

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JOÃO VITOR MENEZES MARÇAL

**ESTUDO DE CASO: SELEÇÃO DE REVESTIMENTO
ANTIADERENTE PARA REDUÇÃO DE SETUP DO
TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO**

SÃO CARLOS – SP

2021

JOÃO VITOR MENEZES MARÇAL

ESTUDO DE CASO: SELEÇÃO DE REVESTIMENTO ANTIADERENTE PARA
REDUÇÃO DE SETUP NO TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos, para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Química

Orientador: Prof. Dr. Thiago Faggion Pádua

São Carlos – SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa do Trabalho de conclusão de curso do aluno João Vitor Menezes Marçal, realizada em 16/11/2021:

Prof. Dr. Thiago Faggion Pádua
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Rodrigo Béttega
Universidade Federal de São Carlos

Eng. Renato Lira dos Santos
Bayer

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos fornecedores que proveram os corpos de prova para realização dos experimentos.

Agradeço a Bayer que contribuiu com materiais, equipamentos e software para o desenvolvimento deste trabalho. Não houve potenciais conflitos de interesse.

Agradeço ao meu orientador Prof. Thiago Faggion de Pádua pela paciência, empatia, ensinamentos e dedicação durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional e serão lembrados para sempre.

Agradeço ao Renato por confiar a mim à condução deste trabalho que alguns julgavam não valer a pena.

Agradeço ao time operacional e mecânico por auxiliar na realização dos ensaios. Sem eles não seria possível alcançar resultados.

Agradeço a todos os amigos que fiz em São Carlos, em especial ao Iuri e Arthur que foram meus pilares durante minha estadia na cidade.

Agradeço ao meu pai, Marco, minha mãe, Evanice, e minha irmã, Andressa, por não medirem esforços para me apoiar.

Agradeço a minha noiva Gabrielly, que por muitas vezes, foi calma em meio à tempestade. Minha parceira e amiga para todas as horas.

Agradeço a Deus por me amar incondicionalmente a ponto de dar a vida por mim.

“Aqueles que passam por nós, não vão
sós. Deixam um pouco de si, levam um
pouco de nós.”

- Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

O milho é o cereal mais produzido no mundo, sendo utilizado em larga escala para diversos fins. As sementes de milho passam por unidades de beneficiamento, sendo que, em uma das etapas do processo é aplicado um tratamento para protegê-las de insetos, microrganismos, entre outros. Nesse sentido, o tratamento industrial a base de polímero tem sido cada vez mais utilizado para aumentar a durabilidade e a plantabilidade das sementes. Contudo, devido às características desse tratamento, a calda utilizada incrusta na tampa do tratador ao longo do tempo, sendo necessário interromper a produção para removê-la. Esse *setup* é um gargalo do processo produtivo e é considerado um desperdício na filosofia da produção enxuta. Assim, o presente trabalho objetivou selecionar um revestimento antiaderente para reduzir o tempo de *setup* do setor. Nesse contexto, foram realizados ensaios comparativos de incrustação e limpeza de 7 corpos de prova revestidos com antiaderente e controle. Os resultados foram analisados estatisticamente, e indicaram que o revestimento Gentoo incrustou cerca de um terço a menos do que o aço e foi limpo dez vezes mais rápido. Além disso, na avaliação técnico-econômica, foi o único que apresentou rentabilidade superior a taxa mínima de atratividade, com uma taxa interna de retorno de 20,03% a.a. Portanto, embora haja incertezas quanto à sua durabilidade, o revestimento se mostrou promissor para ser aplicado na tampa do tratador e assim reduzir o tempo de *setup*. Como benefícios paralelos, esse investimento deve também reduzir a geração de resíduos e melhorar a ergonomia das atividades de operadores.

Palavras-chave: Milho; Tratamento; Incrustação; *Setup*; Antiaderente.

ABSTRACT

Corn is the most produced cereal in the world, being used on a large scale for various purposes. Corn seeds go through processing units, and in one of the stages of the process a treatment is applied to protect them from insects, microorganisms, among others. In this sense, the industrial polymer-based treatment has been increasingly used to increase the durability and make easier to cultivate seeds. However, due to the characteristics of this treatment, the solution used builds up on the lid of the treater over time, making it necessary to interrupt production to remove it. This setup is a bottleneck in the production process and is considered a waste in the lean manufacturing philosophy. Thus, the present work aimed to select a non-stick coating to reduce the sector's setup time. In this context, comparative tests of incrustation and cleaning of 7 specimens coated with non-stick and control were carried out. The results were analyzed statistically, and indicated that the Gentoo coating was one-third less encrusted than steel and cleaned ten times faster. Furthermore, in the technical-economic evaluation, it was the only one that showed profitability above the minimum attractiveness rate, with an internal rate of return of 20.03% p.y. Therefore, although there are uncertainties about its durability, the coating has shown promise to be applied on the treater's lid and thus reduce setup time. As side benefits, this investment should also reduce waste generation and improve the ergonomics of operator activities.

Palavras-chave: Corn; Treatment; Inlay; *Setup*; Nonstick.

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 - Fluxograma de unidade de beneficiamento de milho.....	18
Figura 2 - Representação esquemática do tratador	25
Figura 3 – Raspagem da tampa do tratador.....	25
Figura 4 - Esquema das reações possíveis em um fenômeno de incrustação. 26	
Figura 5 - Representação esquemática por adesão mecânica	27
Figura 6 - Representação esquemática da adesão eletrostática.....	28
Figura 7 - Representação esquemática de adesão por adsorção	28
Figura 8 - Representação esquemática da adesão por interdifusão	29
Figura 9 - Representação esquemática de ângulo de contato para materiais hidrofílicos e hidrofóbicos.....	30
Figura 10 - Corpos de prova padronizados.....	34
Figura 11 - Crostas coletadas de cada posição.	35
Figura 12 - Representação esquemática da fixação das placas na tampa.	36
Figura 13 - Corpos de prova incrustados.	36
Figura 14 – Validação das premissas da ANOVA para análise dos efeitos da posição na incrustação.....	41
Figura 15 - Intervalos de confiança simultâneos da média das incrustações por posição (95% de probabilidade).....	42
Figura 16 - Distribuições de probabilidades da incrustação de cada posição ..	43
Figura 17 - Percentil em função dos resíduos para validação teste t.....	45
Figura 18 - Validação das premissas da ANOVA para análise dos efeitos da incrustação nos corpos de prova.....	46
Figura 19 - Intervalos de confiança simultâneos da média das incrustações por corpo de prova (95% de probabilidade).	48
Figura 20 - Intervalos de confiança simultâneos das diferenças de médias das incrustações dos revestimentos em relação ao aço (95% de probabilidade)...	50
Figura 21 - Distribuições das incrustações nos corpos de provas com revestimentos de resultado similar ao controle	51
Figura 22 - Distribuições das incrustações nos corpos de provas com revestimentos de resultado diferente ao controle.....	51
Figura 23 - Requisitos teste de HSU para análise do efeito dos revestimentos no tempo de limpeza	54

Figura 24 - Intervalos de confiança simultâneos da média de limpeza por corpo de prova (95% de probabilidade).	55
Figura 25 - Intervalos de confiança simultâneos das diferenças de médias das limpezas dos revestimentos em relação ao aço (95% de probabilidade)	56
Figura 26 - Distribuições de probabilidades dos tempos de limpeza dos corpos de prova	57
Figura 27 - Intervalos de confiança simultâneos das diferenças de médias das limpezas dos revestimentos em relação ao menor (95% de probabilidade)	58
Figura 28 - Distribuições de probabilidade dos tempos de limpeza dos revestimentos com desempenho similar ao Gentoo.....	59
Figura 29 - Distribuições de probabilidade dos tempos de limpeza revestimento com desempenho distinto ao Gentoo	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Triplicatas da raspagem das posições da tampa.	40
Tabela 2 - Médias e intervalos de confiança simultâneos das posições.	42
Tabela 3 – Análise de variância dos efeitos da posição na incrustação.....	43
Tabela 4 - Triplicadas da calda injetada no ensaio de análise dos efeitos da posição e dos corpos de prova.....	44
Tabela 5 - Resultado teste T para análise do efeito da calda injetada em cada ensaio.....	45
Tabela 6 - Triplicatas da incrustação nos materiais em placas com antiaderente e no controle.....	46
Tabela 7 - Posição dos corpos de prova em cada ensaio	46
Tabela 8 - Médias e intervalos de confiança simultâneos dos corpos de prova.	47
Tabela 9 - Análise de variância da incrustação nos corpos de prova.....	48
Tabela 10 - Teste simultâneos de Dunnett para análise do efeito dos revestimentos na incrustação.....	49
Tabela 11 - Agrupamento do teste de Dunnett para análise do efeito dos revestimentos na incrustação.....	50
Tabela 12 - Classificação do nível de incrustação dos materiais	53
Tabela 13 - Triplicadas dos ensaios de remoção de crosta dos corpos de prova	53
Tabela 14 - Médias e intervalos de confiança simultâneos dos tempos de limpeza para cada corpo de prova.....	54
Tabela 15 - Análise de variância da limpeza nos corpos de prova.....	55
Tabela 16 - Teste simultâneos de Dunnett para análise do efeito dos revestimentos na limpeza.....	56
Tabela 17 – Testes simultâneos de Hsu para análise do efeito de limpeza dos revestimentos em relação ao “melhor”	58
Tabela 18 - Classificação da facilidade de limpeza dos materiais.....	60
Tabela 19 – Estimativa de quantidade de setup anual de cada revestimento..	61
Tabela 20 – Estimativa de duração de setup de cada revestimento	62
Tabela 21 – Tipos de custo de cada uma das alternativas de revestimento em UMR\$	62

Tabela 22 - Fluxo de caixa, VPL e TIR das alternativas de investimento em UMR\$	
.....	63

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do valor presente líquido (VPL).**Erro!** **Indicador não definido.**

Equação 2 - Cálculo da taxa interna de retorno (TIR).**Erro!** **Indicador não definido.**

Equação 3 - Cálculo do fluxo de caixa anual de referência (açó)**Erro!** **Indicador não definido.**

Equação 4 - Cálculo do fluxo de caixa anual de determinado revestimento **Erro!** **Indicador não definido.**

LISTA DE SIGLAS

ANOVA – Análise de Variância

CLP – Controlador Lógico Programável

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CS – *Cleaned and Sized* (Limpo e Classificado)

DS – *Dried and Shelled* (Debulhado e Seco)

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PA – Produto Acabado

RW – *Raw Wet* (Cru e Úmido)

TB – *Treated and Bagged* (Tratado e Embalado)

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

TSI – Tratamento de Sementes Industrial

UBS – Unidade de Beneficiamento de Sementes

UMR\$ - Unidade Monetária em relação ao Real

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS)	18
3.1.1 Recepção	18
3.1.2 Despalha e Seleção.....	18
3.1.3 Secagem	19
3.1.4 Debulha.....	19
3.1.5 Pré-Limpeza	20
3.1.6 Classificação	20
3.1.7 Limpeza	21
3.1.8 Tratamento.....	23
3.1.9 Ensaque e Paletização	23
3.2 Tratamento de Sementes	24
3.3 Incrustação, adesão e molhabilidade.....	26
3.3.1 Incrustação	26
3.3.2 Adesão	27
3.3.2.1 Adesão Mecânica.....	27
3.3.2.2 Adesão Eletrostática	28
3.3.2.3 Adesão por Adsorção	28
3.3.2.4 Adesão por interdifusão	29
3.3.3 Molhabilidade	29
3.4 Restrição, <i>setup</i> e produção enxuta.....	30
3.4.1 Teoria das Restrições.....	30
3.4.2 <i>Setup</i> e Produção Enxuta	31

4. METODOLOGIA	32
4.1 Revestimentos a serem avaliados	32
4.1.1 UHMW Ultra	32
4.1.2 UHMW 88-2.....	32
4.1.3 Teflon.....	33
4.1.4 Gentoo Coating	33
4.1.5 Testrong.....	33
4.2 Preparo dos corpos de prova	34
4.3 Ensaio para avaliar os efeitos de posição na incrustação ao redor da tampa	34
4.3.1 Análise estatística dos efeitos de posição na incrustação ao redor da tampa	35
4.4 Ensaio de incrustação com corpos de prova com antiaderentes.....	35
4.4.1 Análise estatística dos efeitos dos antiaderentes na incrustação	37
4.5 Ensaio de remoção da crosta dos corpos de prova com revestimento.....	37
4.5.1 Análise estatística dos efeitos dos antiaderentes no tempo de limpeza ...	37
4.6 Avaliação técnico-econômica das alternativas de investimento.....	38
4.6.1 Cálculos e premissas da análise de viabilidade do projeto	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Avaliação do efeito da posição na incrustação	40
5.2 Avaliação dos efeitos do antiaderente na incrustação	44
5.3 Avaliação do efeito do antiaderente na limpeza	53
5.4 Avaliação econômica do investimento.....	61
6. CONCLUSÃO	64
7. REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

O milho é o cereal mais produzido no mundo, cerca de 1 bilhão de toneladas por ano, sendo utilizado em larga escala na produção de proteína animal, na alimentação humana e na produção de biocombustíveis (CONTINI *et al.*, 2019; CONAB, 2016). O beneficiamento desse material se dá pelo conjunto de operações que visam aprimorar o lote de sementes para comercialização e semeadura (CARVALHO *et al.*; 2000).

Uma etapa crítica desse processo é o tratamento de sementes, que visa preservar o potencial genético das sementes ao máximo através da aplicação de defensivos, inoculantes, entre outros (MENTEN *et al.*; 2010). Nesse contexto, o tratamento de sementes industrial (TSI) se destaca por ser à base de polímero, o qual aumenta a durabilidade do tratamento e melhora o escoamento nas semeadoras (BAYER, 2019). Portanto, diante do cenário de alta demanda do mercado de milho, o TSI tem sido cada vez mais utilizado.

Contudo, pelas características deste tratamento, durante o processo produtivo a calda aplicada forma uma crosta na tampa do tratador que, caso não seja retirada, pode prejudicar a qualidade do tratamento ao obstruir a dosagem dos ingredientes da calda. Assim, é necessário que a linha seja parada para que a raspagem da crosta seja realizada antes de retomar a produção. Esse tempo entre a manufatura cessar até o primeiro produto bom do lote seguinte é compreendido como tempo de *setup* (SATOLO *et al.*; 2008).

O tempo de *setup* restringe a capacidade produtiva, pois impede o fluxo de material e restringe o processo (TUBINO, 2009). O tempo de espera é um dos oito desperdícios da produção enxuta que devem ser reduzidos para aumento de produtividade (SHINGO, 1996). Uma alternativa para reduzir a incrustação é utilizar revestimento antiaderente, que possuiria baixa energia de superfície e reduzida rugosidade superficial (ZHANG *et al.*, 2002; CRITCHLOW *et al.*, 2006), evitando ou mitigando a aderência da calda. Portanto, o presente trabalho objetivou reduzir o tempo de *setup* durante o tratamento de sementes por meio da aplicação de revestimento antiaderente na tampa do tratador.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho foi selecionar um revestimento antiaderente para reduzir o tempo de *setup* no setor de tratamento e, conseqüentemente, aumentar a produtividade. Para isso foi necessário:

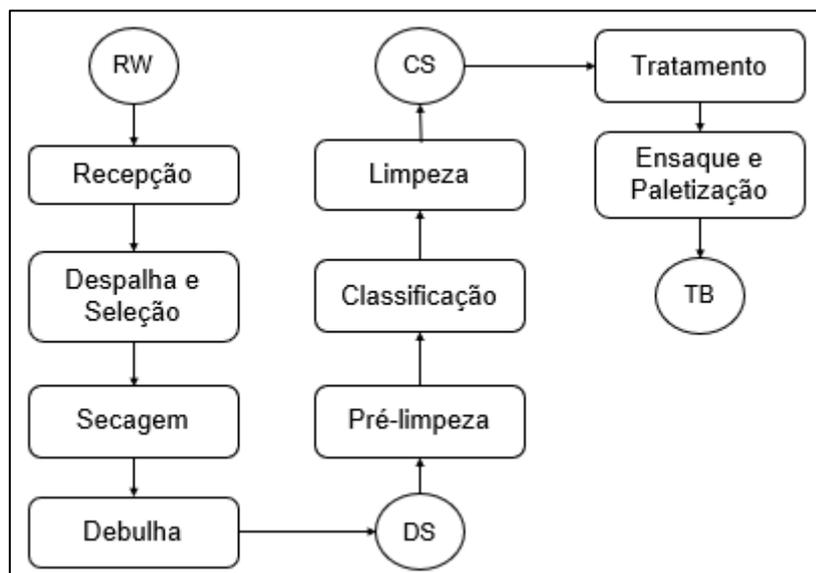
- encontrar evidências para avaliar se as posições em que se fixaram os corpos de prova para realização dos ensaios para comparação entre os antiaderentes e controle influenciavam nas conclusões;
- fixar os corpos de prova com revestimento e controle na tampa do tratador industrial para avaliar o nível de incrustação de cada revestimento e comparar com o controle;
- avaliar o tempo de limpeza dos revestimentos incrustados em relação ao material da tampa, preferencialmente com jato de ar comprimido;
- realizar uma avaliação técnica-econômica de cada alternativa de investimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS)

O beneficiamento de sementes é o conjunto de operações realizada após o recebimento das sementes na UBS que visa maximizar a qualidade de um lote através da uniformização e tratamento da semente, além da eliminação de impurezas (CARVALHO *et al.*, 2000). A Figura 1 mostra uma representação esquemática desse processo produtivo.

Figura 1 - Fluxograma de unidade de beneficiamento de milho.



Fonte: Autor (2021).

3.1.1 Recepção

As espigas recém-colhidas, provenientes dos campos cooperantes, chegam em carretas e são descarregadas nas linhas produtivas. Os materiais nesse estado são usualmente chamados de RW (*Raw Wet* – Cru e Úmido), os quais apresentam materiais indesejáveis, como palha, espigas ardidas, terra, plantas daninhas, e outras impurezas que devem ser removidos para garantir a qualidade do produto, além de melhorar o desempenho operacional das máquinas e equipamentos da UBS. A remoção também facilita o plantio e evita a contaminação de outras áreas (TILMAN, 2006; WELCH, 1973).

3.1.2 Despalha e Seleção

O RW é direcionado por esteiras transportadoras para as máquinas despalhadeiras, que retiram a palha do milho através de rolos de borracha que

giram em sentido contrário ao fluxo das espigas. O material com palha remanescente retorna para um novo processo de despalha e o material sem palha é encaminhado para a mesa de seleção.

Nessa etapa, o material é separado manualmente por safristas, de modo que as espigas de boa qualidade são encaminhadas para o secador, enquanto que as espigas de baixa qualidade (atípicas, ardidadas, quebras, etc.) são descartadas.

3.1.3 Secagem

O RW apresenta umidade inadequada para beneficiamento e armazenamento, sendo de cerca de 35% (CARVALHO *et al.*, 2000; PESKE *et al.*, 2008). Portanto, a secagem é uma etapa crítica do processo, que visa reduzir a umidade para cerca de 12% (PAIVA *et al.*, 2000). Essa faixa é a considerada ideal para evitar que as sementes fiquem muito secas ou muito úmidas, visto que presença de umidade favorece a proliferação de microrganismos e deterioração do produto. Todavia, se o processo de secagem ocorrer em excesso ou de modo inadequado, as sementes ficam quebradiças e haverá maiores chances de danos mecânicos. (TOLEDO *et al.*, 1977).

A fim de evitar danos causados pelo processo térmico às sementes e manter sua capacidade fisiológica, recomenda-se o processo de secagem intermitente. Ou seja, as espigas são expostas à ação do ar quente durante um período determinado de tempo, intercalados de períodos sem aquecimento (GARCIA *et al.*, 2004).

Durante este intervalo, acontece uma redistribuição de umidade nas sementes, com a transferência da água do interior para a superfície, de modo a reduzir os gradientes térmico e mássico, como consequência os danos físicos (fissuras) e térmicos à semente são reduzidos (VILLELA *et al.*, 1992; TOLEDO *et al.*; 1977). Após atingirem a umidade ideal, as espigas são direcionadas para a debulha.

3.1.4 Debulha

As espigas passam pelas máquinas debulhadoras, onde são pressionadas contra uma grade através de um rolo em movimento. O atrito entre

as espigas e a estrutura do equipamento faz com que as sementes se desprendam do sabugo. As impurezas são descartadas e os sabugos são reaproveitados no processo como combustível. A partir deste ponto, o material passa a se chamar DS (*Dryed and Shelled* – Seco e Debulhado) e segue para os silos de armazenagem onde aguarda o processo de pré-limpeza.

3.1.5 Pré-Limpeza

O DS vai para a máquina de pré-limpeza, com o objetivo de retirar as impurezas grosseiras e miúdas (TROGELLO *et al.*, 2013). Esse processo é realizado por um equipamento por meio de movimentação de peneiras e fluxo de ar (VAUGHAN *et al.*, 1976). As impurezas maiores ficam retidas nas peneiras de maior diâmetro, as mais leves são levadas pelo fluxo de ar e as menores vazam pelas peneiras menores. O material de tamanho e peso intermediário contém o produto desejado que será classificado.

3.1.6 Classificação

A classificação de sementes é necessária devido à variação em tamanho, forma e qualidade em função da posição na espiga (FERREIRA, 2010). Elas são segregadas quanto à sua forma (redonda ou chata) e quanto aos seus diferentes tamanhos (altura, espessura e comprimento), buscando uniformizar o lote de sementes e facilitar a semeadura (ANDRADE *et al.*, 1997).

O tamanho é influenciado, em parte, pelo fato de que os óvulos da base da espiga serem os primeiros a serem fertilizados, assim, eles têm um espaço maior para se desenvolver em relação as sementes da ponta da espiga (KIKUTI *et al.*, 2003). Por outro lado, a forma das sementes é influenciada pela pressão exercida entre sementes adjacentes, de modo que as sementes desenvolvidas na base e a ponta tendem a ficar redondas após a maturação, em contraste com as sementes desenvolvidas ao longo da espiga que tendem a se achatam (ANDRADE *et al.*, 1998)

O DS passa primeiro pelos classificadores, que segregam as sementes quanto à altura e à espessura através de conjuntos de peneiras cilíndricas e rotativas (CAIVANO, 2018). Peneiras com furos oblongos segregam as sementes em chatas (vazadas) e redondas (retidas), enquanto que as peneiras de furos redondos separam em diferentes tamanhos. As sementes com

espessura e largura maiores que o diâmetro da peneira fica retidas, e as sementes menores vazam pela abertura das peneiras.

Ademais, as sementes são classificadas quanto ao seu comprimento pelos por equipamentos denominados de trieurs em curtas, médias e longas. Trata-se de um equipamento cilíndrico alveolado rotativo com uma calha vibratória no centro. À medida que os cilindros rotacionam, as sementes curtas que se encaixam nos alvéolos são conduzidas a uma posição superior e, por gravidade, caem na calha vibratória se separando das demais (TROGELLO *et al.*, 2013).

Portanto, durante a classificação, obtém-se vários tamanhos uniformes de sementes e, normalmente, para cada tamanho ou grupo de tamanhos, o agricultor utiliza um prato na semeadura, evidenciando a quão crítica e relevante é essa etapa do beneficiamento (PESKE *et al.*, 2003). Após a classificação, as sementes são encaminhadas para a limpeza.

3.1.7 Limpeza

A limpeza objetiva remover impurezas, assim como a pré-limpeza, mas de modo mais rigoroso. A segregação é possível pelas diferenças de densidade - realizadas pela coluna de ar e mesa densimétrica - e a cor – realizada pela color sorter - das sementes boas e impurezas (CARVALHO *et al.*, 2000).

Segundo Brasil (2011), são consideradas impurezas os seguintes itens:

- Ardidos: sementes que apresentam escurecimento total, por ação do calor, umidade ou fermentação;
- Germinados: sementes que apresentam início visível de germinação;
- Carunchados: sementes que apresentam atacados por insetos;
- Gessados: sementes que tenham sofrido variação na sua cor natural, apresentando-se de esbranquiçado ao opaco, mostrando no seu interior todo o endosperma amiláceo com cor e aspecto de gesso (farináceo);
- Chocos ou imaturos: sementes desprovidas de massa interna, enrijecidos e enrugados por desenvolvimento fisiológico incompleto;
- Mofados: sementes que apresentam contaminações fúngicas (mofo ou bolor) visíveis a olho nu;

- Quebrados: pedaços de sementes que vazam pela peneira de crivo circular de 5 mm de diâmetro, mas ficam retidas na peneira de crivo circular de 3 mm de diâmetro;
- Matérias estranhas: sementes de outras espécies, bem como detritos vegetais, sujidades, insetos mortos e corpos estranhos de qualquer natureza.

O material inerte (sabuguinhos, pedúnculos, sementes com menos da metade do tamanho original, etc.) é naturalmente mais leve que as sementes boas, não obstante, a diferença de peso entre sementes boas e ruins são originadas de ataque de insetos e fungos, má formação, danos mecânicos, entre outros (PREVIERO, 2001). Nesse cenário, a coluna de ar compõe uma estrutura metálica, contendo na extremidade inferior um sistema de ventilação de fluxo ascendente e na faixa intermediária uma chapa metálica perfurada, onde ocorre a alimentação do material. Sendo assim, a ventilação atravessa a chapa e arrasta os materiais mais leves para a bica de descarte, mas o material mais pesado (de boa qualidade) permanece sobre a chapa e é direcionado para etapa seguinte (CAIVANO, 2018).

O outro equipamento que realiza separação pela densidade é a mesa densimétrica. Trata-se de uma máquina constituída de uma superfície inclinada, vibratória e perfurada, que permite a passagem de fluxo de ar ascendente. O material é alimentado na parte mais baixa da mesa. Nesse contexto, a corrente de ar é ajustada para arrastar as sementes mais leves e impurezas, mas manter as sementes pesadas em contato com a superfície. O contato com a vibração da superfície, desloca as sementes mais pesadas para a parte mais alta da mesa, enquanto que o material mais leve se mantém para a parte mais baixa da mesa por estar suspenso pelo ar e, assim, sob menos efeito da vibração (PESKE *et al.*, 2003; BAUDET *et al.*, 1991).

Os maiores responsáveis pelo predomínio de manchas nas sementes de milho, alterando sua coloração, são os fungos em conjunto com insetos, de modo a prejudicar a qualidade fisiológica da semente (CARDWELL *et al.*, 2000). Nessa situação, a color sorter é um equipamento de separação através de imagens de alta definição e filtro de cores. Ela identifica sementes de má qualidade e as

descarta por meio de um jato de ar comprimido, preservando as de boa qualidade (VIEIRA, 2013).

O desafio dessa etapa é maximizar a retirada de impurezas e sementes defeituosas, minimizando a perda de sementes boas. A partir deste momento, o material é denominado de CS (*Clean and Sized*) e é direcionado para a etapa de tratamento.

3.1.8 Tratamento

O CS produzido é encaminhado para o tratamento de sementes para receber um banho químico de calda, com produtos eficientes no controle de patógenos (MENTEN *et al.*, 2010). A calda de defensivos é aplicada via atomização, o que possibilita uma distribuição mais uniforme sobre as sementes (MACHADO *et al.*, 2006).

Usualmente, o sistema de tratamento é em batelada por meio de tambores rotativos. O CS é pesado na moega do tratador, descarregado no misturador e a calda é dosada em função do peso. Posteriormente, as sementes são descarregadas do equipamento, se dirigem ao secador, e eventualmente para a etapa final do processo: o ensaque. A etapa de tratamento será o enfoque deste trabalho e maior detalhamento será fornecido adiante.

3.1.9 Ensaque e Paletização

As sementes no Brasil, por lei, são comercializadas por peso. Contudo, no caso específico do milho, as embalagens são padronizadas para conter 60.000 sementes - normalmente suficiente para o plantio de um hectare - constando o peso (EMBRAPA, 2005). Nesse sentido, é coletado uma amostra de sementes tratadas para determinar o peso de 10.000 sementes e relacionar o peso líquido necessário para se ter 60.000. Conforme a peneira, e conseqüentemente, o tamanho das sementes, o peso do saco pode variar de 15 kg à 26 kg (TROGELLO *et al.*, 2013).

Posteriormente, as sacarias são alocadas em *pallets* a fim de facilitar o armazenamento, manuseio e transporte, além de conservar as características das sementes por um período maior (TROGELLO *et al.*, 2013; CAMARGO *et al.*,

2008). Nesse ponto, o material é denominado TB (*Treated and Bagged*) ou PA (Produto Acabado).

3.2 Tratamento de Sementes

Existem fatores que influenciam na redução do potencial produtivo da cultura como inadequação na população de plantas, condições climáticas, potencial produtivo do híbrido, condições fitossanitárias e ataque de pragas (FANCELLI *et al.*, 2003). Portanto, o tratamento de sementes com fungicida objetiva eliminar os patógenos presentes na semente e protege-las dos microrganismos, pragas e doenças presentes no solo, e assim, contribuir para a germinação em condições adversas de semeadura (PINTO, 1998; CASA *et al.*, 2006).

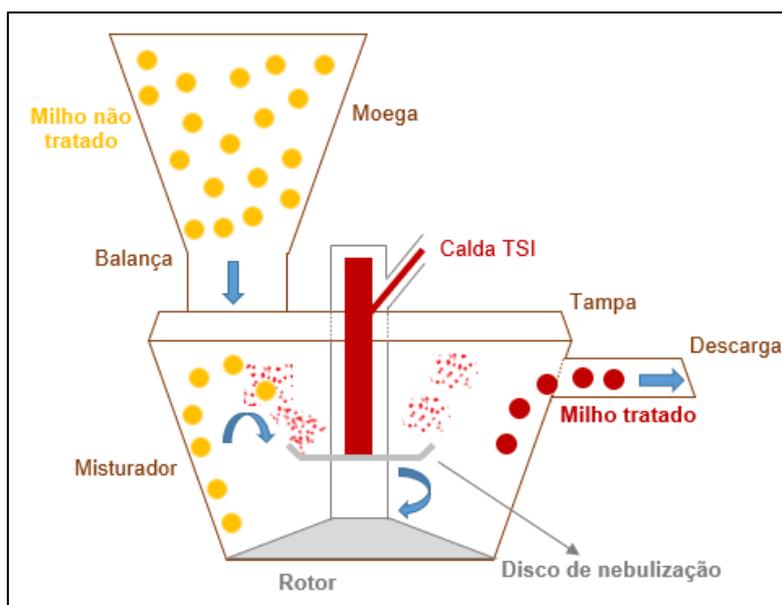
Visando maior eficiência na proteção do cultivo e, por conseguinte, conferir mais qualidade à semente e produtividade da lavoura, diversos estudos relacionados ao tratamento de sementes foram desenvolvidos (PARISE *et al.*, 2012). Em algumas empresas, utiliza-se o TSI, realizado em equipamentos especiais e sofisticados, que além de defensivos, combinam micronutrientes, inoculantes, nematicidas, bioestimulantes e polímero de recobrimento (ABATI *et al.*, 2013). Essa prática tem os benefícios de alta eficiência na aplicação na dose do produto, redução de riscos toxicológicos e ambientais, à uniformidade da cobertura, praticidade e rapidez (PLATZEN, 2012).

Além desses benefícios, o principal diferencial do TSI é a adição de polímero de recobrimento, o qual auxilia a fixação do tratamento à semente, protegendo-o de desgaste por atrito, arraste pela água da chuva, entre outros (BAYER, 2019). Não obstante, os polímeros também melhoram a plantabilidade e fluidez da semente, gerando menos falhas e duplas no plantio, de modo a melhorar a distribuição homogênea no campo (SEMENTES BIOMATRIX, 2021).

Usualmente, esse processo opera em regime de batelada (Figura 2): as sementes são alimentadas na moega do tratador, onde são pesadas, posteriormente descarregadas no misturador e agitadas simultaneamente na direção radial e axial. Essa agitação é possível devido a combinação da movimentação das paredes do misturador, em função do rotor na base, e a presença das aletas na tampa, que direcionam o fluxo. Após um curto intervalo

de tempo, a calda é injetada no misturador em função da massa das sementes via atomização do disco de nebulização. Um CLP (Controlador Lógico Programável) regula a dosagem de calda para maior precisão, evitando dosagens em excesso para não prejudicar a qualidade fisiológica da semente e dosagem insuficiente para não prejudicar a proteção do cultivo (BAYER, 2012).

Figura 2 - Representação esquemática do tratador.



Fonte: Autor (2021).

Depois que a calda se fixa às sementes durante o tempo determinado pelo CLP, as sementes tratadas são descarregadas do tratador e o processo se reinicia. O ciclo de tratamento dura em média 40 segundos, formando crosta na tampa à medida que ele se repete. Diariamente, é necessário interromper a operação para remove-la (Figura 3) a fim de evitar a obstrução de alguns ingredientes da calda e garantir a qualidade do tratamento.

Figura 3 – Raspagem da tampa do tratador.



Fonte: Autor (2021).

Em síntese, o TSI tem propriedades que favorecem a produtividade, qualidade, segurança e sustentabilidade do processo e produto. Entretanto, essas características singulares favorecem a formação de incrustação na tampa do tratador de sementes, de modo a demandar limpezas operacionais constantes para não prejudicar a qualidade do tratamento.

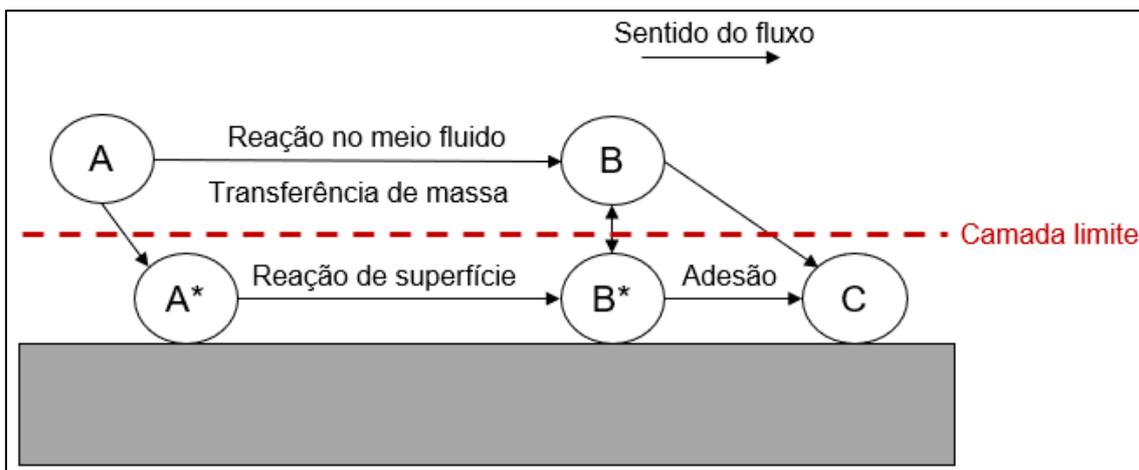
3.3 Incrustação, adesão e molhabilidade

3.3.1 Incrustação

A incrustação é um fenômeno físico que ocorre pela deposição e adesão de produtos sólidos, anteriormente solubilizados ou dispersos em fluidos (OLIVEIRA, 1997). O processo de incrustação é em geral complexo, podendo ter diversas origens, entre elas: reação química, sedimentação, cristalização, corrosão, etc. (BOIM, 2003).

Do ponto de vista químico e de uma forma genérica, o processo de incrustação se dá pela transformação dos reagentes solubilizados ou dispersos, formando precursores que migram para a superfície causando os depósitos (WATKINSON *et al.*, 1997), conforme Figura 4.

Figura 4 - Esquema das reações possíveis em um fenômeno de incrustação.



Fonte: Autor (2021).

Resumidamente, pode-se compreender o processo partindo de uma substância A, a qual, por influência da temperatura ou qualquer outro agente, reage formando o agente precursor da incrustação B, que migra para a tampa

agregando-se de forma sólida e cristalina B*. Em paralelo, a substância reagente A pode sofrer uma deposição ou cristalização por causas físico-químicas, formando a substância A*, que pode continuar reagindo e formando B*. Tanto A* quanto B* podem sofrer um envelhecimento com o tempo, onde uma série de reações de polimerização podem acontecer gerando a incrustação final C (WATKINSON *et al.*, 1997).

Em síntese, o mecanismo de formação da incrustação é complexo e envolve múltiplas etapas, mas sabe-se que a adesão do agente incrustante à superfície é a principal delas (FROTA, 2009). Portanto, dada a importância da adesão no processo de incrustação, é imprescindível compreender este fenômeno para diminuir a formação da crosta.

3.3.2 Adesão

A adesão pode ser definida como um estado que mantém materiais diferentes ligados através de forças interfaciais, em contraste a coesão, que mantém materiais similares unidos. A ligação que acontece entre eles pode ser considerada uma soma de forças de origem física e química que se sobrepõem e se influenciam (POCIUS, 2002).

As teorias de adesão são divididas em 4 categorias principais: adesão mecânica, adesão eletrostática, adesão por adsorção e adesão por interdifusão. Embora não haja um único mecanismo atuante, pode-se distinguir e explicar o que ocorre em cada um deles.

3.3.2.1 Adesão Mecânica

A primeira teoria sugere que a aderência ocorre pela ancoragem do polímero sobre as irregularidades da superfície do substrato (Figura 5). O polímero flui para pelos interstícios do substrato para estabelecer a incorporação mecânica (PATANKAR, 2010).

Figura 5 - Representação esquemática por adesão mecânica.



Fonte: Autor (2021).

Contudo, uma boa adesão pode acontecer entre superfícies com baixa rugosidade e sem poros superficiais. Assim, é evidente que, apesar da união mecânica contribuir para a adesão, ela não pode ser considerada um modelo genérico (PEIXOTO, 2009).

3.3.2.2 Adesão Eletrostática

Esse modelo assume que as substâncias possuem tem cargas opostas, e como resultado, se atraem (Figura 6). Geralmente, estas forças eletrostáticas não contribuem primariamente para a força das ligações, entretanto, pode exercer uma contribuição efetiva (POCIUS, 2002).

Figura 6 - Representação esquemática da adesão eletrostática.



Fonte: Autor (2021).

3.3.2.3 Adesão por Adsorção

Essa é a teoria mais amplamente difundida sobre a adesão superficial pois é considerada o principal mecanismo de adesão. Ela estabelece que a adesão é resultante de forças intermoleculares que se desenvolvem nas duas superfícies, sendo a mais comum as forças de Van der Waals (Figura 7).

Figura 7 - Representação esquemática de adesão por adsorção.



Fonte: Autor (2021).

Além dela, interações dipolo-dipolo, ácido-base e ligações de hidrogênio também podem contribuir para o fenômeno (PACKHAM, 2003; PEIXOTO, 2009).

3.3.2.4 Adesão por interdifusão

Essa teoria sugere que quando dois polímeros interagem, sendo eles capazes de se movimentar e miscíveis, ocorre um entrelaçamento físico entre eles, conforme Figura 8 (PACKHAM, 2003; PATANKAR, 2010; PEIXOTO, 2009).

Figura 8 - Representação esquemática da adesão por interdifusão.



Fonte: Autor (2021).

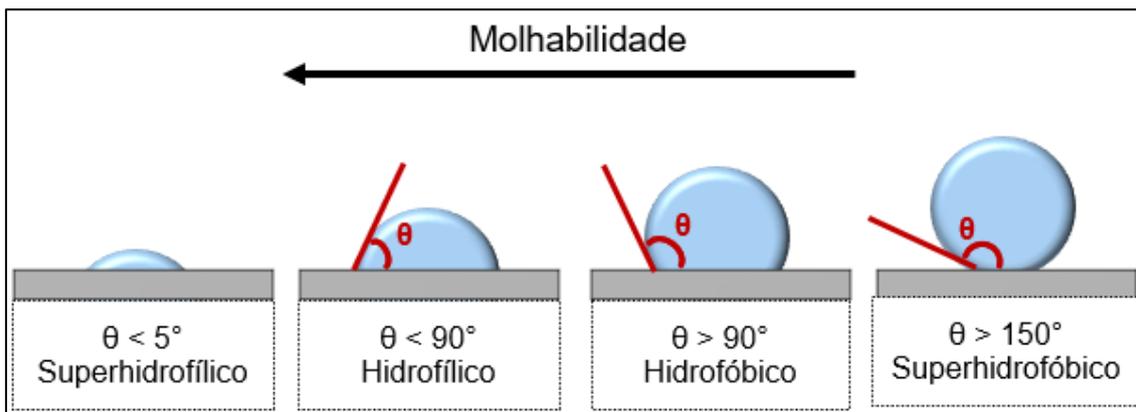
Para descrever este fenômeno, várias teorias foram propostas, como: acoplamento por entrelaçamento, cooperatividade e a teoria da reptação, bastante utilizada para explicar a união entre polímeros (WOOL, 2002). Esse modelo sugere que quando uma cadeia polimérica se movimenta dentro da massa formada por outras cadeias, ela deve encontrar a sua volta pontos pelas quais não pode passar. Para se mover, ela deve fazer um movimento parecido com uma cobra, daí o termo reptação (CANEVAROLO, 2002).

Desta forma, a cadeia move-se em um processo de difusão ao longo de uma dimensão à medida do comprimento da cadeia, ou seja, da escala da massa molar (FARIAS, 2009).

3.3.3 Molhabilidade

O fenômeno da adesão está relacionado ao de molhabilidade. Essa propriedade está relacionada com a tendência de um fluido aderir ou espalhar-se sobre uma superfície sólida, evidenciando a intensidade da interação entre eles (NEVES *et al.*, 2021). Caso a interação seja intensa, o fluido tende a se espalhar pela superfície. Do contrário, terá mínimo contato com a superfície (Figura 9).

Figura 9 - Representação esquemática de ângulo de contato para materiais hidrofílicos e hidrofóbicos.



Fonte: Autor (2021).

Conforme Figura 9, a classificação de materiais quanto a sua molhabilidade, se dá ao medir o ângulo de contato θ que a gota de líquido faz com a superfície sólida. A superfície é considerada hidrofílica, ou seja, que tem afinidade com água, se o ângulo de contato for menor do que 90° e superhidrofílica se for menor do que 5° . Em contrapartida, a superfície é categorizada como hidrofóbica, isto é, que não tem afinidade com água, se o ângulo de contato for maior do que 90° e superhidrofóbica se for maior do que 150° (NAGAPPAN *et al.*, 2015).

3.4 Restrição, *setup* e produção enxuta

Dado que a consequência das paradas para limpeza ocasionadas pela deposição de calda na tampa é o aumento do *setup* e que o objetivo desse trabalho foi atuar para reduzir perdas de lucratividade relacionadas, é também necessário apresentar alguns conceitos de processo e produção relacionados.

3.4.1 Teoria das Restrições

A teoria das restrições sustenta que qualquer coisa em uma empresa que a impeça ou limita seus movimentos em direção a seus objetivos é caracterizada como restrição (WANKE, 2004). No ambiente de fábrica, a restrição é um local na linha de produção impede o fluxo de materiais do sistema (TUBINO, 2009). Ou seja, gargalo consiste no setor que inibe o desenvolvimento contínuo das operações em sua capacidade total. Logo, o fluxo de produção é diminuído no momento que passa pelo gargalo. Em outras palavras, a capacidade da linha de produção é, na verdade, a capacidade do gargalo.

3.4.2 Setup e Produção Enxuta

A restrição do processo produtivo se dá pelo tempo de setup, que pode ser compreendido como o intervalo de tempo entre a manufatura cessar até o primeiro produto bom do lote seguinte (SATOLO *et al*, 2008).

O tempo de espera para limpar equipamentos, é um dos 8 desperdícios sem agregação de valor em produtos e serviços (SHINGO, 1996). Abaixo, destacam-se todos eles.

- Superprodução: produção superior à demanda ou produzir antecipadamente.
- Processamento incorreto: processamento de um produto ou processo extra, além do que a demanda exige.
- Movimentação: qualquer movimentação desnecessária no qual o funcionário deva fazer para realizar a tarefa, como buscar uma ferramenta, acessar determinado local, entre outros.
- Transporte: qualquer transporte acima do necessário é desperdício, seja de matéria-prima, produto ou entre processos.
- Estoque: excesso de estoque de matéria-prima, em processo ou produto acabado, que podem ocasionar obsolescência, produtos danificados e custos de armazenagem.
- Defeitos: produção de peças defeituosas geram a necessidade de reprocessar ou descartar, que significam perdas de manuseio, tempo e esforço.
- Espera: a ociosidade de um trabalhador ou máquina durante o processo produtivo.
- Intelectual: perdas de ideias, habilidades, melhorias e oportunidades por não envolver ou ouvir os funcionários.

A base do sistema de produção enxuta é a eliminação de desperdícios (OHNO, 1997). Portanto, para aumentar a capacidade produtiva, é necessário aumentar a capacidade do gargalo. Nesse aspecto é que atuou o presente trabalho, através da experimentação em escala industrial no tratador de sementes de milho em busca de um revestimento antiaderente eficaz para

redução da massa depositada de material e também diminuição do tempo de limpeza da tampa.

4. METODOLOGIA

4.1 Revestimentos a serem avaliados

Os revestimentos deveriam ter: antiaderencia, inércia química, resistência à abrasão, boa ancoragem no metal, fácil aplicação e baixo custo. A partir disso, foi realizada uma pesquisa que abrangeu artigos científicos, dissertações, teses e materiais cedidos pelos fornecedores dos revestimentos (como ficha técnica e catálogo de produtos). Com base nisso, os revestimentos selecionados para os testes foram: UHMW Ultra, UHMW 88-2, Teflon, Gentoo e Testrong.

4.1.1 UHMW Ultra

O UHMW-PE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*), ou polietileno de ultra alto peso molecular, é um polímero sintético composto de cadeias parafínicas, lineares ou ramificadas, cuja massa molar média é igual ou superior a $2,5 \times 10^6$ g/mol (ALBUQUERQUE, 1990).

Sua elevada massa molar, apresenta propriedades únicas, como altíssima resistência à abrasão e ao impacto, baixo coeficiente de fricção (conferindo a propriedade de antiaderencia), sendo considerado um plástico de engenharia. (BITTENCOURT *et al.*, 2016).

O UHMW-PE Ultra, UHMW Tipo A ou apenas UHMW Ultra é um tipo especial de polietileno de ultra alto peso molecular com massa molar igual ou superior a 8×10^6 g/mol. Essa característica o torna muito mais resistente à abrasão e, portanto, mais durável do que o UHMW convencional, sendo utilizado em silos, moegas, tubulações (BARON, 2021).

4.1.2 UHMW 88-2

O UHMW-PE 88-2 ou apenas UHMW 88-2, também é um tipo especial de polietileno de ultra alto peso molecular, com aditivo de silicone. Isso permite criar um material com baixíssimo coeficiente de atrito, o que é excelente para aplicações que requerem maior antiaderencia (DAYPLAST, 2021). Tanto o

UHMW 88-2 quanto o UHMW Ultra são comercializados no formato de chapas, tarugos e perfis (ABNT NBR 14922, 2013).

4.1.3 Teflon

O Teflon é o nome comercial dado ao PTFE (politetrafluoroetileno), que é um polímero constituído por milhares de monômeros com dois carbonos, ligados cada um a dois átomos de flúor (MCKEEN, 2014).

Suas principais propriedades surgem das características dos átomos de carbono e flúor e da natureza da ligação entre eles, que é extremamente forte. Essas combinações de fatores gera uma estrutura semelhante a um bastão de carbono completamente envolto por uma “capa” de átomos de flúor (VAROTTO et. al, 2008).

Isso torna o PTFE um material quimicamente e termicamente estável, de baixo coeficiente de atrito, de baixa molhabilidade, altamente resistente ao impacto e à propagação de chamas (EBNESAJJAD, 2006).

4.1.4 Gentoo Coating

O Gentoo Coating ou apenas Gentoo, é um revestimento hidrofóbico polimérico bicomponente que, após mixado, é aplicado como uma única camada (GFB, 2021). Sua propriedade hidrofóbica faz com que o ângulo de contato entre a gota de água com a superfície revestida esteja entre 90° e 150°.

Além disso, por ser extremamente fino (4-6 micras) o substrato não necessita de processos abrasivos dispendiosos comumente usados por outros revestimentos, podendo ser aplicado por imersão, pulverização, derramamento ou pintura. (GFB, 2021). Por fim, o revestimento apresenta resistência química, resistência à abrasão e flexibilidade.

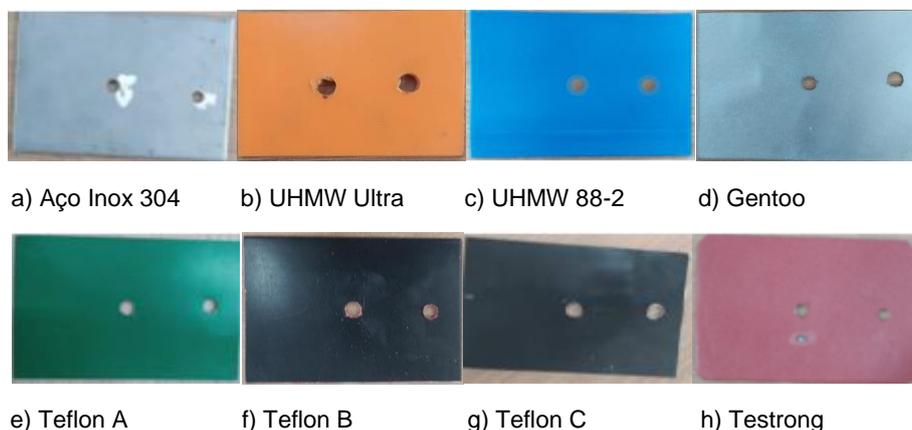
4.1.5 Testrong

O Testrong é um revestimento antiaderente, à base de fluoropolímeros e silicone, que é muito utilizado na indústria de panificação (COATRESA, 2021). Além da antiaderencia, isso confere propriedades dielétricas, baixa molhabilidade, resistência a corrosão e resistência química e térmica ao revestimento.

4.2 Preparo dos corpos de prova

Os fornecedores enviaram placas com tamanhos diferentes. Portanto, foi necessário cortar e padronizar a área das placas em 10 x 7 cm (Figura 10). Assim, evitou-se variação considerável da área.

Figura 10 - Corpos de prova padronizados.



Fonte: Autor (2021).

As letras no Teflon correspondem a fornecedores diferentes. A espessura de todos os corpos de prova eram 2 mm, com exceção do UHMW que era de 6 mm.

4.3 Ensaios para avaliar os efeitos de posição na incrustação ao redor da tampa

Inicialmente, foram realizados ensaios para verificar se as posições em que seriam fixadas as placas teriam efeito significativo sobre o nível de incrustação. Após o tratamento das sementes, quando a tampa estava com crosta, foi delimitado 8 posições de área 10 x 7 cm cada (mesma área das placas). A crosta de cada uma dessas posições foi removida manualmente por raspagem.

Certamente, o ideal era realizar os ensaios com placas sem antiaderente para mitigar incertezas devido à raspagem e emular com mais precisão o procedimento seguinte, em que se utilizava placas antiaderentes e controle fixadas na tampa. Contudo, pela falta de insumos e a necessidade de aproveitar a janela de produção TSI para conduzir os ensaios, essa foi a amostragem viável.

A crosta de cada posição foi separada e pesada em semi-analítica (precisão de 0,001g) (Figura 11). Esse processo foi realizado em triplicata.

Figura 11 - Crostas coletadas de cada posição.



Fonte: Autor (2021).

. Além disso, também por razões organizacionais e de produção, não era possível garantir a mesma quantidade de calda injetada até a interrupção e raspagem. Na tentativa de melhorar a reprodutibilidade, as amostragens foram planejadas para ocorrerem em momentos de produção em que as quantidades injetadas de calda fossem próximas a cada ensaio. Sendo assim, a variável resposta analisada foi a calda incrustada por calda injetada, em gramas por toneladas. A utilização dessa variável ao invés da massa raspada visava a reduzir as incertezas na análise.

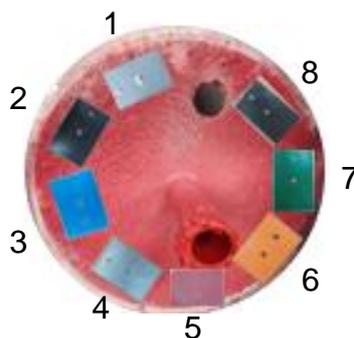
4.3.1 Análise estatística dos efeitos de posição na incrustação ao redor da tampa

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo Teste F, com a garantia de que as premissas de normalidade, independência das amostras e homoscedasticidade fossem respeitadas (MONTGOMERY, 2009). As médias de calda incrustada por calda injetada, em gramas por toneladas, das posições foram comparadas a um nível de significância de 5%, com auxílio do software estatístico Minitab® 17 (licenciado pela própria empresa).

4.4 Ensaios de incrustação com corpos de prova com antiaderentes

As placas foram pesadas em balança semi-analítica (precisão de 0,001g) e então foram fixadas com cola selante PU Branca Sikaflex 300 ml em posições diferentes da tampa do equipamento Figura 12.

Figura 12 - Representação esquemática da fixação das placas na tampa.



Fonte: Autor.

Após a interrupção do processo para raspagem da tampa, as amostras foram retiradas. Resquícios de cola foram removidos e os corpos de prova pesados. A variação de massa indicava a quantidade incrustada. A Figura 13 mostra as placas logo após remoção da tampa.

Figura 13 - Corpos de prova incrustados.



a) Aço Inox 304

b) UHMW Ultra

c) UHMW 88-2

d) Gentoo



e) Teflon A

f) Teflon B

g) Teflon C

h) Testrong

Fonte: Autor (2021).

Para ensaios seguintes, os corpos de prova foram limpos, pesados e recolocadas na tampa. É válido ressaltar que o processo foi realizado em triplicata e as posições dos corpos de prova foram aleatorizadas em cada réplica. Também é importante destacar que as mesmas restrições de operação mencionada nos ensaios para verificação dos efeitos de posição também influenciaram nos procedimentos para identificar os efeitos dos antiaderentes. Cuidados similares foram adotados nesses ensaios:

- verificação do planejamento de produção em busca de períodos de operação para manter a quantidade injetada de calda similar entre os ensaios;

- análise da variável calda incrustada por calda injetada, em gramas por toneladas, de calda ao invés de calda incrustada.

4.4.1 Análise estatística dos efeitos dos antiaderentes na incrustação

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo Teste F, sendo as médias de calda incrustada por calda injetada, em gramas por tonelada, dos antiaderentes comparadas simultaneamente com a média do controle pelo teste de Dunnett a um nível de significância de 5%, com auxílio do software estatístico Minitab 17.

Posteriormente, as placas antiaderentes e de aço foram classificadas qualitativamente quanto aos seus níveis de incrustação, de acordo com o resultado do teste de Dunnett e da análise visual do gráfico de distribuições normais.

4.5 Ensaios de remoção da crosta dos corpos de prova com revestimento

O objetivo desse ensaio era verificar o quanto a presença de antiaderente facilitava o processo de limpeza, o que deve contribuir para o tempo de *setup*, durabilidade do antiaderente (evitando a raspagem) e ergonomia durante as atividades de operadores.

Nesse sentido, para a remoção da crosta, foi aplicado um produto de natureza sigilosa nos corpos de provas com o intuito de facilitar a limpeza. Diferente do método tradicional de raspagem, as placas foram limpas através de um jato de ar comprimido de 1,5 bar. Contudo, o jato não foi capaz de limpar todas elas, sendo que, nas que não houve êxito com esse método, foi feita a raspagem. O tempo de limpeza para remover a crosta foi medido com cronômetro para ambos os métodos.

4.5.1 Análise estatística dos efeitos dos antiaderentes no tempo de limpeza

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo Teste F, sendo as médias de calda incrustada por calda injetada, em gramas por tonelada, dos antiaderentes comparadas simultaneamente com a média do “melhor” pelo teste de HSU a um nível de significância de 5%, com auxílio do software estatístico Minitab 17.

O “melhor” foi definido sendo o corpo de prova que teve o menor tempo médio de limpeza. Posteriormente, os corpos de prova foram classificados qualitativamente quanto a sua velocidade de limpeza, de acordo com o resultado do teste de HSU e da análise visual do gráfico de distribuições normais.

4.6 Avaliação técnico-econômica das alternativas de investimento

As análises econômicas foram realizadas em termos de uma equivalente moeda fictícia com paridade em relação ao real (UMR\$, Unidade Monetária em equivalentes ao Real). Não será revelada a paridade da moeda, assim, não serão indicados valores reais de modo a manter a confidencialidade da empresa.

A análise de viabilidade dos investimentos foi realizada utilizando dois métodos: VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno). O primeiro, consiste em somar todos os valores do fluxo de caixa, descontados até a data do investimento (SOUZA *et al.*, 2004), conforme indicado pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Em que: t – quantidade de período de tempo em que o fluxo de caixa; n – período total de tempo; i – taxa mínima de atratividade (TMA); FC_t – fluxo de caixa no período de tempo determinado. O VPL positivo, indica que a rentabilidade futura superará o investimento. O VPL negativo, indica o contrário.

Por outro lado, o segundo método, além de indicar a rentabilidade, considera a dimensão do risco de um investimento em determinado período de tempo (MOTTA *et al.*, 2002). Percebe-se da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que a TIR é a taxa que torna o VPL de um fluxo de caixa igual a zero.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

Se a TIR for maior do que a TMA, o investimento pode ser aceito, trazendo retorno diante do risco definido. Já se a TIR se apresentar menor que a TMA o investimento deve ser rejeitado, pois não há expectativa de retorno que compense o risco (REBELATTO, 2004).

4.6.1 Cálculos e premissas da análise de viabilidade do projeto

As seguintes premissas foram adotadas para análise de viabilidade técnica-econômica:

1. As alternativas de investimentos eram mutualmente excludentes, pois visavam atingir ao mesmo objetivo técnico. Logo, apenas uma seria implementada;
2. TMA adotada foi de 18% a.a., segundo a política de investimento da empresa;
3. O horizonte de eventos dos investimentos foi de 2 anos, sendo esta estimativa da vida útil de um dos revestimentos adquiridos.

Os fluxos de caixa no estado presente estavam diretamente relacionados ao custo de ociosidade do setor, o qual é influenciado pela quantidade e duração do *setup* ao longo do ano. Quanto maior o *setup*, maior a perda financeira para a empresa. Portanto, o cálculo do fluxo de caixa para a alternativa aço (atual), que seria utilizada de referência, foi calculada segundo a equação da **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$FC_{aço} = C_{s,p} + t_{l,aço} + n_{s,aço} \quad (3)$$

Em que $FC_{aço}$ - fluxo de caixa de referência (aço) no período determinado (UMR\$); $t_{l,aço}$ - tempo de limpeza ou duração do *setup* de referência (min); $n_{s,a}$ = frequência de limpeza ou quantidade de *setup* de referência (unit/ano).

Os fluxos de caixa de todas alternativas de investimento dos revestimentos foram determinados pelos custos de aquisição, custos logísticos, custos de aplicação do revestimento e fluxo de caixa de referência ($FC_{aço}$) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

$$FC_r = C_{aq} + C_{log} + C_{ap} + C_{set} - FC_{aço} \quad (4)$$

Onde: FC_r - fluxo de caixa anual (UMR\$); C_{aq} - custo de aquisição do produto (UMR\$), quando aplicável; C_{ap} - custo de aplicação do revestimento (UMR\$); C_{set} - custo do *setup* ou da ociosidade do setor (UMR\$).

Os fluxos de caixa referência foram embutidos no cálculo do fluxo de caixa do revestimento, na expectativa da economia gerada associar à um valor positivo de fluxo de caixa, de modo a possibilitar o método da TIR.

Os custos de aquisição, logístico e de aplicação foram estipuladas com as informações dos fornecedores e variam para cada revestimento, de acordo com a comercialização do produto, método de aplicação, frequência de reaplicação, distância para o fornecedor, etc. Por outro lado, o custo do *setup* foi previsto de acordo com os resultados dos ensaios de incrustação e limpeza do presente trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação do efeito da posição na incrustação

Visto que os corpos de prova seriam colocados em posições diferentes da tampa, foi necessário avaliar se o nível de incrustação entre as posições era o mesmo. Assim, as triplicatas de incrustação por posição da tampa encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Triplicatas da raspagem das posições da tampa.

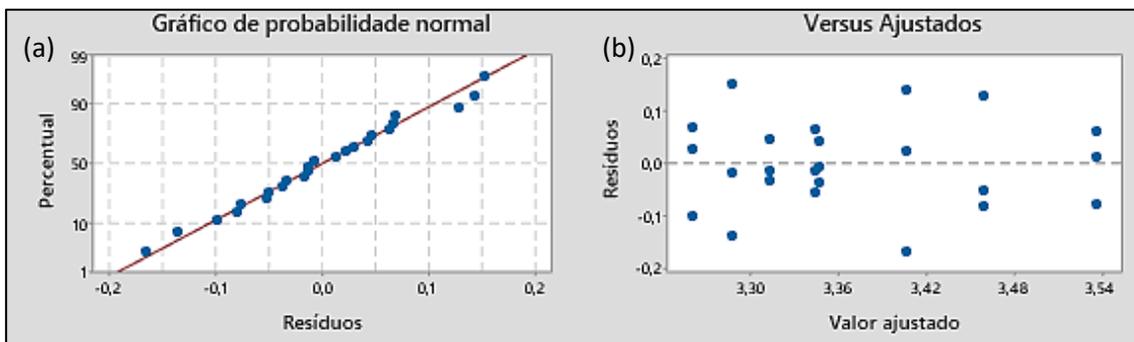
Teste	Posição	Calda Incrustada/Calda injetada (g/ton)								Calda Injetada (ton)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1		3,41	3,36	3,6	3,39	3,29	3,38	3,24	3,44	2,23
2		3,33	3,28	3,46	3,31	3,16	3,41	3,55	3,15	2,18
3		3,29	3,3	3,55	3,34	3,33	3,59	3,43	3,27	2,26

Fonte: Autor (2021).

Para avaliar se a posição influenciava na incrustação, isto é, se as médias amostrais de cada posição diferiam significativamente entre si, foi realizado um teste de hipótese ANOVA. O teste de hipótese proposto pressupõe que os resíduos tenham normalidade, as amostras sejam independentes e variâncias sejam iguais em cada grupo (MONTGOMERY, 2009). Portanto, cada uma das condições precisou ser validada antes de aplicar o teste. É natural pressupor que as amostras são independentes, uma vez que posições diferentes estão sendo avaliadas em ensaios independentes. Já a avaliação de normalidade e variância foi realizada com auxílio do Minitab 17, representado na Figura 14.

Figura 14 – Validação das premissas da ANOVA para análise dos efeitos da posição na incrustação.

a) percentil em função dos resíduos. b) resíduos em função dos valores ajustados.



Fonte: Minitab 17 (2021).

No gráfico de probabilidade normal (Figura 14, a), quanto mais próximos os pontos estiverem da linha reta, mais adequada é a distribuição normal para representar os dados (MONTGOMERY, 2009). Logo, o pressuposto de normalidade dos resíduos foi atendido. Já na distribuição de resíduos em função dos valores ajustados (Figura 14, b) observa-se visualmente que a pressuposta homoscedasticidade (variâncias iguais) também é atendida, visto que não há padrão e os resíduos estão dispersos aleatoriamente em torno do zero (MONTGOMERY, 2009). A forma da distribuição em torno do zero também indica visualmente a distribuição normal. Uma vez que os requisitos foram atendidos, seguiu-se para a ANOVA com auxílio do Minitab 17.

A hipótese nula do teste afirmava que o nível de incrustação nas posições da tampa era o mesmo. Em contraste a isso, a hipótese alternativa afirmava que pelo menos uma posição possuía nível de incrustação diferente das demais. O nível de significância do teste foi de 5%.

As médias e intervalos de confiança simultâneos em 95% de cada posição podem ser observados na (Tabela 2).

Tabela 2 - Médias e intervalos de confiança simultâneos das posições.

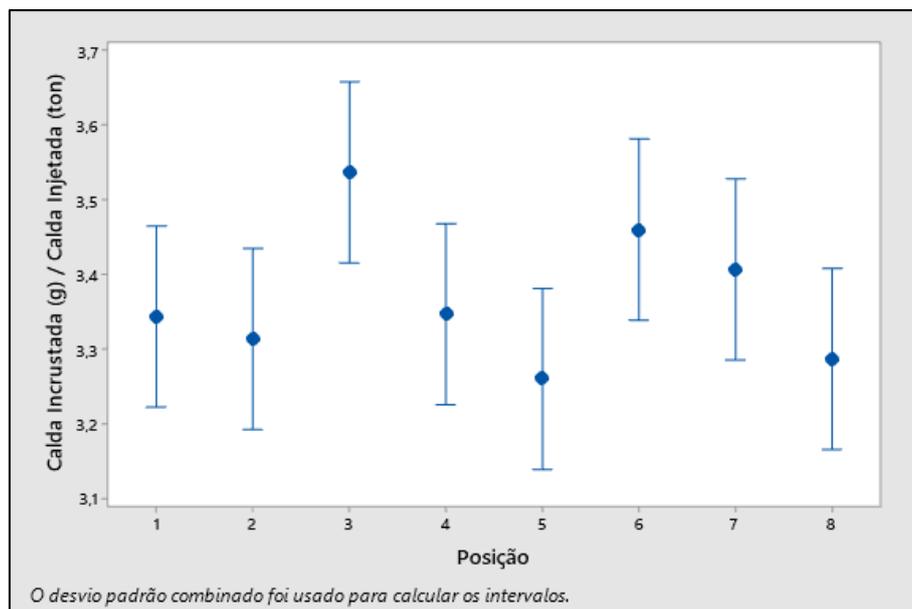
Fator	N	Média	DesvPad	IC de 95%
1	3	3,3433	0,0611	(3,2220; 3,4647)
2	3	3,3133	0,0416	(3,1920; 3,4347)
3	3	3,5367	0,0709	(3,4153; 3,6580)
4	3	3,3467	0,0404	(3,2253; 3,4680)
5	3	3,2600	0,0889	(3,1387; 3,3813)
6	3	3,4600	0,1136	(3,3387; 3,5813)
7	3	3,4067	0,1563	(3,2853; 3,5280)
8	3	3,2867	0,1457	(3,1653; 3,4080)

DesvPad Combinado = 0,0991211

Fonte: Minitab 17 (2021).

Para resguardar o caráter visual e oferecer uma referência para incerteza da medida, a Figura 15 apresenta visualmente a média e seu intervalo de confiança simultâneos em 95% de cada posição.

Figura 15 - Intervalos de confiança simultâneos da média das incrustações por posição (95% de probabilidade).



Fonte: Minitab 17 (2021).

Os pontos representam as médias e as barras representam seu respectivo intervalo de confiança. Na Tabela 3 a seguir, é possível observar o resultado do teste.

Tabela 3 – Análise de variância dos efeitos da posição na incrustação.

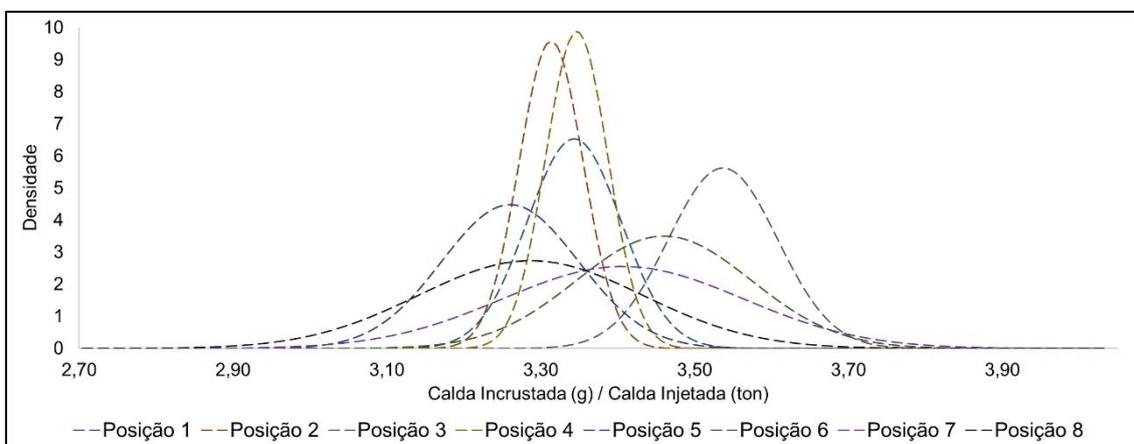
Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	7	0,1822	0,026026	2,65	0,051
Erro	16	0,1572	0,009825		
Total	23	0,3394			

Fonte: Minitab 17 (2021).

Como o p-valor foi de 0,051 (5,1%), que é maior que o nível de significância do teste de 0,05 (5%), não houve evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula. Ou seja, concluiu-se que o nível de incrustação de todas as posições era igual a 95% de confiança.

Em outras palavras, as variações causadas pela diferença de posição (fator) foram menores do que variações causadas pela incerteza do ensaio (erro), sendo, portanto, desprezadas. Como consequência desse resultado, pode-se aferir visualmente na Figura 16, a sobreposição das curvas de distribuição de probabilidade de cada posição.

Figura 16 - Distribuições de probabilidades da incrustação de cada posição.



Fonte: Autor (2021).

Em síntese, não houve efeito mensurável da posição na incrustação. Deste modo, desprezou-se qualquer efeito de posição no planejamento e análises seguintes, o que permitiu fixar simultaneamente todos os corpos de prova e ainda assim comparar o nível de incrustação entre eles.

5.2 Avaliação dos efeitos do antiaderente na incrustação

A avaliação do nível de incrustação de calda nos revestimentos é relevante para determinar a frequência de limpeza em relação ao aço. A raspagem na tampa é realizada preventivamente para evitar que o nível de incrustação seja suficiente para obstruir o local de injeção dos ingredientes da calda e prejudicar a qualidade do tratamento das sementes. Deste modo, menos deposição deve implicar em menor frequência de limpeza, portanto, menos paradas e *setup* total reduzido.

Antes de avaliar o nível de incrustação, foi necessário analisar se a quantidade de calda injetada nos ensaios com antiaderente era equivalente à quantidade injetada para definir os efeitos de posição. A Tabela 4 mostra as triplicatas das caldas injetadas em cada ensaio.

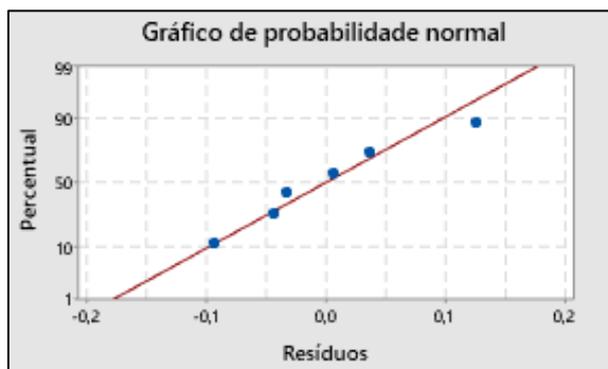
Tabela 4 - Triplicatas da calda injetada no ensaio de análise dos efeitos da posição e dos corpos de prova.

Observação	Calda Injetada (ton)	
	Ensaio Posição	Ensaio Corpos de Prova
1	2,23	2,24
2	2,18	2,18
3	2,26	2,40

Fonte: Autor (2021).

A análise é necessária porque a conclusão dos ensaios anteriores poderia não ser válida para os experimentos de comparação de antiaderentes, se as caldas injetadas não fossem equivalentes. Nesse cenário, foi realizado um teste de hipóteses t para comparar as médias dos dois ensaios, depois de validar a premissa da normalidade (MONTGOMERY, 2009), conforme Figura 17.

Figura 17 - Percentil em função dos resíduos para validação teste t.



Fonte: Minitab 17 (2021).

Visualmente, pode-se observar que o requisito de normalidade é atendido, sendo possível prosseguir para o teste t.

A hipótese nula afirmava que as caldas injetadas são iguais (médias da variável aleatória analisada). A hipótese alternativa afirmou o contrário. O nível de significância foi definido em 5%.

Tabela 5 - Resultado teste T para análise do efeito da calda injetada em cada ensaio.

Teste		
Hipótese nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótese alternativa	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor-T	GL	Valor-p
-0,72	2	0,548

Fonte: Minitab 17 (2021).

Da Tabela 5, observa-se que o p-valor é de 0,548 (54,8%). Para um nível de significância de 5%, não houve evidências estatística para rejeitar a hipótese nula. Isto é, a quantidade de calda injetada nos ensaios para avaliar o efeito da posição é estatisticamente a mesma que a injetada nos ensaios para avaliar os efeitos dos antiaderentes, a um nível de confiança 95%. Com isso, pôde-se desprezar efeitos adicionais da injeção de calda no ensaio, sendo possível prosseguir para análise do efeito dos antiaderentes na incrustação. Assim, os resultados das triplicatas dos ensaios de incrustação dos corpos de prova (com e sem revestimento) encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Triplicatas da incrustação nos materiais em placas com antiaderente e no controle.

Posição Teste	Calda Incrustada/Calda injetada (g/ton)								Calda Injetada (ton)
	Aço Inox 304 (controle)	Gentoo	UHMW Ultra	UHMW 88-2	Teflon A	Teflon B	Teflon C	Testrong	
1	3,43	2,61	5,92	3,34	3,09	2,96	2,86	2,53	2,23
2	3,69	2,19	5,61	3,76	3,91	2,4	3,13	2,8	2,18
3	3,55	2,33	5,23	3,21	3,03	2,76	3,02	2,92	2,26

Fonte: Autor (2021).

Ainda que o nível de confiança de que todas as posições tivessem a mesma incrustação fosse de 95%, as posições das placas foram aleatorizadas a cada ensaio. As posições ocupadas pelos corpos de prova em cada ensaio foram descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Posição dos corpos de prova em cada ensaio.

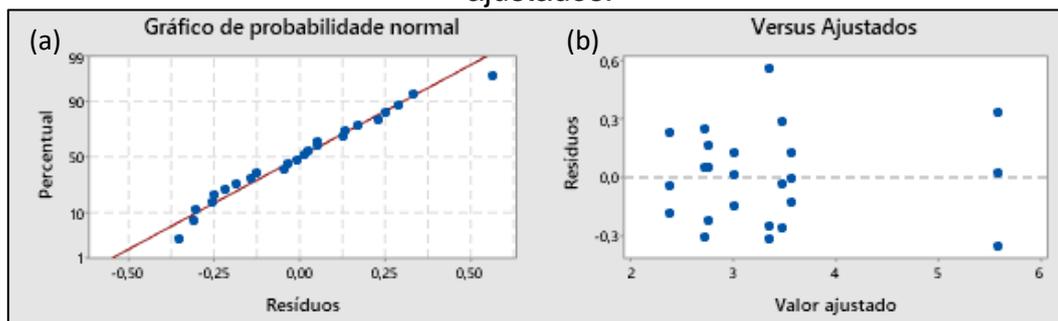
Posição Teste	Posição ocupada							
	Aço Inox 304 (controle)	Gentoo	UHMW Ultra	UHMW 88-2	Teflon A	Teflon B	Teflon C	Testrong
1	5	7	3	4	2	6	8	1
2	4	2	6	8	5	3	1	7
3	7	5	8	6	3	1	4	2

Fonte: Autor (2021).

Da mesma forma que análise anterior, foi necessário validar as premissas da ANOVA (Figura 18).

Figura 18 - Validação das premissas da ANOVA para análise dos efeitos da incrustação nos corpos de prova

- a) percentil em função dos resíduos. b) resíduos em função dos valores ajustados.



Fonte: Minitab 17 (2021).

Os requisitos de normalidade dos resíduos e homoscedasticidade das amostras foram atendidos como observado na Figura 18. Além disso, é natural pressupor que as amostras são independentes já que cada corpo de prova tem uma composição diferente. Dessa forma, seguiu-se para a ANOVA.

A hipótese nula do teste afirmava que o nível de incrustação dos corpos de prova era o mesmo. Em contraste a isso, a hipótese alternativa afirmava que pelo menos um corpo de prova possuía nível de incrustação diferente das demais. O nível de significância do teste foi de 5%.

As médias e intervalos de confiança simultâneos em 95% de cada corpo de prova podem ser observados na (Tabela 8).

Tabela 8 - Médias e intervalos de confiança simultâneos dos corpos de prova.

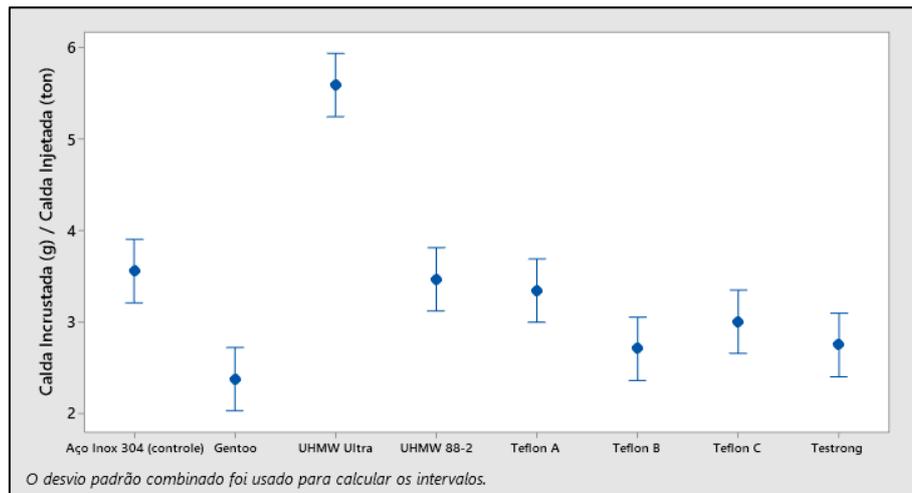
Fator	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Aço Inox 304 (controle)	3	3,5567	0,1301	(3,2107; 3,9027)
Gentoo	3	2,377	0,214	(2,031; 2,723)
UHMW Ultra	3	5,587	0,346	(5,241; 5,933)
UHMW 88-2	3	3,467	0,277	(3,121; 3,813)
Teflon A	3	3,343	0,492	(2,997; 3,689)
Teflon B	3	2,707	0,284	(2,361; 3,053)
Teflon C	3	3,0033	0,1358	(2,6573; 3,3493)
Testrong	3	2,750	0,200	(2,404; 3,096)

DesvPad Combinado = 0,282695

Fonte: Minitab 17 (2021).

Assim como no ensaio, a Figura 19 apresenta visualmente a média e seu intervalo de confiança simultâneos em 95% de cada corpo de prova.

Figura 19 - Intervalos de confiança simultâneos da média das incrustações por corpo de prova (95% de probabilidade).



Fonte: Minitab 17 (2021).

Na Tabela 9 a seguir, foi possível observar o resultado do teste.

Tabela 9 - Análise de variância da incrustação nos corpos de prova.

	Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	7	20,701	2,95734	37,01	0,000	
Erro	16	1,279	0,07992			
Total	23	21,980				

Fonte: Minitab 17 (2021).

Da Tabela 9, observa-se que o p-valor é nulo. Para um nível de significância de 5%, houve evidências estatística para rejeitar a hipótese nula. Também pode-se observar que as variações de incrustação causadas pela diferença de corpo de prova (fator) foram muito maiores do que as variações causadas pela incerteza do ensaio (erro). Com isso, pode-se concluir que pelo menos um corpo de prova incrusta de forma diferente dos demais.

O objetivo da análise foi determinar os efeitos dos antiaderentes na incrustação e comparar com o aço (controle), para determinar uma frequência de limpeza para cada revestimento. Contudo, a ANOVA não evidencia isso, apenas que existe pelo menos um corpo de prova que difere dos demais. Não se sabe quantos corpos de prova diferem entre si e nem o nível da diferença entre eles. Para responder essas questões, foi necessário realizar um teste de comparações múltiplas, os quais aplicam um nível de confiança para cada corpo

de prova (individual) superior ao desejado pelo teste, de modo a manter o nível de confiança das comparações simultâneas (conjunto) nos 95%. Quanto maior a quantidade de comparações, maior o intervalo de confiança individual (DUNN, 1961).

Portanto, como não há necessidade de comparar todos os corpos de prova entre si (apenas em relação ao controle), para esta análise, optou-se por utilizar o teste de Dunnett, que é indicado para este fim. Com isso, os intervalos de confiança individuais foram os menores possíveis para manter o nível de confiança simultâneo em 95%, em comparações com os outros testes. A implicação direta dessa escolha para este trabalho foi garantir a maior precisão possível nas comparações, de modo a mitigar o risco de excluir um revestimento que seria efetivo em relação ao aço (mesmo não sendo efetivo em relação à outro revestimento).

Para cada comparação entre determinado revestimento e aço, é válido o seguinte teste de hipóteses:

A hipótese nula afirmava que o nível de incrustação de determinado revestimento é igual à do aço. Ou seja, que a média de incrustação em um corpo de prova com antiaderente fosse igual ao aço, realizando a comparação de cada revestimento somente com o controle. Em contraste a isso, a hipótese alternativa dizia que era diferente. O nível de significância adotado foi de 5%.

Na Tabela 10 a seguir, foi possível observar o resultado do teste

Tabela 10 - Teste simultâneos de Dunnett para análise do efeito dos revestimentos na incrustação.

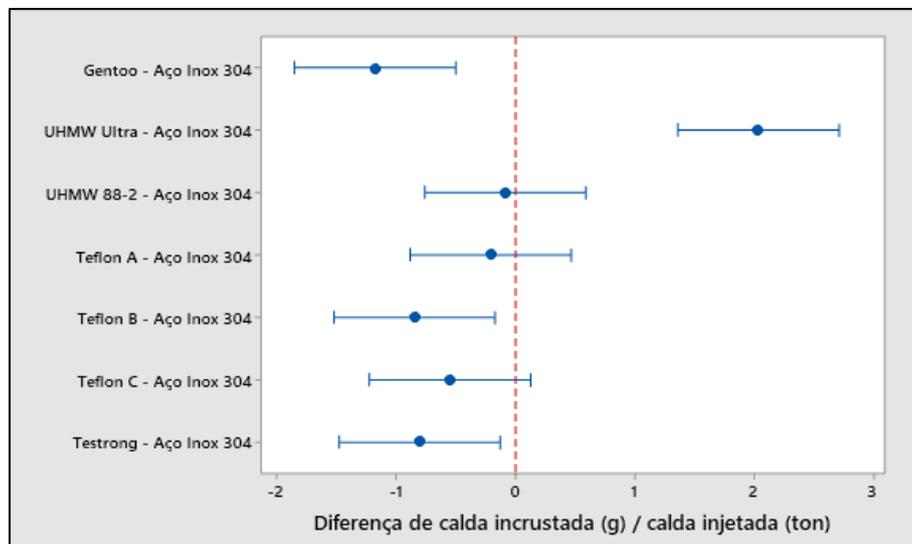
Testes Simultâneos de Dunnett para Média do Nível - Média de Controle					
Diferença de Níveis	Diferença de Médias	EP da Diferença	IC de 95%	Valor-T Ajustado	Valor-P
Gentoo - Aço Inox 304	-1,180	0,231	(-1,855; -0,505)	-5,11	0,001
UHMW Ultra - Aço Inox 304	2,030	0,231	(1,355; 2,705)	8,79	0,000
UHMW 88-2 - Aço Inox 304	-0,090	0,231	(-0,765; 0,585)	-0,39	0,999
Teflon A - Aço Inox 304	-0,213	0,231	(-0,888; 0,462)	-0,92	0,890
Teflon B - Aço Inox 304	-0,850	0,231	(-1,525; -0,175)	-3,68	0,011
Teflon C - Aço Inox 304	-0,553	0,231	(-1,228; 0,122)	-2,40	0,133
Testrong - Aço Inox 304	-0,807	0,231	(-1,482; -0,132)	-3,49	0,016

Nível de confiança individual = 99,01%

Fonte: Minitab 17 (2021).

A Figura 20 apresenta visualmente as diferenças de média e seu intervalo de confiança simultâneos em 95% de cada antiaderente em relação ao aço.

Figura 20 - Intervalos de confiança simultâneos das diferenças de médias das incrustações dos revestimentos em relação ao aço (95% de probabilidade).



Fonte: Minitab 17 (2021).

Se um intervalo não contiver o zero (linha tracejada), a média correspondente era significativamente diferente da média de controle (Figura 20). A Tabela 11 agrupa as informações, sendo as médias não rotuladas com a letra A significativamente diferentes da média do controle

Tabela 11 - Agrupamento do teste de Dunnett para análise do efeito dos revestimentos na incrustação.

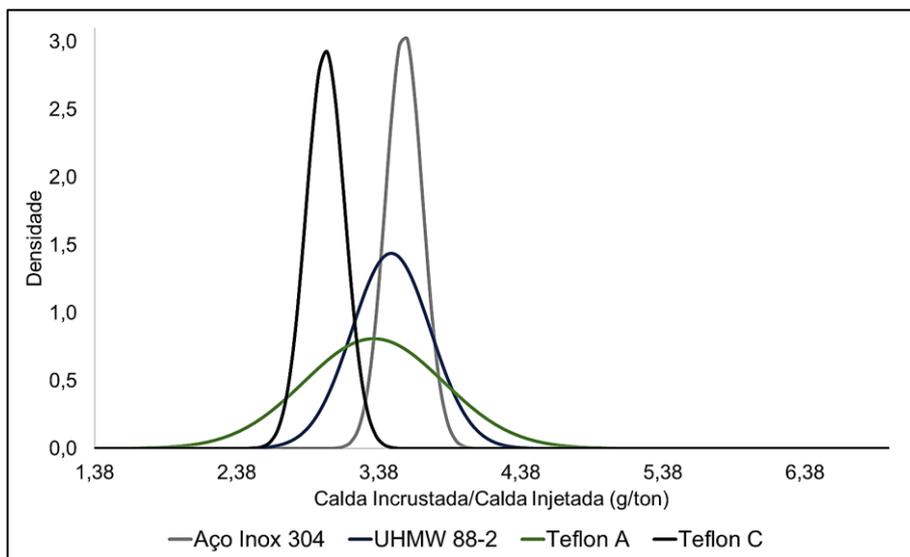
Fator	N	Média	Agrupamento
Aço Inox 304 (controle)	3	3,5567	A
UHMW Ultra	3	5,587	
UHMW 88-2	3	3,467	A
Teflon A	3	3,343	A
Teflon C	3	3,0033	A
Testrong	3	2,750	
Teflon B	3	2,707	
Gentoo	3	2,377	

Fonte: Minitab 17 (2021).

Da Tabela 11, o nível de incrustação do UHMW 88-2, Teflon A e Teflon C foram significativamente iguais ao Aço Inox 304, ainda que houvesse redução no nível médio de incrustação (2,53%, 6% e 15,56%, respectivamente), conforme indicado pela Tabela 10. Ou seja, não houve indicação de melhoria de

incrustação com a cobertura de revestimento, o que certamente não deveria implicar em alteração da frequência de limpeza em relação ao aço. Visualmente, as distribuições de sobrepõem, como ilustrado na Figura 21.

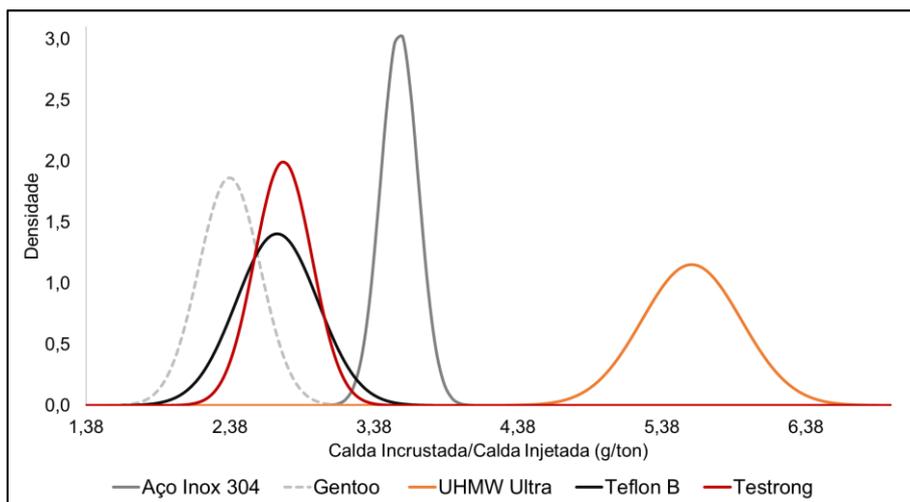
Figura 21 - Distribuições das incrustações nos corpos de provas com revestimentos de resultado similar ao controle.



Fonte: Autor (2021).

Por outro lado, a incrustação no UHMW Ultra, Testrong, Teflon B e no Gentoo foram significativamente diferentes do aço. Pode-se observar visualmente como as distribuições estão espaçadas do aço (Figura 22).

Figura 22 - Distribuições das incrustações nos corpos de provas com revestimentos de resultado diferente ao controle.



Fonte: Autor (2021).

O UHMW Ultra incrustou em média 57,08% a mais do que o aço, logo, a frequência de limpeza desse material seria maior que a atual, se implementado. Visto que a calda TSI é a base de polímero e o UHMW Ultra é um substrato polimérico, é possível que esse aumento de incrustação em relação ao aço seja uma consequência do aumento de adesão por interdifusão. Esse fenômeno é explicado pela teoria da reptação, que ocorre à medida que a massa molar do polímero aumenta (FARIAS, 2009). Sendo o UHMW Ultra um polímero de alto ultra peso molecular, é possível que essa interação adesiva tenha contribuição significativa na incrustação, maior que para os demais antiaderentes, de menor massa molar.

Naturalmente, os ensaios somente depõem para a eficácia em relação à natureza da adesão com a calda TSI. Em outras palavras, a relação poderia ser distinta para outros aderentes, mas o mesmo poderia ser dito para todos os resultados apresentados.

Em contrapartida, o Testrong, Teflon B e Gentoo, incrustaram em média 22,68%, 23,90% e 33,18% a menos que o aço (Tabela 10). Deste modo, tudo indica que esses três revestimentos implicariam em menor frequência de limpeza em relação ao aço, caso fossem implementados. Da Figura 22, percebe-se que as distribuições de probabilidade dos três se sobrepõem, o que sugere que seus níveis de incrustação são iguais, de modo a serem limpos com mesma frequência.

Considerando o teste de Dunnett e o gráfico das distribuições, foi possível classificar os materiais quanto ao nível de incrustação da calda TSI (Tabela 12) para auxiliar na tomada de decisão posterior.

Tabela 12 - Classificação do nível de incrustação dos materiais.

Material	Incrustação
Aço Inox 304 (controle)	Médio
Gentoo	Baixo
UHMW Ultra	Alto
UHMW 88-2	Médio
Teflon A	Médio
Teflon B	Baixo
Teflon C	Médio
Testrong	Baixo

Fonte: Autor (2021).

5.3 Avaliação do efeito do antiaderente na limpeza

Embora a avaliação da frequência de limpeza seja relevante, também é necessário avaliar o tempo de limpeza da crosta nos revestimentos em relação ao aço. Afinal, é a combinação desses dois fatores que influenciará na redução do *setup* total. Os corpos de prova que o jato de ar comprimido não foi capaz de limpar foram limpos com raspador metálico e, portanto, apresentaram maior tempo para remoção da crosta. Os resultados estão destacados abaixo na Tabela 13.

Tabela 13 - Triplicadas dos ensaios de remoção de crosta dos corpos de prova.

Posição Teste	Tempo de limpeza (s)								Calda Injetada (ton)
	Aço Inox 304* (controle)	Gentoo	UHMW Ultra*	UHMW 88-2*	Teflon A	Teflon B*	Teflon C	Testrong	
1	133	19	43	61	25	39	15	18	2,24
2	157	11	48	57	50	48	20	22	2,18
3	112	6	51	48	31	45	11	13	2,40

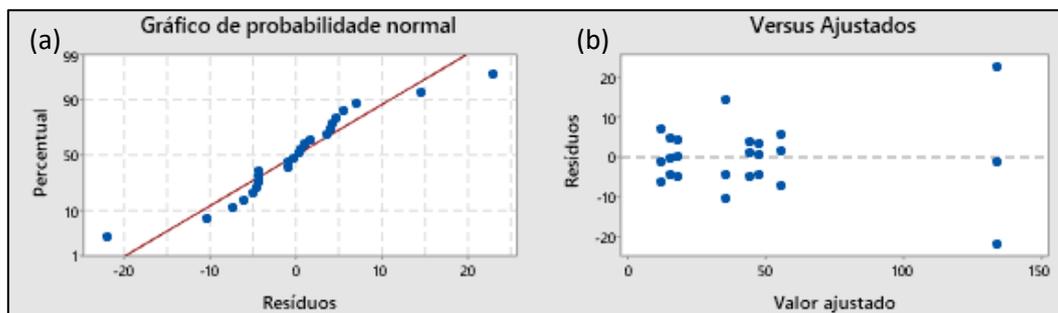
*limpo com raspador

Assim como análise anterior, foi realizado uma ANOVA dos tempos.

Da mesma forma que análise anterior, foi necessário validar as premissas da ANOVA (Figura 23).

Figura 23 - Requisitos teste de HSU para análise do efeito dos revestimentos no tempo de limpeza.

- a) percentil em função dos resíduos. b) resíduos em função dos valores ajustados.



Fonte: Minitab 17 (2021).

Pelo Figura 23, pressupõe-se que há normalidade e homoscedasticidade. Além disso, é natural pressupor que as amostras eram independentes, pela mesma razão da análise anterior. Dessa forma, seguiu-se para a ANOVA.

A hipótese nula do teste afirmava que o tempo de limpeza dos corpos de prova era o mesmo. Em contraste a isso, a hipótese alternativa afirmava que pelo menos um corpo de prova possuía tempo de limpeza diferente das demais. O nível de significância do teste foi de 5%.

As médias e intervalos de confiança simultâneos em 95% de tempo de limpeza para cada corpo de prova podem ser observados na (Tabela 14).

Tabela 14 - Médias e intervalos de confiança simultâneos dos tempos de limpeza para cada corpo de prova.

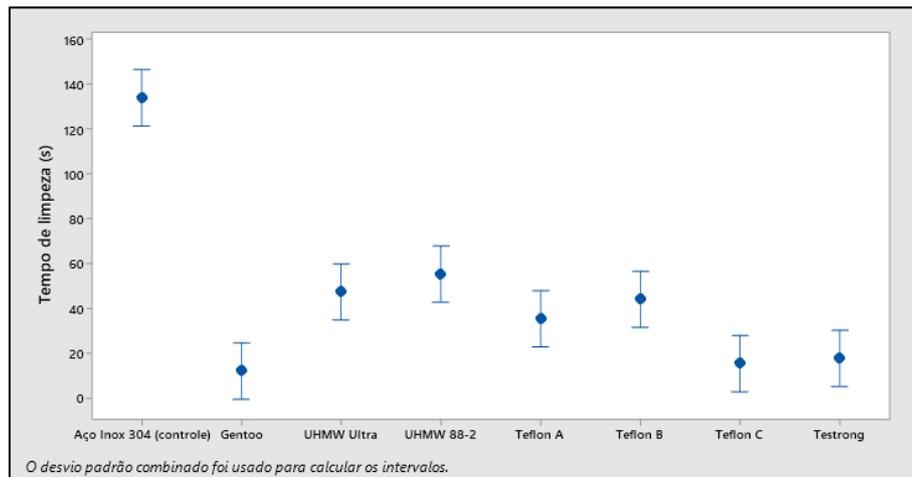
Fator	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Aço Inox 304 (controle)	3	134,0	22,5	(121,4; 146,6)
Gentoo	3	12,00	6,56	(-0,56; 24,56)
UHMW Ultra	3	47,33	4,04	(34,77; 59,89)
UHMW 88-2	3	55,33	6,66	(42,77; 67,89)
Teflon A	3	35,33	13,05	(22,77; 47,89)
Teflon B	3	44,00	4,58	(31,44; 56,56)
Teflon C	3	15,33	4,51	(2,77; 27,89)
Testrong	3	17,67	4,51	(5,11; 30,23)

DesvPad Combinado = 10,2632

Fonte: Minitab 17 (2021).

A Figura 24 apresenta visualmente a média e seu intervalo de confiança simultâneos em 95% de limpeza para cada corpo de prova.

Figura 24 - Intervalos de confiança simultâneos da média de limpeza por corpo de prova (95% de probabilidade).



Fonte: Minitab 17 (2021).

Na Tabela 15 a seguir, foi possível observar o resultado do teste.

Tabela 15 - Análise de variância da limpeza nos corpos de prova.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Fator	7	32531	4647,3	44,12	0,000
Erro	16	1685	105,3		
Total	23	34217			

Fonte: Minitab 17 (2021).

Da Tabela 15, observa-se que o p-valor é nulo. Para um nível de significância de 5%, houveram evidências estatística para rejeitar a hipótese nula. Também pode-se observar que as variações de incrustação causadas pela diferença de corpo de prova (fator) foram muito maiores do que as variações causadas pela incerteza do ensaio (erro). Com isso, pode-se concluir que pelo menos um corpo de prova foi limpo de forma diferente dos demais.

Assim como no ensaio anterior, foi aplicado o teste de Dunnett para comparar os revestimentos com o aço (controle). Para cada comparação, foi válido o seguinte teste de hipóteses:

A hipótese nula afirma que o tempo de limpeza de determinado revestimento é igual à do aço. Ou seja, que a média de limpeza em um corpo de prova com antiaderente fosse igual ao aço, realizando a comparação de cada

revestimento somente com o controle. Em contraste a isso, a hipótese alternativa dizia que era diferente. O nível de significância adotado foi de 5%.

Na Tabela 16 a seguir, foi possível observar o resultado do teste

Tabela 16 - Teste simultâneos de Dunnett para análise do efeito dos revestimentos na limpeza.

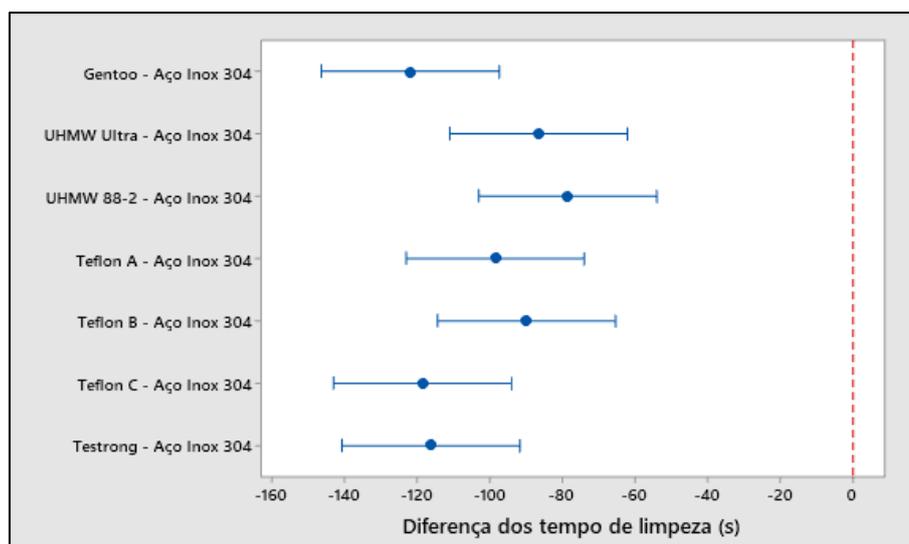
Diferença de Níveis	Diferença de Médias	EP da Diferença	IC de 95%	Valor-T Ajustado	Valor-P
Gentoo - Aço Inox 304	-122,00	8,38	(-146,50; -97,50)	-14,56	0,000
UHMW Ultra - Aço Inox 304	-86,67	8,38	(-111,17; -62,16)	-10,34	0,000
UHMW 88-2 - Aço Inox 304	-78,67	8,38	(-103,17; -54,16)	-9,39	0,000
Teflon A - Aço Inox 304	-98,67	8,38	(-123,17; -74,16)	-11,77	0,000
Teflon B - Aço Inox 304	-90,00	8,38	(-114,50; -65,50)	-10,74	0,000
Teflon C - Aço Inox 304	-118,67	8,38	(-143,17; -94,16)	-14,16	0,000
Testrong - Aço Inox 304	-116,33	8,38	(-140,84; -91,83)	-13,88	0,000

Nível de confiança individual = 99,01%

Fonte: Minitab 17 (2021).

A Figura 25 apresenta visualmente as diferenças de média de tempo de limpeza e seu intervalo de confiança simultâneos em 95% de cada antiaderente em relação ao aço.

Figura 25 - Intervalos de confiança simultâneos das diferenças de médias das limpezas dos revestimentos em relação ao aço (95% de probabilidade).

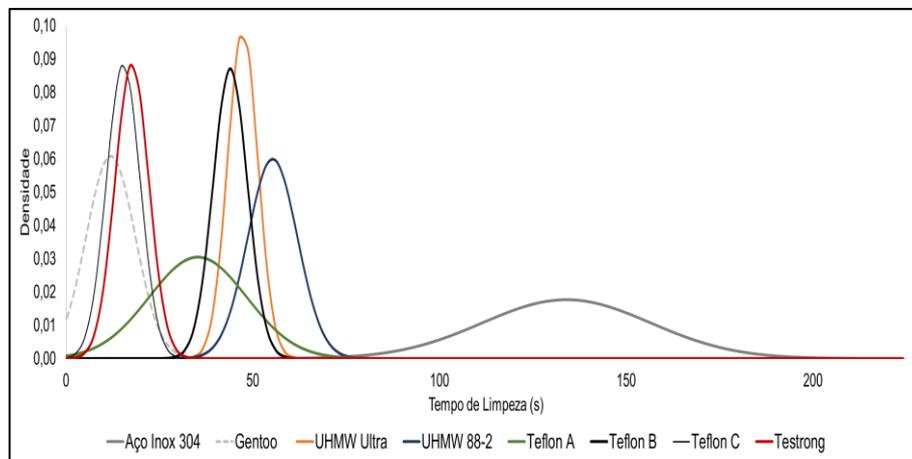


Fonte: Minitab 17 (2021).

Da Figura 25, observa-se que nenhum intervalo de confiança contém o zero. Então, pode-se concluir que o tempo de limpeza de todos os revestimentos

são diferentes do aço. Visualmente, observe-se na Figura 26 que a distribuição do aço (controle) não se sobrepõe a nenhuma outra.

Figura 26 - Distribuições de probabilidades dos tempos de limpeza dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2021).

Além disso, percebe-se da Tabela 16 que as diferenças de médias de todos os revestimentos em relação ao aço são negativas, ou seja, trata-se de uma redução no tempo de limpeza. Portanto, os resultados indicaram que a implementação de qualquer revestimento deveria implicar em alteração da duração do *setup*, de modo a reduzi-lo.

No ensaio anterior, pelas distribuições de probabilidade e pelo teste de Dunnett foi suficiente segregar os revestimentos para determinar a frequência de limpeza. Contudo, nesse ensaio, as distribuições de probabilidade sugerem o mesmo do teste de Dunnett: o tempo de remoção de crosta de todos os revestimentos são menos do que o aço, mas não é possível segregá-los visualmente, de modo que impossibilitou a estimativa de duração do *setup* para análise econômica (Figura 26).

Portanto, nesse cenário, foi necessário realizar outro teste de comparações múltiplas e optou-se por utilizar o teste de HSU. A vantagem desse teste para o de Tukey é que por fazer menos comparações que o de Tukey, os níveis de significância das comparações individuais não precisam ser tão reduzidos, ou seja, os intervalos de confiança são menores (HSU, 1985). Esse teste busca identificar médias significativamente diferentes do “melhor”, que é utilizado como referência. O “melhor” pode ser aquele que tem a menor ou a

maior média. Como o aço foi aquele que apresentou a maior média, o “melhor” foi o corpo de prova que teve o menor tempo de limpeza, a saber, o Gentoo (Tabela 14). O teste de HSU foi realizado com as seguintes hipóteses:

A hipótese nula afirmava que o tempo de limpeza de determinado revestimento e do “melhor” eram iguais. A hipótese alternativa dizia que eram diferentes. O nível de significância do teste foi de 5%.

Os resultados do teste encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 – Testes simultâneos de Hsu para análise do efeito de limpeza dos revestimentos em relação ao “melhor”.

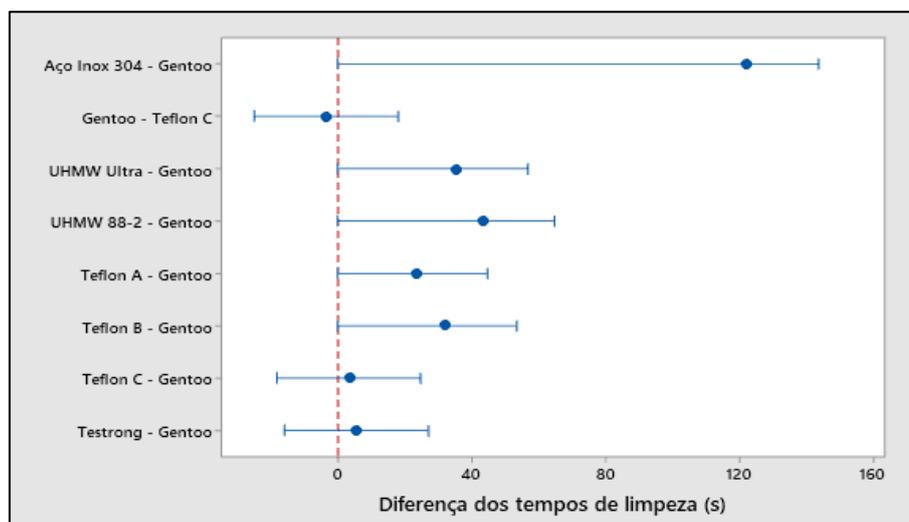
Diferença de Níveis	Diferença de Médias	EP da Diferença	IC de 95%	Valor-T	Valor-P Ajustado
Aço Inox 304 - Gentoo	122,00	8,38	(0,00; 143,43)	14,56	0,000
Gentoo - Teflon C	-3,33	8,38	(-24,77; 18,10)	-0,40	0,749
UHMW Ultra - Gentoo	35,33	8,38	(0,00; 56,77)	4,22	0,002
UHMW 88-2 - Gentoo	43,33	8,38	(0,00; 64,77)	5,17	0,000
Teflon A - Gentoo	23,33	8,38	(0,00; 44,77)	2,78	0,033
Teflon B - Gentoo	32,00	8,38	(0,00; 53,43)	3,82	0,004
Teflon C - Gentoo	3,33	8,38	(-18,10; 24,77)	0,40	0,749
Testrong - Gentoo	5,67	8,38	(-15,77; 27,10)	0,68	0,632

Nível de confiança individual = 97,89%

Fonte: Minitab 17 (2021).

A Figura 27 apresenta visualmente as diferenças de média de tempo de limpeza e seu intervalo de confiança simultâneos em 95% de cada antiaderente em relação ao aço.

Figura 27 - Intervalos de confiança simultâneos das diferenças de médias das limpezas dos revestimentos em relação ao menor (95% de probabilidade).

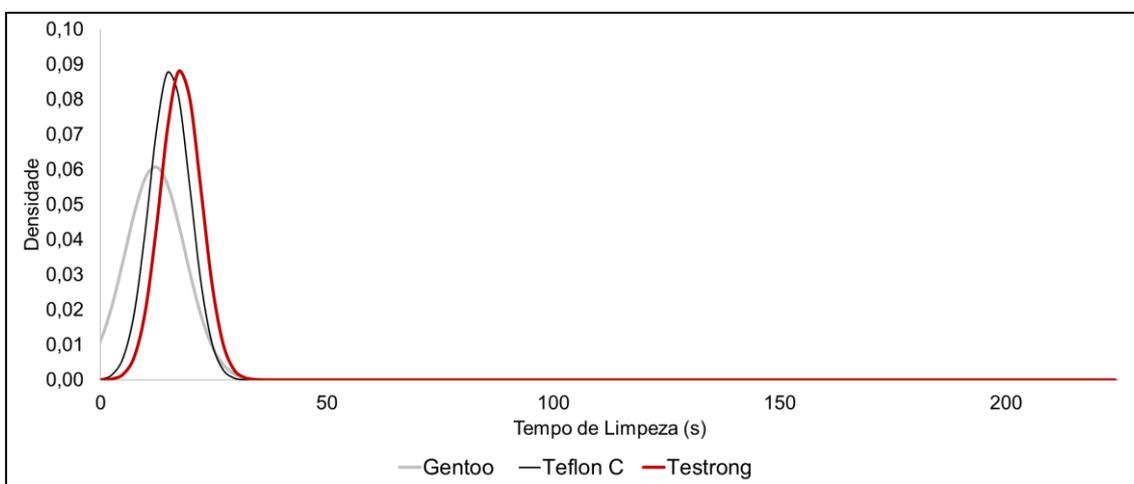


Fonte: Minitab 17 (2021).

Diferente do teste de Dunnett, as médias correspondentes serão significativamente diferentes, se um dos extremos do intervalo de confiança for zero (Figura 27). Desse modo, os revestimentos que tiveram desempenho equivalente ao Gentoo foram o Teflon C e o Testrong, que reduziram de modo absoluto em 91,04%, 88,56% e 86,82% a duração da limpeza em comparação com o aço (Tabela 14).

Pela Figura 28, é notório que, embora as médias do tempo de limpeza desses três revestimentos sejam distintas, as distribuições se sobrepõem significativamente.

Figura 28 - Distribuições de probabilidade dos tempos de limpeza dos revestimentos com desempenho similar ao Gentoo.

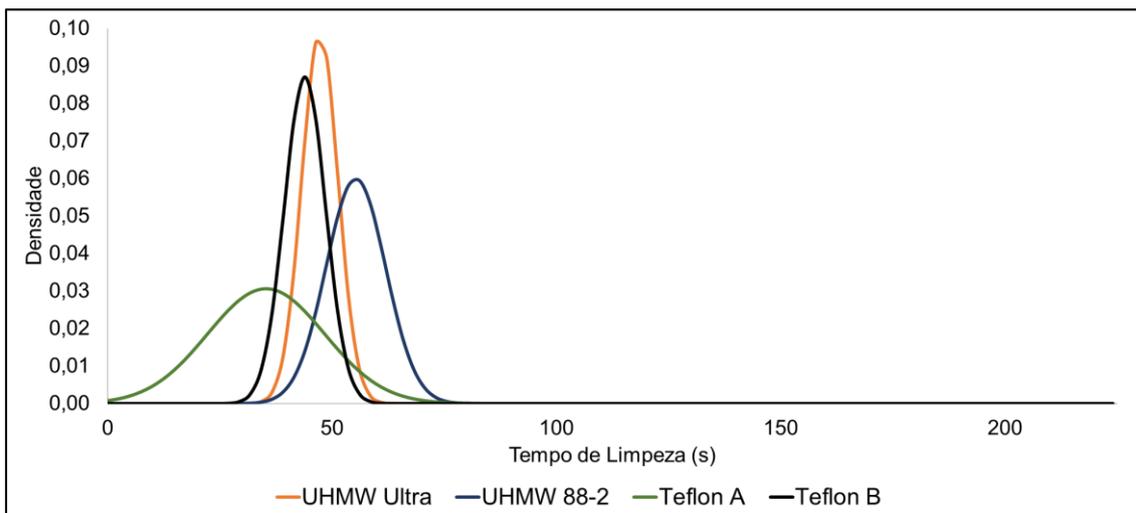


Fonte: Autor (2021).

Em contrapartida, da Figura 27, pode-se identificar que os revestimentos que são diferentes do Gento foram o UHMW Ultra, UHMW 88-2, Teflon A e Teflon B (Sabia-se que o aço era diferente do teste de Dunnett).

Além disso, pela Figura 29, é possível perceber que os tempos de limpeza entre eles são próximos e possivelmente equivalentes em termos estatísticos ao considerar a incerteza dos ensaios, visto que as distribuições se sobrepõem significativamente.

Figura 29 - Distribuições de probabilidade dos tempos de limpeza revestimento com desempenho distinto ao Gentoo.



Fonte: Autor (2021).

Ou seja, mesmo que as placas revestidas com UHMW Ultra, UHMW 88-2, Teflon A e Teflon B terem o tempo de limpeza reduzido de 64,68%, 58,71%, 73,63% e 67,16% em relação ao aço (Tabela 14) eles são estatisticamente iguais.

Portanto, considerando o teste de Hsu e os gráficos de distribuições, pode-se classificar os materiais em relação a facilidade de limpeza, conforme a Tabela 18, de modo a indicar aqueles que teriam a mesma duração de *setup*.

Tabela 18 - Classificação da facilidade de limpeza dos materiais.

Material	Limpeza
Aço Inox 304* (controle)	Difícil
Gentoo	Fácil
UHMW Ultra*	Médio
UHMW 88-2*	Médio
Teflon A	Médio
Teflon B*	Médio
Teflon C	Fácil
Testrong	Fácil

*limpos com raspador

5.4 Avaliação econômica do investimento

Ainda que a tenha sido uma moeda fictícia para a avaliação econômica, os dados serão apresentados para indicar a metodologia utilizada e destaca-se que a resposta com relação à viabilidade independe da moeda utilizada como base de cálculo.

Com isso, a companhia perde UMR\$ 23,46 a cada minuto do setor de tratamento parado (C_p). Sendo a quantidade de *setups* nos próximos 2 anos de 60 por ano e a duração média de limpeza do conjunto de tampas do processo é 1h40min ou 100 min, a estimativa de prejuízo é de UMR\$ 46.920 ao ano, sendo este valor o fluxo de caixa de referência.

O custo do *setup* que compõem o fluxo de caixa dos revestimentos foi influenciado pelos resultados dos ensaios do presente trabalho. Do ensaio de incrustação, pôde-se segregar estatisticamente os corpos de provas em três grupos, cada um com mesmo nível de incrustação e distinto dos demais (Tabela 12). Assim, com base nas médias de incrustação dos corpos de prova (Tabela 8) em relação ao aço, foi possível estimar a quantidade de *setup* por ano necessária para cada alternativa de investimento (Tabela 19).

Tabela 19 – Estimativa de quantidade de *setup* anual de cada revestimento.

Material	Incrustação	Média (g/ton)	Média Grupo (g/ton)	% comparado ao aço	Quantidade de <i>setup</i> (unit)
UHMW Ultra	Alto	5,59	5,59	174,55%	105
Aço Inox 304 (controle)	Médio	3,55	3,20	100,00%	60
UHMW 88-2	Médio	3,21			60
Teflon A	Médio	3,03			60
Teflon C	Médio	3,02			60
Testrong	Baixo	2,75	2,61	81,60%	49
Teflon B	Baixo	2,71			49
Gentoo	Baixo	2,38			49

Fonte: Autor (2021).

Do ensaio de remoção de crosta, pôde-se segregar estatisticamente os corpos de provas em três grupos, cada um com mesmo tempo de limpeza e distinto dos demais (Tabela 18). Assim, com base nos tempos de limpeza médio dos corpos de prova (Tabela 14) em relação ao aço, foi possível estimar a duração de *setup* necessária para cada alternativa de investimento (Tabela 19).

Tabela 20 – Estimativa de duração de *setup* de cada revestimento.

Material	Limpeza	Média (min)	Média Grupo (min)	% comparado ao aço	Duração do <i>setup</i> (min)
Aço Inox 304* (controle)	Difícil	100	100	100%	100
UHMW 88-2*	Médio	55,33	45,50	45,50%	46
UHMW Ultra*	Médio	47,33			46
Teflon B*	Médio	44			46
Teflon A	Médio	35,33			46
Testrong	Fácil	17,67	15	15,00%	15
Teflon C	Fácil	15,33			15
Gentoo	Fácil	12			15

Fonte: Autor (2021).

Os custos logístico, de aquisição e de aplicação foram evidenciados na Tabela 21. É válido destacar que o custo de aplicação anual depende da frequência de aplicação dos revestimentos, que foi fixada em 2 vezes por anos, durante os períodos de entressafra, com exceção do UHMW Ultra e 88-2. Estes, por sua vez, são largamente utilizados em silos, moegas, caminhões na indústria de milho, e permanecem estáveis sem necessidade de aplicação.

Tabela 21 – Tipos de custo de cada uma das alternativas de revestimento em UMR\$.

Tipo de custo	Gentoo	UHMW Ultra*	UHMW 88-2*	Teflon A	Teflon B*	Teflon C	Testrong
Custo de aplicação (UMR\$)	500,00	3.333,33	3.333,33	1.900,00	2.106,67	1.240,00	1.400,00
Custo logístico (UMR\$)	N.A.	568,64	294,45	294,45	294,45	598,34	498,52
Custo de aquisição (UMR\$)	1.501,21	764,00	532,05	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

N.A. - Não aplicável, *limpos com raspador

Fonte: Autor (2021).

Da Tabela 21, os revestimentos de UHMW Ultra e de UHMW 88-2 seriam formados a partir do processo de termoformagem à vácuo de chapas desses materiais à geometria da tampa, sendo, este, um processo especializado e custoso. Já os revestimentos de Teflon A, Teflon B, Teflon C e Testrong seriam formados a partir de um processo de limpeza, jateamento, pintura e cura da tampa do tratador, sendo realizado pelos próprios fornecedores com seus aparatos industriais. Os custos desses produtos estão inclusos nos custos de aplicação.

Ademais, o processo de formação do revestimento Gentoo seria manipular e preparar o kit comprado, em seguida aplicar na tampa com pistola de pintura e por fim deixar curando por tempo determinado. Visto que o Gentoo é um produto comercial e sua aplicação pode ser realizada internamente, ele não tem nenhum custo logístico, diferente dos demais.

Uma vez que as premissas foram estabelecidas, seguem os fluxos de caixa e análise de investimento de cada alternativa de investimento (Tabela 22).

Tabela 22 - Fluxo de caixa, VPL e TIR das alternativas de investimento em UMR\$

Ano	Gentoo	UHMW Ultra*	UHMW 88-2*	Teflon A	Teflon B*	Teflon C	Testrong
0	-2.001,21	-8.567,95	-7.787,61	-2.488,89	-2.695,56	-2.436,69	-2.397,04
1	40.172,30	9.149,40	25.336,80	20.359,01	23.902,60	35.008,63	36.378,22
2	40.172,30	9.149,40	25.336,80	20.359,01	23.902,60	35.008,63	36.378,22
VPL	60.894,23	5.756,73	31.880,75	29.386,03	34.727,36	52.374,29	54.558,23
TIR (%)	20,03%	0,70%	3,06%	8,08%	8,77%	14,31%	15,12%

*limpos com raspador

O Valor Presente Líquido (VPL) de todas as alternativas de investimento é positivo. Isso significa que, a uma taxa de desconto de 18% a.a., o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros excede o investimento que precisa ser feito. Em outras palavras, a economia gerada com os revestimentos traz saldo positivo frente ao investimento inicial.

Contudo, é válido ressaltar que o UHMW Ultra, UHMW 88-2 e o Teflon B podem não trazer a economia descontada. Isso porque a limpeza da tampa nessas alternativas seria realizada com raspador, causando um desgaste abrasivo no revestimento de modo a influenciar na frequência de reaplicação dele, e conseqüentemente, na redução dos fluxos de caixa. Espera-se que a economia gerada em termos do tempo poupado no processo possa superar as necessidades de investimento, comportadas as taxas de juros indicadas.

É interessante avaliar que, ainda que todas alternativas tenham VPL positivo, apenas o Gentoo tem um TIR > TMA de 20,03% a.a, sendo, portanto, o único viável. Ou seja, ainda que todas as alternativas tragam uma economia para a empresa, apenas o Gentoo traz o retorno desejado que justifique o investimento.

6. CONCLUSÃO

Os efeitos da posição dos corpos de prova (placas) nos ensaios de avaliação de antiaderentes não influenciavam o nível de incrustação. Assim, os ensaios de avaliação de antiaderente puderam ser realizados com todos os corpos de prova fixados na tampa da tratadeira. Nos ensaios para avaliação de antiaderente, o Gentoo, Teflon B e Testrong foram os revestimentos que tiveram o menor nível de incrustação e comparativamente apresentaram redução em relação ao controle de aço. Portanto, seriam os revestimentos que precisariam de menor frequência de limpeza.

Os corpos de prova revestidos com Gentoo, Teflon C e Testrong puderam ser completamente limpos somente com o jateamento de ar comprimido. Pela facilidade de limpeza, tais antiaderentes ofereceriam menor tempo de *setup*. Apesar do Teflon B ser um dos revestimentos que apresentaram menor nível de incrustação que o aço, somente pôde ser limpo ao utilizar raspagem.

A avaliação econômica pelo VPL, indicou que todas as alternativas trariam economia para a empresa, contudo, a TIR evidenciou que apenas o Gentoo traria uma economia suficiente para justificar o investimento, sendo de UMR\$ 91.706,04 no tempo presente. Portanto, é válido ressaltar a importância de realizar mais de uma análise de investimento para a tomada de decisão mais assertiva.

Em síntese, as análises realizadas indicaram que o revestimento denominado Gentoo seria o recomendado para redução de tempo de *setup*. Ele se apresentou adequado para redução de incrustação, redução do tempo de limpeza e foi o que indicou maior retorno financeiro. Esses elementos se unem à facilidade de aplicação para indicação do Gentoo como melhor alternativa no momento.

Não se sabe com precisão a durabilidade de cada revestimento, o que poderia influenciar na frequência de reaplicação, e conseqüentemente, nos custos do investimento. Contudo, não se observou visualmente desgaste de nenhum dos revestimentos dos corpos de prova mesmo após os ensaios realizados. Dada a complexidade de ensaios de desgaste e abrasão e a TIR incremental de 20,03% a.a. calculada a partir de premissas factíveis,

recomenda-se aplicar o revestimento Gentoo e acompanhar sua durabilidade durante o processo e suas paradas.

Deste modo, comprovada durabilidade necessária, acredita-se que essa será uma ótima alternativa para economia de tempo de *setup*, redução de geração de resíduos contaminados e melhoria da qualidade ergonômica para o trabalho de operadores.

7. REFERÊNCIAS

ABATI, J.; BRZEZINSKI, C. R.; HENNING, A. A. **Semente tratada**. Revista Cultivar, Pelotas, Ano XV, n.173, p. 30-32, out. 2013. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/revistas/110>. Acesso em: 20 out. 2021.

ABNT NBR 14922. **Semi-acabados de UHMW - Requisitos e métodos de ensaio**, 2013.

ALBUQUERQUE, Jorge A. C. **O plástico na prática**, Porto Alegre, 1990, Editora Sagra, p. 22-40.

ANDRADE, R. V.; ANDREOLI, C.; BORBA, C. S.; AZEVEDO, NETTO, D. A. M.; OLIVEIRA, A. C. **Efeito da forma e do tamanho da semente no desempenho no campo de dois genótipos de milho**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, DF, v. 19, n. 1, p. 62-65, 1997.

ANDRADE, R. V.; ANDREOLI, C.; BORBA, C. S.; AZEVEDO, J. T.; NETTO, D. A. M.; OLIVEIRA, A. C. **Influência do tamanho e da forma da semente de dois híbridos de milho na qualidade fisiológica durante o armazenamento**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 367- 371, 1998.

BARON. **Qual a diferença entre o uhmw tradicional e o duramaxx?** São Carlos, 1 jun. 2021. Disponível em: <http://baron.com.br/diferencas-uhmw-e-duramaxx/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

BAUDET, L.L.; MISRA, M.K. **Atributos de qualidade de sementes de milho beneficiadas em mesa de gravidade**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.13, n.2, p.91-97, 1991.

BAYER. **Seed Treatment machinery**. Catálogo. 2012. Disponível em: https://www.seedquest.com/id/g/gustafson/pdf/2012_catalog.pdf. Acesso em: 23 jun. 2021

BAYER. **TSI x ON FARM: Conheça os 5 principais benefícios do Tratamento de Sementes Industrial**. 2019. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/mundo-agro/agropedia/tratamento-semente-industrial>. Acesso em: 12 out. 2021.

BITTENCOURT, Bernadete A. *et al.* **Cold compression molding of ultra high molecular weight polyethylene. Part 1: influence of the size, distribution and morphology of particles on the green density**. Polímeros, São Carlos. v. 19, n. 3, p.224-230, 2016.

BOIM, J. M. **Modelagem semi-analítica para incrustação do sulfato de bário em reservatórios heterogêneos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Reservatório e de Exploração de Petróleo) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Macaé.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011**. Brasília, 2011.

CAIVANO, M. V. **Redução de reprocessos em uma indústria de milho através da utilização de ferramentas da metodologia 6 sigma**. Orientador: Wisley Falco Salaes. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

CAMARGO, R.; CARVALHO, M. L. M. **Armazenamento a vácuo de semente de milho doce**. Rev. bras. sementes [online]. 2008, vol.30, n.1, pp. 131-139.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª edição., São Paulo: Artliber, 2002.

CASA, R.T., REIS, E.M., NERBASS, F.R. Implicações epidemiológicas da transmissão de fungos em sementes de milho. In: **Manejo de doenças de grandes culturas**: feijão, batata, milho e sorgo. Lavras: UFLA, 2006. p. 202-212

CARDWELL, K.F. *et al.* **Interactions between Fusarium verticillioides, Aspergillus flavus, and insect infestation in four maize genotypes in lowland Africa.** Phytopathology, Saint Paul, v. 90, n. 3, p. 276-284, Mar. 2000

CARVALHO, M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** Jaboticabal: FUNEP, 429 p, 2000.

COATRESA. **Teststrong coatings: bakeware coatings.** Disponível em: <https://www.coatresa.com/en/teststrong-coatings/>. Acesso em: 15 abr. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a Agropecuária. Volume 3 – Safra 2015/2016** Produtos de Verão. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_24_11_44_50_perspectivas_agropecuaria_2015-16_-_produtos_verao.pdf. Acesso em: 23 mar. 2016.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. Milho - **Caracterização e Desafios Tecnológicos.** Embrapa, 2019.

CRITCHLOW, G.W.; LITCHFIELD, R.E.; SUTHERLAND, I., GRANDYA, D.B.; WILSON, S. - **A review and comparative study of release coatings for optimised adhesion in resin transfer moulding applications** - International Journal of Adhesion & Adhesives 26 (2006) 577–599.

DUNN, O. J. **Multiple Comparisons Among Means.** Journal of the American Statistical Association, vol. 56, n. 293, p. 52- 64, 1961. Acesso em: 27 out. 2021.

EBNESAJJAD, S.; Khaladkar, P. R. **Fluoropolymers Applications in the Chemical Processing Industries**: the definitive user's guide and databook. New York: William Andrew, 2006.

EMBRAPA. **Cultivares e Sementes**. Brasília, 16 ago. 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01_28_168200511158.html. Acesso em: 22 out. 2021.

FANCELLI, A. L.; DOURADO N, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz'/USP/LPV, 2003. 208p.

FARIAS, T. M. **Determinação de espectros de relaxação e distribuição de massa molar de polímeros lineares por reometria**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Rio Grande do Sul.

FERREIRA, R. L.; SÁ, M. E. **Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, DF, v. 32, n. 4, p. 99-110, 2010.

FROTA, T. M. P. **Incrustação em um poço produtor de petróleo e gás natural: um estudo de caso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Rio Grande do Norte.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. DE. **A secagem de sementes**. Ciência Rural, v.34, n.2, mar-abr, 2004.

GFB. **Gentoo**. Disponível em: <https://ultratechbrasil.com.br/produto/gentoo>. Acesso em: 8 abr. 2021.

HSU, J. C. **Communications in Statistics - Theory and Methods**. Ohio: Taylor & Francis, 1985, v. 14, p. 2009-2028.

KIKUTI, A. L. P.; VASCONCELOS, R. C. D.; MARINCEK, A.; FONSECA, A. H. **Desempenho de sementes de milho em relação à sua posição na espiga**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 27, n. 4, p. 765- 770, 2003.

MACHADO, José da Cruz; WAQUIL, José Magid; SANTOS, Jamilton Pereira; REICHENBACH, Ohann Wilhelm. **Tratamento de sementes no controle de**

fitopatógenos e pragas. Sementes: inovações tecnológicas no cenário nacional, Belo Horizonte, v. 27, n. 232, p. 76-87, 2006.

MCKEEN, L. W. **Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices.** New York: Willian Andrew, 2014, p. 21-53.

MENTEN, J. O.; Moraes, M. H. D. **Tratamento de sementes: histórico, tipos, características e benefício.** Informativo ABRATES, v. 20, n. 3, 2010.

MINITAB Inc. Statistical Software Data Analysis Software. Version 17, 2017.

MONTGOMERY, D.C.; Runger, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2009.

MOTTA, Régis; CALÔBA, Guilherme. **Análise de Investimentos: Tomada de Decisão em Projetos Industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

NAGAPPAN, S.; HA, C. S. **Emerging trends in superhydrophobic surface based magnetic materials: fabrications and their potential applications.** Journal of Materials Chemistry A, v. 3, n. 7, p. 3224-3251. 2015

NEVES, J. C.; Mohallem, N. D. S.; Viana, M. M. **Materiais Autolimpantes: Conceitos, Propriedades e Aplicações.** Belo Horizonte: Revista Virtual de Química, 2021, v. 13, n. 2, p. 540-550.

OLIVEIRA, R. **Understanding adhesion: a means for preventing fouling.** Experimental, Thermal and Fluid Science, v. 14, p. 316-322, 1997.

OHNO, T., **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PACKHAM, D. E. **Surface roughness and adhesion.** Surfaces, Chemistry and Applications. Midland, USA: Elsevier B.V., 2003. 317-349 p.

PAIVA, L. E.; MEDEIROS FILHO, S.; FRAGA, A. C. **Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre**

danos mecânicos e qualidade fisiológica. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 24, n. 4, p. 846-856, 2000.

PARISE, J.J.D.; MEDINA, P.F.; **Tratamento de semente.** Informativo: Instituto agrônômico de Campinas – IAC, Campinas – SP, 2012.

PATANKAR, M. P. **The Evaluation of the Effect of Processing Parameters on Adhesion Performance of Polyether based TPU over mold on to Polycarbonate Substrate**, 2010. 72 f. (Master of Science Thesis)- Stony Brook University, 2010.

PEIXOTO, F. L. **Aplicação do Processo de Sobreinjeção em Insetos de Termoplástico Utilizando Moldes de Fabricação Rápida.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2009.

PESKE, S.; BAUDET, L.L. Beneficiamento de sementes. In: PESKE, S. *et al.* **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2003. 418p.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A; Beneficiamento de Sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.R.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** 1ª ed. Ed.Universitária UFPel, 2003a. Pelotas. 418 p.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A. **Revista SEED News** março/abril - ano. XII n. 2, 2008. Disponível em <http://www.seednews.inf.br/portugues/seed122/artigocapa122.shtml>, acesso em 10 de outubro 2014.

PINTO, N.F.J. de A. Patologia de sementes de milho. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 44p. (Embrapa-CNPMS, **Circular Técnica**, 29).

PLATZEN, H. Ferramentas modernas para o tratamento de sementes. **Seed News**, Pelotas, v. 16, n. 1, p. 10-11, jan. 2012.

POCIUS, A.V. **Chemistry and Applications.** In: CHAUDHURY, M. Bethlehem, PA I81 05 U.S.A: M. Chaudhury, 2002. 1226 p.

PREVIERO, C. A. **Modelo de gestão da qualidade para usinas de beneficiamento de sementes de milho**. Campinas, SP, 2001. 220 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2001.

REBELATTO, Daisy. **Projeto de Investimento**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2004.

SATOLO, E. G.; CALARGE, F. A.; **Troca Rápida de Ferramentas: estudo de casos em diferentes segmentos industriais**. Exacta, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 283-296, jul./dez. 2008.

SEMENTES BIOMATRIX. **Tratamento de sementes: uma história de sucesso**. 2021. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/blog/sementes/tratamento-de-sementes/>
Acesso em: 12 out. 2021.

SHINGO, S., **O Sistema Toyota de Produção – Do ponto de vista da engenharia de produção**. Ed. Bookman: Porto Alegre, 1996.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

TROGELLO, E.; NOBRE, D. A. C.; KOLLING, E. M.; MODOLO, A. J.; TROGELLO, A. G. **Acompanhamento de uma unidade beneficiadora de sementes de milho - estudo de caso**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, v. 12, n. 2, p. 193-201, 2013.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VAROTTO, A. *et al.* **Self-organization of a new fluorinated porphyrin and c60 films on indium-tin-oxide electrode**. Chem. Commun., The Royal Society of Chemistry, p. 4921–4923, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/B806795C>. Acesso em: 20 set. 2021

VAUGHAN, C.E.; GREGG, B.R.; DELOUCHE, J.C. **Beneficiamento e manuseio de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, AGIPLAN, 1976. 195p

VIEIRA, R. A. **Avaliação de perdas no processo de beneficiamento de milho para semente**. Orientador: Francisco Faggion. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia- Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

VILLELA, F.A; SILVA, W.R. **Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.49, n.1, p.145-153,1992.

WANKE, P. **TEORIA DAS RESTRIÇÕES: PRINCIPAIS CONCEITOS E APLICAÇÃO PRÁTICA**. 2004. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/teoria-das-restricoes-principais-conceitos-e-aplicacao-pratica/>. Acesso em: 22 out. 2021

WATKINSON, A.P.; WILSON, D.I. **Chemical reaction fouling: a review**. Experimental Thermal and Fluid Science, v. 14, p. 361-374, 1997

WELCH, G. B. **Beneficiamento de sementes no Brasil**. 2. ed. Brasília: AGIPLAN, 1973. 205 p.

WOOL, R. P. **Diffusion and autohesion**. In: POCIUS, A. V. (Org.). Adhesion Science and Engineering: Surfaces, Chemistry and Applications. Newark DE: Elsevier B.V., 2002. 351-401 p. DOI: 10.1016/B978-0-444-51140-9.50008-1.

ZHANG, S.; ZENG, X.; TANG, Z.; TAN, M. J. - **Exploring the Antisticking Properties of Solid Lubricant Thin Films in Transfer Molding** - International Journal of Modern Physics B, 2002, 16, 1080