores de cavaletes e 5 dias de operação para secadores de coluna, mediante descarga completa da torre. O manual também determina limpeza periódica do sistema de retenção de partículas.

MATHEWS COMPANY.

ECO Series — Operations Manual.

Referência sobre operação,Manual. DOC-T01-0219, 2019. Maintenance - Seasonal Cleaning, pp. 80-81.

O fabricante recomenda limpeza diária durante a safra e relaciona o acúmulo de finos e pó à redução do fluxo de ar, diminuição da capacidade de secagem, aumento do custo operacional e aspectos de segurança.

BROCK GRAIN SYSTEMS. SUPERB® Energy Miser® SQ Series Grain Dryers — Owner/Operator Manual. MFH1932M, 2022. Preventive Maintenance Schedule, p. 101.

O fabricante estabelece limpeza diária de materiais acumulados e parada do secador para limpeza duas vezes por semana, incluindo inspeção e remoção de pó, palhas e finos das regiões internas. Também prevê descarga completa e limpeza periódica do equipamento

EVIDÊNCIA DE CAMPO

COOPERATIVA TRITÍCOLA SANTA ROSA LTDA. — COTRIROSA

Unidade de Santa Rosa/RS — Safra de soja 2025/2026.

Acompanhamento operacional e cronometragem das etapas relacionadas à intervenção de limpeza do secador utilizado como referência no desenvolvimento.

Intervalo operacional observado: aproximadamente 110 h.

Tempo total de indisponibilidade considerado por intervenção: aproximadamente 10 h.

18. ENCERRAMENTO

Secador Inteligente de Grãos com Intervalo Estendido entre Limpezas Não se trata apenas de secar mais Trata-se de entender quando, como e quanto secar, enquanto o equipamento permanece disponível por mais tempo.

Plano de validação experimental e critérios de comparação

A validação será estruturada comparando uma configuração de referência com a nova arquitetura proposta, buscando manter condições equivalentes de operação.

1. Condições de entrada

Registrar para cada ensaio:

cultura processada;

teor de água inicial;

teor de impurezas;

vazão de alimentação;

temperatura ambiente;

umidade relativa;

condições do lote

2. Acúmulo interno

Em intervalos definidos de operação:

inspeção padronizada das regiões críticas;

registro fotográfico comparativo;

identificação dos pontos de deposição;

coleta e pesagem do material acumulado, quando tecnicamente possível;

massa de impurezas removidas pelo sistema de aspiração.

3. Desempenho operacional

Medir:

horas efetivas de operação;

número de intervenções;

duração das paradas;

produtividade em t/h;

disponibilidade operacional.

4. Processo de secagem

Registrar:

umidade inicial e final;

temperatura do ar por zona;

temperatura da massa de grãos;

temperatura e umidade do ar de exaustão;

energia consumida;

MJ/kg de água removida.

5. Qualidade

Para grãos: integridade física e parâmetros de qualidade aplicáveis.

Para sementes: germinação e vigor, quando o produto processado tiver finalidade de semente.

Critério para avaliação da meta de 320 h: o aumento do intervalo somente será considerado tecnicamente atingido se o equipamento alcançar o período definido sem acúmulo interno que comprometa fluxo gerando super secagem ou sinistro com incêndio da massa, processo de secagem, qualidade do produto ou condições operacionais estabelecidas para o ensaio.

Agriaço Metalúrgica Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação -PDI

[conteúdo visual do documento] [página 1]

[página 2] Rótulos na figura:

- “Aspiração” - “Aspiração”

[página 3] Logotipo central: “AGRIAÇO” / “METALÚRGICA S. LTDA.”

[página 4]

[página 5]

Tabela visual:

| Etapa | Tempo considerado | |---|---|

| Descarga	**1 h |**
| Resfriamento	4 h |

Descarga	**1 h |**
Limpeza	2 h |
Recarga	1 h |
Reaquecimento/retomada	2 h |
Indisponibilidade total	10 h |

[página 6]

[página 7] Logotipo sobreposto: “AGRIAÇO” / “METALÚRGICA S. LTDA.”

[página 8]

[página 10]

[página 11]

[página 12]

[página 13] Fórmula em caixa: “M total = M matéria seca + M água”

[página 14]

[página 15]

[página 16]

[página 17]

[página 18