



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

BRUNA FELIZARDO DE LIMA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS EMBALAGENS FLEXÍVEIS
DE POLIETILENO COM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL**

Tubarão

2020

BRUNA FELIZARDO DE LIMA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS EMBALAGENS FLEXÍVEIS
DE POLIETILENO COM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL**

Relatório de Estágio Obrigatório apresentado
ao Curso de Engenharia Química da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Alessandro de Oliveira Limas, Ms.

Coorientador: Marcos Marcelino Mazzucco, Dr.

Tubarão

2020

BRUNA FELIZARDO DE LIMA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS EMBALAGENS FLEXÍVEIS
DE POLIETILENO COM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL**

Este Relatório de Estágio Obrigatório foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 02 de dezembro 2020.

Professor e orientador Alessandro de Oliveira Limas, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Cesar Renato Alves da Rosa, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Jair Juarez João, Dr.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Suzana Cimara Batista, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Josiane e Moisés, e a todas as pessoas que me incentivaram, de alguma forma, a não desistir desse objetivo.

RESUMO

As propriedades mecânicas estão associadas ao desempenho de filmes plásticos nos equipamentos de transformação e conversão em indústrias de embalagens flexíveis, portanto torna-se importante conhecer e controlar seus valores. Este trabalho teve como objetivo estudar as propriedades mecânicas das embalagens flexíveis de polietileno com aditivo oxi-biodegradável. Para este estudo foram seguidas as normas da ASTM que tratam dos ensaios de: resistência à delaminação, tração, alongamento, propagação do rasgo, termossoldagem à tração, módulo elástico e módulo secante 10%. Os testes normatizados foram realizados em embalagens com e sem aditivo oxi-biodegradável, no sentido máquina e transversal das amostras, visando comparar a diferença percentual entre as médias, além de verificar se a mesma é significativa. Para a análise dos dados, foi aplicado o Teste *t* de *Student*. A análise da diferença entre as médias mostrou que os valores de propriedades mecânicas, quase em sua maioria, foram maiores nas embalagens com aditivo oxi-biodegradável. A análise dos resultados das embalagens com aditivo oxi-biodegradável, quanto ao coeficiente de variação, mostrou que nos ensaios de resistência à delaminação e alongamento os valores foram 12,650% e 10,219% respectivamente. Para as embalagens sem aditivo, também houve dispersão nos resultados do ensaio de resistência à tração, sendo que o coeficiente de variação foi 14,038%, proporcionando uma dispersão média dos valores. Enfim, na aplicação do Teste *t* de *Student* quatro resultados apresentaram diferenças significativas, sendo eles: resistência à delaminação (DM e DT), módulo elástico (DM), módulo secante 10% (DM) e termossoldagem à tração (DT). Pode-se concluir que houve alteração nos valores de propriedades mecânicas em embalagens flexíveis de polietileno com aditivo oxi-biodegradável. O aumento nos valores foi benéfico, pois eles representam que o material terá mais resistência às condições de fabricação interna e no cliente.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas. Embalagens flexíveis. Aditivo oxi-biodegradável.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Unidade de impressão flexográfica.....	16
Figura 2 – Equipamento Universal de Ensaio Mecânicos - EMIC	21
Figura 3 – Ensaio de Resistência à Delaminação	22
Figura 4 – Ensaio de Resistência à Tração	22
Figura 5 – Resistência à Propagação do Rasgo	23
Figura 6 - Ensaio de Módulo Elástico e Secante	24
Figura 7 – Ensaio de Resistência da Termossoldagem à Tração.....	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência à tração e alongamento	18
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Polietileno	13
Tabela 2 – Percentual de alteração das embalagens sem e com aditivo - DM ou Esquerdo	28
Tabela 3 – Percentual de alteração das embalagens com e sem aditivo – DT ou Direito	28
Tabela 4 – Resultado do Teste T – Resistência à delaminação	30
Tabela 5 – Resultado do Teste T – Resistência à propagação do rasgo	30
Tabela 6 – Resultado do Teste T – Módulo Elástico.....	31
Tabela 7 – Resultado do Teste T – Módulo Secante 10%.....	31
Tabela 8 – Resultado do Teste T – Resistência à tração	32
Tabela 9 – Resultado do Teste T – Alongamento	32
Tabela 10 – Resultado do Teste T – Resistência da termossoldagem à tração	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo geral	11
1.2.2	Objetivos específicos	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	POLÍMEROS.....	13
2.2	POLIETIENO (PE).....	13
2.3	EMBALAGENS FLEXÍVEIS.....	14
2.4	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS	15
2.4.1	Mistura	15
2.4.2	Extrusão	15
2.4.3	Impressão	16
2.4.4	Laminação.....	16
2.4.5	Rebobinadeira.....	16
2.4.6	Corte e Solda.....	17
2.4.7	Acabamento	17
2.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS	17
2.6	ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL	19
3	MÉTODOS.....	20
3.1	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E DOS CORPOS DE PROVA	20
3.2	ENSAIOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS	20
3.2.1	Equipamento Universal de Ensaio Mecânicos – EMIC	21
3.2.2	Resistência à Delaminação.....	21
3.2.3	Resistência à tração e alongamento	22
3.2.4	Resistência à propagação do rasgo	22
3.2.5	Módulo Elástico e Módulo Secante 10%	23
3.2.6	Resistência da Termossoldagem à Tração	24
3.3	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	25

3.4	DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VALORES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	25
3.5	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS - TESTE T DE STUDENT.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO – EMBALAGENS COM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL	27
4.2	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO – EMBALAGENS SEM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL	27
4.3	DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	28
4.4	COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS – TESTE T DE STUDENT.....	29
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICES	37
	APÊNDICE A – Resultados dos ensaios de resist. à tração e alongamento com aditivo ..	38
	APÊNDICE B – Resultados dos ensaios de módulo elástico e secante 10% com aditivo ..	40
	APÊNDICE C – Resultados dos ensaios de resist. à propagação do rasgo com aditivo ..	42
	APÊNDICE D – Resultados dos ensaios de resist. à propagação do rasgo com aditivo ..	44
	APÊNDICE E – Resultados dos ensaios de resist. à delaminação com aditivo	46
	APÊNDICE F – Resultados dos ensaios de resist. à tração e alongamento sem aditivo ..	48
	APÊNDICE G – Resultados dos ensaios de módulo elástico e secante 10% sem aditivo ..	50
	APÊNDICE H – Resultados dos ensaios de resist. à propagação do rasgo sem aditivo ..	52
	APÊNDICE I – Resultados dos ensaios de resist. da termossoldagem à tração sem aditivo	54
	APÊNDICE J – Resultados dos ensaios de resist. à delaminação sem aditivo	56
	ANEXOS	58
	ANEXO A – Tabelas plano de amostragem.....	59

1 INTRODUÇÃO

Por conta da sua flexibilidade, durabilidade e baixo custo, as embalagens flexíveis vem ganhando cada dia mais espaço no mercado e são utilizadas principalmente para acomodação de produtos alimentícios, de higiene pessoal e limpeza doméstica.

Uma das matérias-primas mais utilizadas na fabricação é o polietileno, principalmente pelo baixo custo de processamento e diversidade de aplicações. Através das escolhas do tipo de material, número de camadas e a forma de junção delas, além das condições de transformação e conversão, é possível criar estruturas que atendam os requisitos do cliente, sem perda de desempenho nas linhas de produção.

Muitas vezes as condições de fabricação exigem resistência a situações de alongamento, impacto por queda e altas temperaturas, para tanto é necessário um controle de qualidade atento, que monitore as propriedades mecânicas através de métodos de ensaios normatizados. Os valores de propriedades mecânicas também poderão ser usados para criação de especificações e desenvolvimento de novas embalagens.

Ao mesmo tempo que a durabilidade das embalagens plásticas é um de seus maiores benefícios, também é uma das suas principais desvantagens. Devido a falta de incentivo para a reciclagem desses materiais, a maioria é descartada em lugares impróprios ou vai para aterros sanitários, perdurando lá até que ocorra sua degradação natural, o que pode levar centenas de anos.

Existem algumas alternativas para lidar com esse problema, e uma das que mais vem ganhando adeptos na indústria brasileira é o uso do aditivo oxi-biodegradável. Quando adicionado na formulação durante a etapa de mistura das resinas e aditivos, promete uma degradação acelerada entre 2 e 4 anos, em condições ambientais específicas, sem alterar as propriedades mecânicas do material.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

As propriedades mecânicas são importantes para todas as etapas de fabricação de embalagens flexíveis de polietileno. Valores diferentes do esperado, poderão criar empecilhos durante o processo, como alterações dos parâmetros de pressões, temperaturas e velocidade das máquinas. Quando essas mudanças não forem suficientes para viabilizar a produção, será necessário fazer o descarte do material. Logo, as propriedades mecânicas estão diretamente associadas a produtividade e custos.

O tempo de decomposição de materiais plásticos é incerto, mas acredita-se que pode chegar a até 500 anos. Uma das maneiras da indústria lidar com esse problema é a utilização do aditivo oxi-biodegradável. Quando adicionado na formulação durante a etapa de mistura, promete uma degradação acelerada, entre 2 e 4 anos, sem alterar as propriedades mecânicas das embalagens flexíveis.

Para verificar o comportamento dessas propriedades, realizam-se análises normatizadas. Os resultados podem ser utilizados para verificar a qualidade do material durante e após o processo de fabricação, além de auxiliar na criação de especificações. O uso dos métodos padronizados busca simular as condições de fabricação e aplicação do material, assegurando que não ocorrerá paradas e alterações de parâmetros dos maquinários, ao longo do processo produtivo interno e no cliente.

Considerando-se a importância das propriedades mecânicas na fabricação e utilização das embalagens flexíveis de polietileno: **o uso do aditivo oxi-biodegradável altera as propriedades mecânicas em embalagens flexíveis de polietileno?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar as propriedades mecânicas das embalagens flexíveis de polietileno com aditivo oxi-biodegradável.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar o plano de amostragem seguindo a ABNT NBR 5426;
- Realizar ensaios de acordo com as normas técnicas ASTM D882-12, D1876-08, D1938-08 e F88/F88M-09;
- Medir a dispersão dos resultados com aditivo oxi-biodegradável, através da determinação do coeficiente de variação;
- Medir a dispersão dos resultados sem aditivo oxi-biodegradável, através da determinação do coeficiente de variação;
- Encontrar a diferença percentual das embalagens com e sem aditivo, para determinar a quantidade de alteração nos valores de propriedades mecânicas;

- Comparar os resultados dos ensaios, através do Teste t de Student, para verificar se a diferença entre os valores é significativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POLÍMEROS

Plásticos são polímeros orgânicos formados por longas cadeias de monômeros e alta massa molecular, podem ser sintetizados a partir do petróleo ou de fontes renováveis como cana-de-açúcar e batata (SIMAN FILHO; SANFELICE, 2018).

De acordo com Sarantopoulos e Teixeira (2017, p. 17) as propriedades e, consequentemente, as aplicações de um polímero dependem da sua natureza química e física, a qual é determinada pela estrutura química do(s) monômeros, pelo arranjo e massa molecular das cadeias poliméricas e pelo nível e forma de interação entre as macromoléculas. Esses fatores, determinam o grau de cristalinidade, a densidade e as temperaturas de transição física do material.

As principais classes de polímeros são: polietileno (PE), polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET), copolímeros de etileno e acetato de vinila (EVA), policloreto de vinila (PVC) e poliamidas (PA). Segundo Twede e Goddard (2009, p. 62) o polietileno é valorizado pelas propriedades de resistência mecânica e selagem, além de ser o que possui menor custo entre as resinas destinadas à fabricação de embalagens flexíveis.

2.2 POLIETIENO (PE)

A família dos polietilenos é a mais versátil entre os materiais poliméricos, seu uso pode variar de garrafas para leite até embalagens flexíveis (TWEDE; GODDARD, 2009, p. 62). Os tipos de polietileno são classificados de acordo com as densidades relativas, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de Polietileno

Tipo	Densidade (g/cm³)
PEAD (Polietileno de Alta Densidade)	0,940-0,970
PEBD (Polietileno de Baixa Densidade)	0,915-0,939
PELBD (Polietileno Linear de Baixa Densidade)	0,916-0,940
PEUBD (Polietileno de Ultrabaixa Densidade)	0,880-0,915

Fonte: TWEDE; GODDARD, 2009, p. 62

As densidades influenciam diretamente nas características das embalagens. De acordo com Twede e Goddard (2009, p. 63) o seu aumento também aumenta a resistência à tração, barreiras a gás e vapor d'água, rigidez e estabilidade térmica. Em contrapartida, a sua diminuição impacta na transparência, resistência ao impacto, alongamento e selagem a quente.

O primeiro polietileno a ser produzido em escala industrial foi o PEBD, através de um processo de polimerização por radicais livre em condições de alta pressão e alta temperatura. Segundo Sarantopoulos e Teixeira (2017, p. 26) “é um polímero ramificado que, na realidade, é uma mistura de longas moléculas com cadeia principal de diferentes tamanhos e ramificações primárias e secundárias de comprimentos variados.” Essas ramificações longas são responsáveis pelas principais características desse tipo de material: transparência, facilidade de processamento, flexibilidade e tenacidade (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O PEBDL possui uma estrutura molecular quase linear, mas inclui ramificações de cadeia curtas (TWEDE; GODDARD, 2009, p. 67). A ramificação poderá ser 1-butenos, 1-hexenos ou 1-octenos e quanto mais longa a sua extensão, melhor será a resistência mecânica, devido ao maior entrelaçamento entre as cadeias (SARANTOPOULOS; TEIXEIRA, 2017, p. 26).

Quando comparado ao PEBD, apresenta maior resistência física em todos os aspectos, tolerância a temperaturas mais altas, maior durabilidade e resistência química (TWEDE; GODDARD, 2009, p. 67).

É muito comum a utilização de filmes à base de blendas de PEBDL e PEBD, em diferentes proporções, para aliar as boas propriedades mecânicas de um, às boas características de processamento e melhor transparência do outro (SARANTOPOULOS; TEIXEIRA, 2017, p. 27).

2.3 EMBALAGENS FLEXÍVEIS

São aquelas cujo formato depende da forma física do produto acondicionado e a espessura é inferior a 250 µm. Nessa classificação se enquadram sacos com duas, três ou quatro soldas, stand up pouches, filmes encolhíveis (shrink) [...] e filmes esticáveis (stretch) (SARANTOPOULOS; TEIXEIRA, 2017, p. 15).

As embalagens flexíveis são feitas a partir de filmes, e estes podem ser monocamada ou multicamadas. O primeiro tipo é produzido a partir da extrusão de apenas um material ou

de uma mistura (blenda) de dois tipos compatíveis, como acontece com o PEBD-PEBDL e o PEBD-EVA. Enquanto o segundo é a junção de dois ou mais filmes monocamadas através de processos de laminação ou coextrusão.

Uma das grandes vantagens ao utilizar esses tipos de embalagens é a possibilidade de combinar materiais diferentes para obtenção de propriedades balanceadas que atendam a requisitos econômicos, ambientais e de conservação dos produtos (SARANTOPOULOS; TEIXEIRA, 2017, p. 16).

2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS

Cada etapa do processo agrega um componente ao produto e dependendo do tipo de embalagem, algumas etapas não são necessárias.

2.4.1 Mistura

As resinas, aditivos e pigmentos são colocados no misturador de acordo com a fórmula para aquele determinado filme, podendo ser de capa ou base. O processo no equipamento ocorre durante 15 minutos e tem o objetivo de formar uma mistura homogênea com o mínimo de umidade possível para ser utilizada na etapa de extrusão.

2.4.2 Extrusão

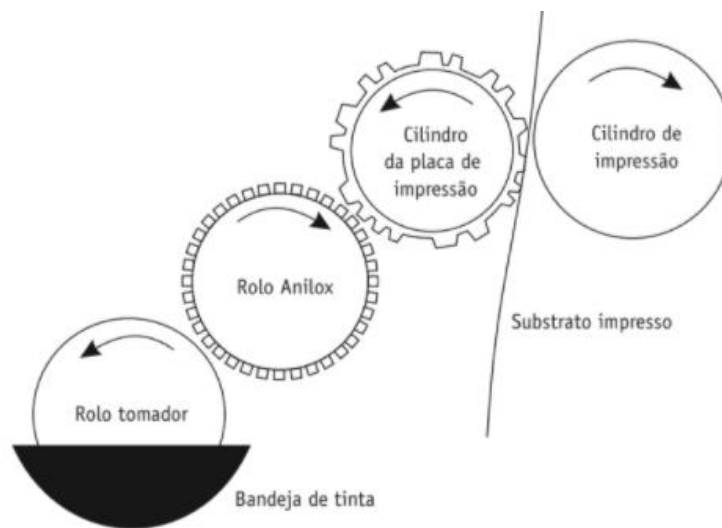
Segundo Anyadike (2009, p. 97) “grânulos são alimentados por meio de um funil para dentro de um barril da extrusora, onde eles são fundidos pelo calor e pela ação mecânica da rosca”. No alto da extrusora, quando o material já está na forma de filme plástico, fica localizado o equipamento responsável pelo tratamento corona.

O tratamento consiste no uso de uma descarga elétrica contínua de alta voltagem e alta frequência, que aumenta a umectabilidade da superfície de materiais plásticos em diversas formas permitindo a aderência de outros materiais, como filmes, adesivos e tintas (CORONA BRASIL, 2020).

2.4.3 Impressão

Na etapa de impressão, o lado do filme que foi tratado com a descarga elétrica, recebe as tintas através do processo de impressão flexográfica. As cores da cromia (ciano, magenta, amarelo e preto) são misturadas e formam a cor de acordo com a arte elaborada pelo cliente. Na Figura 1 é demonstrado a forma de funcionamento da impressora.

Figura 1 – Unidade de impressão flexográfica



Fonte: ANYADIKE, p. 97, 2009.

2.4.4 Laminação

No caso de embalagens multicamadas, é nessa etapa que ocorre a junção dos substratos através do uso de adesivo e catalisador. A quantidade de adesivo é controlada através do dosador e aplicada com o uso de um bico acoplado a ele.

A gramatura do adesivo deve ser controlada para que não fique abaixo ou acima do valor especificado. Quando abaixo do limite poderá acarretar problemas na resistência à delaminação e quando estiver acima, haverá aumento nos custos e no tempo de cura (SILVEIRA, 2015).

2.4.5 Rebobinadeira

Alguns clientes solicitam que o produto seja entregue na forma de filmes, para então ser transformado em sacos durante o seu próprio processo. Nesses casos, após aguardar o

tempo de cura da laminação, as bobinas “mães” são direcionadas ao setor de rebobinagem, onde através do corte de refiles e retirada de peças não conformes, as bobinas são enroladas em outro tubete, porém agora em um tamanho menor, conhecidas como diâmetros ou bobinas filhas. Essa divisão é feita de acordo com a metragem e peso especificados pelo cliente.

Esse setor também é essencial para algumas máquinas do Corte e Solda. Quando a bobina original é muito grande para ser colocada no maquinário, as rebobinadeiras fazem a divisão da bobina mãe em bobinas “filhas”.

2.4.6 Corte e Solda

É onde ocorre a transformação do filme em sacos dos mais diversos tipos, seguindo as especificações do cliente. De forma resumida, o processo começa com a bobina de filme sendo inserida no final da máquina, em seguida o material é dobrado, para então ser soldado através da batida de martelos aquecidos e revestidos com teflon, por fim é cortado nas regiões da boca e no fundo da embalagem.

As máquinas possuem alguns acessórios que proporcionam outros detalhes ao produto, como adição de cola para formar uma embalagem com fundo quadrado, inserção de furos para facilitar a saída de ar no processo do cliente e aplicação de zíper para fabricar uma embalagem do tipo abre e fecha.

2.4.7 Acabamento

Alguns clientes solicitam que seja aplicado válvula na embalagem, após o processo do corte e solda. Ela tem como objetivo proporcionar a saída de ar de dentro do saco, sem que ocorra entrada de poeira, insetos ou qualquer tipo de contaminação para o interior da embalagem.

2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS

Conforme o tipo de embalagem, precisa-se de determinados valores de propriedades mecânicas para ter o melhor desempenho possível nas linhas de transformação e conversão, além de atender as expectativas do cliente e do consumidor final.

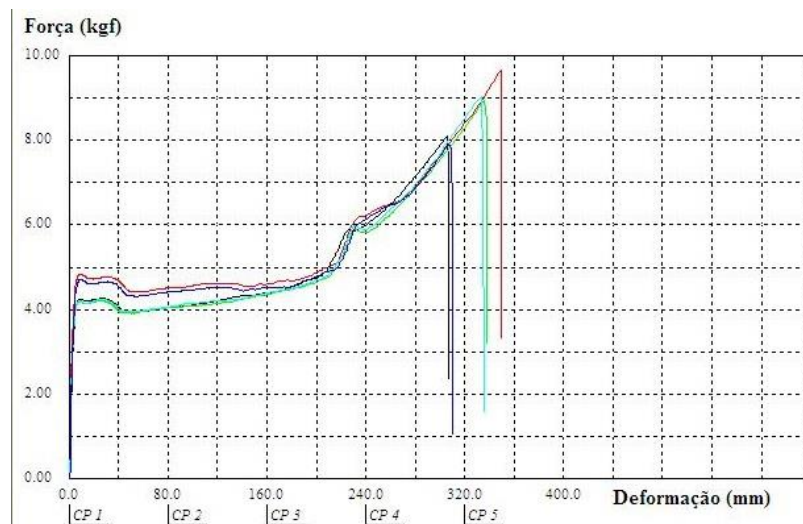
As propriedades mecânicas de um filme monocamada dependem da sua espessura, das características inerentes ao material plástico e do processo de fabricação do filme. Enquanto em estruturas multicamadas, onde ocorre a associação de dois ou mais filmes, as propriedades finais são dependentes das características individuais de cada camada, da adesão entre elas e dos processos de transformação e conversão (SARANTOPOULOS; TEIXEIRA, 2017, p. 247).

Geralmente os ensaios para avaliação dessas propriedades são realizados nos sentidos direção máquina e transversal, sendo que o primeiro é o sentido do fluxo do material no maquinário e o segundo é no sentido cruzado à direção de fluxo. Dependendo do tipo de produto, em uma das direções será desejado um valor maior ou menor de determinada resistência, como acontece nas embalagens de fácil abertura.

Os ensaios mais aplicados para avaliação da resistência dos materiais são: módulo elástico, módulo secante, resistência à tração, alongamento, delaminação, termossoldagem à tração e propagação do rasgo.

As medições das propriedades são feitas na máquina universal de ensaios mecânicos, sendo que as mencionadas anteriormente seguem o princípio básico de prender o corpo de prova em duas garras e fazer o deslocamento da garra superior na direção vertical para cima, a uma velocidade constante. Ao fim do ensaio são apresentados os valores de resistência e um gráfico da força vs deformação. No Gráfico 1 é apresentado um exemplo de ensaio de resistência à tração e alongamento relacionando a força e a deformação.

Gráfico 1 – Resistência à tração e alongamento



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

2.6 ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL

A maior parte da matéria-prima utilizada na fabricação de embalagens flexíveis é o plástico de origem petroquímica. Além de ser um recurso não renovável, possui elevado tempo de degradação. Para lidar com essa durabilidade no meio ambiente, as indústrias começaram a utilizar aditivo oxi-biodegradável.

Uma embalagem plástica oxi-biodegradável é aquela que, ao receber um aditivo pró-degradante, tem sua fragmentação acelerada por influência de oxigênio, luz, temperatura e umidade (ECYCLE, 2019). As normas ASTM D6954-04 e ABNT PE-308.01 definem os critérios que devem ser atendidos para um produto receber o título em questão.

É recomendado pelo fabricante uma adição de 1 a 2% na formulação já existente para transformar uma embalagem comum em oxi-biodegradável. Em média, seu tempo de vida útil é 2 anos e a total degradação ocorre em até 4 anos, em condições ambientais específicas (ECOVENTURES BRASIL, 2019).

Um polímero é composto de carbono e hidrogênio, e quando em contato com o meio ambiente, essas moléculas reagem com o oxigênio e iniciam a degradação do material. Segundo Azevedo (2019) no plástico convencional, esse processo é muito lento porque os microrganismos ainda não tiveram tempo de desenvolver enzimas capazes de fazer esse processo.

O aditivo oxi-biodegradável age como catalisador da reação de decomposição do plástico, de tal forma que o produto que a contém se degrada e se desintegra fisicamente. Os produtos desta degradação são moléculas muito menores (2-5% do tamanho da molécula de polímero original) que contém oxigênio em sua estrutura. Esse processo converte um grande pedaço de plástico em milhões de pequenos pedaços. Os produtos dessa fragmentação diminuem ainda mais e podem ser consumidos como uma fonte de alimento por micro-organismos (ECOVENTURES BRASIL, 2019).

3 MÉTODOS

3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E DOS CORPOS DE PROVA

De acordo com a NBR 5426 da ABNT (1985, p. 2) o "lote de inspeção é um conjunto de unidades de produto a ser amostrado [...], pode diferir de um conjunto de unidades, designado como lote de produção ou batelada". Para o desenvolvimento do trabalho foi adotado o tamanho do lote de inspeção a ser analisado de acordo com a quantidade de bobinas mães produzidas no setor de extrusão.

As ordens de produção selecionadas possuíam estrutura PEBDL, formadas por blenda de PEBDL e PEBD, todas com a mesma família de fórmulas (na capa e na base) e mesma espessura. Os produtos eram sacos de ração nos tamanhos 10 kg e 25 kg, cada um com 300 µm, produzidos separadamente em todas as etapas do processo. O objetivo era selecionar embalagens que tiveram adição do aditivo oxi-biodegradável durante o processo de extrusão e embalagens produzidas sem esse componente.

Em cada um dos lotes produziram-se duas bobinas. Sendo assim, seguindo tamanho do lote de produção de 2 a 8 e nível geral de inspeção II, analisaram-se duas amostras de cada ordem, totalizando seis amostras para cada caso. No Anexo A apresentam-se as tabelas adaptadas da NBR 5426 da ABNT (1985, p. 7-8).

Condicionaram-se as amostras a um ambiente com temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $50\% \pm 10\%$ por 48 horas. Depois desse período, em cada amostra foram cortados cinco corpos de prova de cada direção (transversal e máquina ou direita e esquerda) para cada método de ensaio, com auxílio de estilete e gabarito de metal. Segundo Sarantopoulos e Teixeira (2017, p. 268) as superfícies do corpo de prova não devem apresentar rebarbas ou imperfeições visíveis [...] e o corte deve ser feito em uma região perfeitamente paralela à direção a ser ensaiada.

3.2 ENSAIOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os testes na empresa em questão seguiram as normas ASTM para condições de ensaio, preparação dos corpos de prova e velocidade do equipamento.

3.2.1 Equipamento Universal de Ensaio Mecânicos – EMIC

Os ensaios foram realizados no Equipamento Universal de Ensaio Mecânicos – EMIC, modelo DL-500MF. A força máxima de operação é 5 kN, a velocidade de ensaio é de 0,05 mm/min a 1000 mm/min e o corpo de prova é disposto entre duas garras conforme a Figura 2.

Figura 2 – Equipamento Universal de Ensaio Mecânicos - EMIC



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

3.2.2 Resistência à Delaminação

O método de ensaio descrito a seguir é baseado na norma ASTM D1876-08 (2015). Cada corpo de prova deverá ter 25,4 mm de largura e 250 mm de comprimento. A quebra do adesivo entre as camadas é feita mecanicamente puxando os filmes em sentidos opostos. É necessário fazer essa separação para posicionar a amostra no equipamento.

A realização do ensaio no EMIC consiste em delaminar 70 mm de material a uma velocidade constante de 254 mm/min (ASTM, 2015, p. 3). A Figura 3 demonstra a disposição do corpo de prova no equipamento.

Figura 3 – Ensaio de Resistência à Delaminação



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

3.2.3 Resistência à tração e alongamento

O método de ensaio é baseado na norma ASTM D882-12 (2012). Cada corpo de prova deve ter no mínimo 75 mm de comprimento e 25,4 mm de largura, deve-se verificar a espessura de cada um e informar os valores no programa do EMIC. O teste é iniciado com velocidade de 500 mm/min e taxa de alongamento inicial de $10 \text{ mm.mm}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e se prolonga até ruptura do material. A Figura 4 representa a acomodação do corpo de prova na posição inicial do ensaio.

Figura 4 – Ensaio de Resistência à Tração



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

3.2.4 Resistência à propagação do rasgo

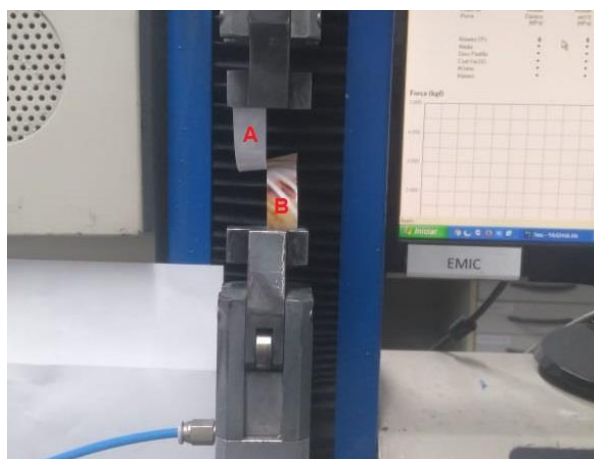
Existem dois métodos de ensaios padronizados para verificar a resistência à

propagação do rasgo, o mais usual utiliza o EMIC e é estabelecido conforme a norma ASTM D1938 (2014).

O corpo de prova deverá ter largura de 25 mm e 75 mm de comprimento. Segundo a norma ASTM D1938 (2014, p. 3), a velocidade do teste é constante a 250 mm/min até o momento em que os 25 mm restante de amostra sejam separados por completo, dando fim ao teste.

Os segmentos A e B demonstrados na Figura 5 são fixados em cada garra, sem tensionamento e de modo que o início do rasgo fique no centro.

Figura 5 – Resistência à Propagação do Rasgo



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

As embalagens de polietileno são muito extensíveis e nos ensaios de propagação do rasgo são considerados os valores de força máxima. Apenas quando a deformação do corpo de prova é inferior a 60 mm são utilizados os valores de força média.

3.2.5 Módulo Elástico e Módulo Secante 10%

O procedimento de ensaio é semelhante ao item 3.2.3 e segue a mesma norma ASTM D882-12 (2012). Os corpos de prova possuem 300 mm de comprimento e 25,4 mm de largura, suas espessuras são verificadas e informadas no programa do EMIC.

A velocidade de teste é 25 mm/min, a taxa de alongamento inicial é 0,1 mm.mm⁻¹.min⁻¹, sendo que o teste é encerrado assim que a garra superior alcança o deslocamento de 40 mm. O programa informa os valores de módulo elástico e módulo secante em 1%, 2% e 10%, todos expressos em MPa (ASTM, 2012, p. 4).

Todos os corpos de provas devem ser posicionados de forma quase idêntica no

equipamento, uma mínima diferença gera uma grande influência nos resultados. A Figura 6 demonstra a disposição do corpo de prova no EMIC.

Figura 6 - Ensaio de Módulo Elástico e Secante



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

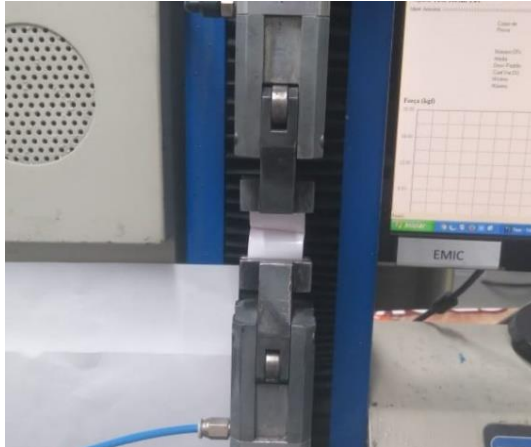
O módulo elástico difere do secante 10% quanto a posição dos seus pontos no gráfico de força vs deformação. O primeiro é calculado com base na força e no alongamento na região linear, o segundo considera os valores antes do ponto de escoamento.

3.2.6 Resistência da Termossoldagem à Tração

O método de análise descrito a seguir é baseado na norma ASTM F88/F88M (2015) para verificação da resistência da termossoldagem à tração em temperatura ambiente. A Figura 7 apresenta a posição da amostra no equipamento.

Segundo Sarantopoulos e Teixeira (2017, p. 284) os corpos de provas com 25 mm de largura e aproximadamente 76 mm de comprimento são fixados ao equipamento por meio de garras apropriadas. A velocidade inicial do método é 200 mm/min e no momento de ruptura o ensaio é encerrado.

Figura 7 – Ensaio de Resistência da Termossoldagem à Tração



Fonte: Elaboração do autor, 2020.

3.3 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

Uma maneira simples de avaliar a dispersão de experimentos, é através do cálculo do coeficiente de variação na forma de porcentagem, relacionando a média (μ) e o desvio padrão (σ) dos resultados.

$$Cv = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100\% \quad (1)$$

Para Gomes (1985, p. 7) consideram-se coeficientes de variação como baixos quando são inferiores a 10%, médios quando estão entre 10% e 20%, altos quando estão entre 20% e 30% e muito altos quando são superiores a 30%.

Em cada amostra serão feitos cinco ensaios para cada método e direção, portanto, será calculado o coeficiente de variação de cada amostra e direção (máquina ou transversal).

3.4 DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VALORES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

A partir da média de cada ensaio nas condições com e sem aditivo, serão calculadas as diferenças percentuais entre as propriedades mecânicas de cada tipo de embalagem.

3.5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS - TESTE T DE STUDENT

O Teste t de Student foi utilizado para comparar as médias de cada ensaio das embalagens com e sem aditivo e verificar se a diferença é significativa. Os cálculos foram realizados através do Microsoft Excel, considerando-se nível de significância igual a 5% e hipótese da diferença de média igual a zero.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO – EMBALAGENS COM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL

Quanto menor o coeficiente de variação, menor a dispersão dos dados. Os testes de resistência à tração (DM e DT), módulo elástico (DM e DT), módulo secante 10% (DM e DT), propagação do rasgo (DM e DT) e termossoldagem à tração (DM e DT) apresentaram valores abaixo de 10% o que representa uma dispersão pequena entre os corpos de prova analisados de cada amostra. Os resultados de cada teste, bem como os valores do coeficiente de variação, constam nos Apêndices A, B, C e D.

No ensaio de resistência à delaminação, o lado esquerdo da amostra 4 das embalagens com aditivo (Apêndice E) apresentou coeficiente de variação de 12,65%. A medição pode ter sido afetada pela cor da impressão das embalagens, sendo que cores em tons de branco e amarelo proporcionam uma maior resistência à delaminação, enquanto tons escuros como preto e azul marinho possuem uma resistência menor. Durante o corte das amostras, selecionaram-se corpos de prova com variações de cores ao longo do comprimento, influenciado diretamente no resultado.

Para o ensaio de alongamento também houve um valor que ficou acima de 10%, na direção transversal da amostra 4 na embalagem com aditivo (Apêndice A), encontrou-se 10,219%. Os valores do coeficiente de variação podem ter sido prejudicados por erros no momento de posicionar o corpo de prova no EMIC. O objetivo do ensaio é alongar o filme o máximo possível até sua ruptura, quando há diferenças entre o posicionamento dos corpos de prova ou algum tenha ficado mais tensionado que o outro, os resultados das análises são diretamente afetados.

4.2 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO – EMBALAGENS SEM ADITIVO OXI-BIODEGRADÁVEL

Os testes de alongamento, módulo elástico, módulo secante 10%, propagação do rasgo, termossoldagem à tração e delaminação apresentaram valores abaixo de 10%, sendo assim, a dispersão entre os resultados de cada amostra é pequena. Nos Apêndices F, G, H, I e J constam os valores de cada ensaio.

No ensaio de resistência à tração apenas um dos coeficientes de variação ficou acima de 10%, na direção transversal da amostra 11 da embalagem sem aditivo oxi-biodegradável (Apêndice F) foi obtido 14,038%. A discrepância dos resultados pode ter sido causada pela variação da espessura entre um corpo e outro, sendo que o recomendado é uma dispersão de 1 μm para melhor. Se a diferença entre as amostras for superior a isso, pode impactar no resultado, pois a espessura é informada ao programa, onde é efetuado o cálculo da área inicial, para em seguida associar a força máxima e obter o valor de resistência máxima à tração.

4.3 DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS

As diferenças percentuais entre as médias das embalagens sem e com aditivo são demonstradas nas Tabelas 2 e 3, no sentido máquina (ou esquerdo) e transversal (ou direito).

Tabela 2 – Percentual de alteração das embalagens sem e com aditivo - DM ou Esquerdo

Sentido: Direção Máquina ou Esquerdo	Sem aditivo	Com aditivo	%
Resistência à delaminação (gf/mm)	46,003	55,113	19,803%
Resistência à propagação do rasgo (kgf)	1,169	1,215	3,934%
Módulo Elástico (MPa)	224,284	240,507	7,234%
Módulo Secante 10% (MPa)	79,272	83,023	4,732%
Resistência à tração (kgf/mm ²)	2,057	2,131	3,614%
Alongamento (%)	514,867	528,600	2,667%
Resistência da termossoldagem à tração (kgf/mm)	0,265	0,259	-2,489%

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 3 – Percentual de alteração das embalagens com e sem aditivo – DT ou Direito

Sentido: Direção Transversal ou Direito	Sem aditivo	Com aditivo	%
Resistência à delaminação (gf/mm)	46,933	54,230	15,547%
Resistência à propagação do rasgo (kgf)	1,393	1,481	6,367%
Módulo Elástico (MPa)	245,046	249,522	1,827%
Módulo Secante 10% (MPa)	79,722	81,017	1,624%
Resistência à tração (kgf/mm ²)	2,162	2,297	6,260%
Alongamento (%)	625,233	665,900	6,504%
Resistência da termossoldagem à tração (kgf/mm)	0,217	0,202	-6,678%

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Na composição da fórmula original (sem uso de aditivo oxi-biodegradável) contém mais resina de PEBDL e eram esperados que os valores de propriedades mecânicas dessem superiores para essas embalagens, no entanto a análise da diferença percentual entre as médias mostra o contrário.

Os dois tipos de embalagens eram da mesma família de fórmulas, tanto para a capa como para a base, e possuíam a mesma espessura, conforme mencionado no item 4.1. As resinas de PEBDL e PEBD utilizadas na fabricação dos dois materiais, foram de fornecedores diferentes, portanto, os resultados podem ter sido influenciados por essa origem distinta das matérias-primas.

Considerando-se a estrutura da embalagem e a aplicação do produto, o aumento dos valores nas propriedades mecânicas é benéfico, pois representam um aumento da resistência do material para as condições de fabricação interna. Para o cliente, significa que o produto terá maior resistência às condições de estocagem e manuseio, como quedas e estiramentos durante o processo.

4.4 COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS – TESTE T DE STUDENT

A análise dos resultados foi feita aplicando-se o Teste t de Student em cada método de ensaio. No mesmo sentido do cálculo do coeficiente de variação, consideraram-se as médias de cada amostra para compor as matrizes, obtendo-se seis observações para cada grupo.

Foram calculados os valores da média, variância, valor P e os limites da cauda nas situações uni-caudal e bi-caudal. Nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 são apresentados o tratamento de dados para cada tipo de teste e direção ensaiada, sendo que os valores designados como "Média – 1" referem-se as embalagens com aditivo e os apresentados como "Média – 2" são sobre as embalagens sem aditivo.

Tabela 4 – Resultado do Teste T – Resistência à delaminação

	Esquerdo		Direito	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	55,1133	46,0033	54,2300	46,9333
Variância	8,6779	2,4508	2,3713	3,4636
Observações	6	6	6	6
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	6,6892		7,3991	
P(T<=t) uni-caudal	7,7210E-05		1,16E-05	
t crítico uni-caudal	1,8595		1,8125	
P(T<=t) bi-caudal	0,0002		2,32E-05	
t crítico bi-caudal	2,3060		2,2281	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 5 – Resultado do Teste T – Resistência à propagação do rasgo

Continua

	Direção Máquina		Direção Transversal	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	1,2153	1,1693	1,4813	1,3927
Variância	0,0087	0,0032	0,0111	0,0707
Observações	6	6	6	6
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	1,0297		0,7593	
P(T<=t) uni-caudal	0,1666		0,2362	
t crítico uni-caudal	1,8595		1,8946	
P(T<=t) bi-caudal	0,3333		0,4724	
t crítico bi-caudal	2,3060		2,3646	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 6 – Resultado do Teste T – Módulo Elástico

	Direção Máquina		Direção Transversal	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	240,5073	224,2837	249,5223	245,0463
Variância	128,2935	23,1404	145,5823	108,5478
Observações	6		6	
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	3,2293		0,6878	
P(T<=t) uni-caudal	0,0072		0,2536	
t crítico uni-caudal	1,8946		1,8125	
P(T<=t) bi-caudal	0,0145		0,5072	
t crítico bi-caudal	2,3646		2,2281	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 7 – Resultado do Teste T – Módulo Secante 10%

	Direção Máquina		Direção Transversal	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	83,0230	79,2717	81,0167	79,7217
Variância	1,0036	2,2440	3,0448	2,0343
Observações	6		6	
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	5,0989		1,4075	
P(T<=t) uni-caudal	0,0003		0,0948	
t crítico uni-caudal	1,8331		1,8125	
P(T<=t) bi-caudal	0,0006		0,1896	
t crítico bi-caudal	2,2622		2,2281	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 8 – Resultado do Teste T – Resistência à tração

	Direção Máquina		Direção Transversal	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	2,1313	2,0570	2,2973	2,1620
Variância	0,0405	0,0583	0,0318	0,0500
Observações	6		6	
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	0,5794		1,1590	
P(T<=t) uni-caudal	0,2876		0,1367	
t crítico uni-caudal	1,8125		1,8125	
P(T<=t) bi-caudal	0,5752		0,2734	
t crítico bi-caudal	2,2281		2,2281	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 9 – Resultado do Teste T – Alongamento

	Direção Máquina		Direção Transversal	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	528,6000	514,8667	665,9000	625,2333
Variância	3401,7280	3476,5547	834,4120	2662,2787
Observações	6		6	
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	0,4056		1,6846	
P(T<=t) uni-caudal	0,3468		0,0653	
t crítico uni-caudal	1,8125		1,8595	
P(T<=t) bi-caudal	0,6936		0,1306	
t crítico bi-caudal	2,2281		2,3060	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Tabela 10 – Resultado do Teste T – Resistência da termossoldagem à tração

	Direção Máquina		Direção Transversal	
	Média 1	Média 2	Média 1	Média 2
Média	0,258567	0,265167	0,20217	0,216633
Variância	0,000427	0,000467	7,7E-05	8,94E-05
Observações	6	6	6	6
Hipótese da diferença de média	0		0	
Gl	5		5	
Stat t	-0,5407229		-2,7477381	
P(T<=t) uni-caudal	0,3002673		0,0102789	
t crítico uni-caudal	1,8124611		1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,6005346		0,0205579	
t crítico bi-caudal	2,2281389		2,2281389	

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Quando o valor de P é superior ao nível de significância, que neste caso é 5%, não há diferença significativa entre as médias. Portanto, de acordo com os valores apresentados nas Tabelas 5, 6, 7, 8, 9 e 10 os testes de resistência à propagação do rasgo (DM e DT), módulo elástico (DT), módulo secante 10% (DT), resistência à tração e alongamento (DM e DT) e termossoldagem à tração (DM), não apresentaram diferenças significativas nos valores de propriedades mecânicas com o uso de aditivo oxi-biodegradável na formulação.

Nos casos em que o valor de P é inferior ao nível de significância, existem diferenças significativas entre as médias dos dois grupos. Deste modo, os valores de resistência à delaminação (DM e DT), módulo elástico (DM), módulo secante 10% (DM) e termossoldagem à tração (DT) apresentados nas Tabelas 4, 6 e 7, possuem diferenças significativas entre as médias das embalagens com e sem aditivo.

Nos Gráficos 2, 3, 4 e 5 são demonstradas as aplicações do valor P para alguns dos ensaios no limite bi-caudal e uni-caudal.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que o uso do aditivo oxi-biodegradável altera as propriedades mecânicas de embalagens flexíveis de polietileno.

A determinação do coeficiente de variação, para as embalagens com aditivo oxi-biodegradável, mostrou que nos ensaios de resistência à delaminação e alongamento os valores foram 12,650% e 10,219% respectivamente. Essas dispersões são consideradas médias, pois estavam acima de 10% e menores que 20%.

No caso das embalagens sem aditivo, também houve dispersão nos resultados do ensaio de resistência à tração, sendo que o coeficiente de variação foi 14,038%, proporcionando uma dispersão média dos valores. Assim como para os ensaios anteriores, os resultados foram impactados por erros de método, porém neste caso, no momento de verificar a espessura de cada corpo de prova.

As embalagens sem aditivo possuem mais PEBDL em sua formulação, e o mesmo é responsável pelo aumento da resistência do material, no entanto a diferença percentual entre as médias, mostrou que os valores foram maiores nas embalagens com aditivo oxi-biodegradável.

As resinas utilizadas em cada tipo de material, foram de fornecedores diferentes e isso pode ter impactado nos resultados. Fica como sugestão futura, uma investigação mais a fundo da causa desses valores inesperados.

Por fim, o uso da ferramenta estatística Teste t de *Student* possibilitou comparar os valores médios de dois grupos distintos, e demonstrou que houveram diferenças significativas nos ensaios de resistência à delaminação (DM e DT), módulo elástico (DM), módulo secante 10% (DM) e termossoldagem à tração (DT).

REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT PE-308.01**: Rótulo Ecológico para Aditivos Plásticos com Função Oxibiodegradável. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 13 p. Disponível em: <https://degradable.com.pe/wp-content/uploads/2018/05/BRASIL.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- ABNT. **NBR 5426**: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro: Abnt, 1985. 63 p. Disponível em: <https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=Njg1Nw%2C%2C>. Acesso em: 19 out. 2020.
- ASTM. **ASTM D1876-08**: Peel Resistance of Adhesives. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2015. 3 p.
- ASTM. **ASTM D1938-08**: Tear-Propagation Resistance (Trousers Tear) of Plastic Film and Thin Sheeting by a Single-Tear Method. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2014. 4 p.
- ASTM. **ASTM D6954 – 04**: Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation. West Conshohocken: Astm, 2004. 6 p.
- ASTM. **ASTM D882-12**: Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2012. 12 p.
- ASTM. **ASTM F88/F88M-09**: Seal Strength of Flexible Barrier Materials. 1 ed. West Conshohocken: Astm, 2015. 11 p.
- AZEVEDO, Julia. **Tempo de decomposição do plástico é incerto e preocupa**. São Paulo, SP, 2019. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/8207-tempo-de-decomposicao-do-plastico.html>. Acesso em: 03 nov. 2020.
- ECO VENTURES BIOPLASTICS. **Dúvidas frequentes**. São Paulo, SP, 2019. Disponível em: <http://www.ecoventuresbrasil.com/faq>. Acesso em: 03 nov. 2020.
- ECYCLE. **Plástico oxibiodegradável: problema ou solução ambiental?** São Paulo, SP, 2019. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/726-oxibiodegradavel-oxibiodegradaveis.html>. Acesso em: 03 nov. 2020.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.
- SARANTOPOULOS, Claire I. G. L.; TEIXEIRA, Fábio Gomes. **Embalagens Plásticas Flexíveis**: principais polímeros e avaliação de propriedades. 2. ed. Campinas: Ital/cetea, 2017. 432 p.
- SILVEIRA, Fabiana. **Laminação: agregando valor à embalagem**, 2015. Disponível em: <https://abflexo.org.br/artigo-tecnico/laminacao-agregando-valor-a-embalagem>. Acesso em: 05 nov. 2020.
- SIMAN FILHO, Ademir José; SANFELICE, Rafaela Cristina. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Uberaba, p. 131-148. jul. 2018.

TWEDE, Diana; GODDARD, Ron. **Materiais para embalagens**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 171 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados dos ensaios de resist. à tração e alongamento com aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaçada	Corpo de Prova	Força máxima (kgf)	Resistência máxima (kgf/mm2)	Alongamento (%)
1	1	DM	1	6,750	1,880	473,000
1	1	DM	2	6,610	1,830	424,000
1	1	DM	3	6,450	1,830	452,000
1	1	DM	4	7,100	1,940	477,000
1	1	DM	5	7,740	2,120	512,000
Média				6,930	1,920	467,600
Desvio Padrão				0,512	0,121	32,532
Coef. Var (%)				7,394	6,282	6,957
1	2	DM	6	8,930	2,340	572,000
1	2	DM	7	9,270	2,520	606,000
1	2	DM	8	8,860	2,390	546,000
1	2	DM	9	8,850	2,360	562,000
1	2	DM	10	8,990	2,360	542,000
Média				8,980	2,394	565,600
Desvio Padrão				0,172	0,073	25,628
Coef. Var (%)				1,913	3,035	4,531
2	1	DM	11	6,670	1,730	426,000
2	1	DM	12	7,010	1,840	455,000
2	1	DM	13	6,840	1,810	431,000
2	1	DM	14	7,590	2,060	505,000
2	1	DM	15	7,530	2,040	478,000
Média				7,128	1,896	459,000
Desvio Padrão				0,413	0,146	33,038
Coef. Var (%)				5,792	7,721	7,198
2	2	DM	16	8,370	2,180	576,000
2	2	DM	17	8,560	2,360	575,000
2	2	DM	18	7,690	2,060	523,000
2	2	DM	19	8,540	2,380	599,000
2	2	DM	20	8,040	2,130	539,000
Média				8,240	2,222	562,400
Desvio Padrão				0,371	0,142	30,754
Coef. Var (%)				4,507	6,384	5,468
3	1	DM	21	9,520	2,530	654,000
3	1	DM	22	8,920	2,280	564,000
3	1	DM	23	8,010	2,100	506,000
3	1	DM	24	8,300	2,240	578,000
3	1	DM	25	8,640	2,250	532,000
Média				8,678	2,280	566,800
Desvio Padrão				0,583	0,156	56,225
Coef. Var (%)				6,714	6,844	9,920
3	2	DM	26	8,080	2,190	543,000
3	2	DM	27	8,090	2,240	556
3	2	DM	28	8,130	2,180	527
3	2	DM	29	7,590	2,030	642
3	2	DM	30	6,490	1,740	581
Média				7,676	2,076	569,800
Desvio Padrão				0,699	0,204	44,941
Coef. Var (%)				9,107	9,805	7,887

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaçada	Corpo de Prova	Força máxima (kgf)	Resistência máxima (kgf/mm2)	Alongamento (%)
1	1	DT	1	8,270	2,310	684,000
1	1	DT	2	7,950	2,200	620,000
1	1	DT	3	6,660	1,890	580,000
1	1	DT	4	8,340	2,360	664,000
1	1	DT	5	8,240	2,280	663,000
Média				7,892	2,208	642,200
Desvio Padrão				0,705	0,187	41,883
Coef. Var (%)				8,928	8,469	6,522
1	2	DT	6	9,400	2,540	690,000
1	2	DT	7	8,950	2,410	701,000
1	2	DT	8	8,460	2,230	673,000
1	2	DT	9	7,760	2,090	614,000
1	2	DT	10	9,290	2,470	713,000
Média				8,772	2,348	678,200
Desvio Padrão				0,674	0,184	38,790
Coef. Var (%)				7,681	7,855	5,720
2	1	DT	11	7,740	2,070	611,000
2	1	DT	12	8,360	2,240	645,000
2	1	DT	13	8,490	2,270	661,000
2	1	DT	14	8,730	2,340	683,000
2	1	DT	15	8,540	2,200	659,000
Média				8,372	2,224	651,800
Desvio Padrão				0,377	0,100	26,556
Coef. Var (%)				4,509	4,503	4,074
2	2	DT	16	9,820	2,720	774,000
2	2	DT	17	8,820	2,300	696,000
2	2	DT	18	9,380	2,550	723,000
2	2	DT	19	10,560	2,910	648,000
2	2	DT	20	8,780	2,370	591,000
Média				9,472	2,570	686,400
Desvio Padrão				0,745	0,251	70,145
Coef. Var (%)				7,860	9,755	10,219
3	1	DT	21	9,940	2,560	767,000
3	1	DT	22	9,430	2,440	696,000
3	1	DT	23	10,180	2,580	738,000
3	1	DT	24	8,480	2,270	684,000
3	1	DT	25	8,030	2,070	645,000
Média				9,212	2,384	706,000
Desvio Padrão				0,928	0,215	47,566
Coef. Var (%)				10,078	8,999	6,737
3	2	DT	26	6,760	1,940	595,000
3	2	DT	27	7,930	2,200	659
3	2	DT	28	6,810	1,850	605
3	2	DT	29	7,970	2,150	645
3	2	DT	30	7,890	2,110	650
Média				7,472	2,050	630,800
Desvio Padrão				0,628	0,148	28,778
Coef. Var (%)				8,405	7,244	4,562

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE B – Resultados dos ensaios de módulo elástico e secante 10% com aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Módulo Elástico (MPa)	Módulo Secante em 10% (MPa)
1	1	DM	1	254,840	84,910
1	1	DM	2	236,340	83,340
1	1	DM	3	270,360	86,980
1	1	DM	4	249,330	82,510
1	1	DM	5	256,980	85,150
Média				253,570	84,578
Desvio Padrão				12,349	1,733
Coef. Var (%)				4,870	2,049
1	2	DM	6	243,590	86,900
1	2	DM	7	228,520	81,940
1	2	DM	8	220,250	82,060
1	2	DM	9	237,210	82,770
1	2	DM	10	221,690	83,090
Média				230,252	83,352
Desvio Padrão				10,033	2,041
Coef. Var (%)				4,358	2,448
2	1	DM	11	244,100	80,680
2	1	DM	12	267,260	89,690
2	1	DM	13	262,960	84,620
2	1	DM	14	231,720	78,370
2	1	DM	15	259,580	83,500
Média				253,124	83,372
Desvio Padrão				14,814	4,294
Coef. Var (%)				5,852	5,151
2	2	DM	16	241,090	78,820
2	2	DM	17	244,910	82,720
2	2	DM	18	226,660	82,990
2	2	DM	19	243,970	82,340
2	2	DM	20	244,650	82,290
Média				240,256	81,832
Desvio Padrão				7,751	1,708
Coef. Var (%)				3,226	2,087
3	1	DM	21	235,840	83,270
3	1	DM	22	205,060	81,680
3	1	DM	23	219,530	82,310
3	1	DM	24	250,160	84,810
3	1	DM	25	220,230	82,700
Média				226,164	82,954
Desvio Padrão				17,277	1,188
Coef. Var (%)				7,639	1,432
3	2	DM	26	265,990	82,650
3	2	DM	27	204,700	87,220
3	2	DM	28	235,210	77,940
3	2	DM	29	248,380	80,640
3	2	DM	30	244,110	81,800
Média				239,678	82,050
Desvio Padrão				22,534	3,392
Coef. Var (%)				9,402	4,134

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaçada	Corpo de Prova	Módulo Elástico (MPa)	Módulo Secante em 10% (MPa)
1	1	DT	1	284,180	81,790
1	1	DT	2	260,160	84,090
1	1	DT	3	275,570	82,810
1	1	DT	4	234,510	82,740
1	1	DT	5	241,750	83,710
Média				259,234	83,028
Desvio Padrão				21,254	0,902
Coef. Var (%)				8,199	1,087
1	2	DT	6	209,980	79,570
1	2	DT	7	240,320	81,150
1	2	DT	8	257,260	85,120
1	2	DT	9	225,600	80,180
1	2	DT	10	231,180	80,660
Média				232,868	81,336
Desvio Padrão				17,536	2,195
Coef. Var (%)				7,530	2,698
2	1	DT	11	249,980	82,920
2	1	DT	12	235,100	79,380
2	1	DT	13	260,120	83,820
2	1	DT	14	255,130	83,860
2	1	DT	15	260,130	83,250
Média				252,092	82,646
Desvio Padrão				10,386	1,868
Coef. Var (%)				4,120	2,260
2	2	DT	16	228,860	77,860
2	2	DT	17	212,930	78,240
2	2	DT	18	259,960	81,450
2	2	DT	19	249,130	76,700
2	2	DT	20	229,050	76,940
Média				235,986	78,238
Desvio Padrão				18,561	1,905
Coef. Var (%)				7,865	2,434
3	1	DT	21	269,700	82,840
3	1	DT	22	234,220	79,910
3	1	DT	23	284,250	79,700
3	1	DT	24	252,230	82,840
3	1	DT	25	243,310	77,040
Média				256,742	80,466
Desvio Padrão				20,203	2,445
Coef. Var (%)				7,869	3,038
3	2	DT	26	244,840	80,510
3	2	DT	27	251,520	79,170
3	2	DT	28	274,810	80,490
3	2	DT	29	273,000	80,870
3	2	DT	30	256,890	80,890
Média				260,212	80,386
Desvio Padrão				13,224	0,706
Coef. Var (%)				5,082	0,878

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE C – Resultados dos ensaios de resist. à propagação do rasgo com aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaçada	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Força Média (kgf)
1	1	DM	1	1,060	0,550
1	1	DM	2	1,170	0,620
1	1	DM	3	1,100	0,570
1	1	DM	4	1,240	0,700
1	1	DM	5	1,030	0,590
Média				1,120	0,606
Desvio Padrão				0,085	0,059
Coef. Var (%)				7,602	9,664
1	2	DM	6	1,150	0,640
1	2	DM	7	1,250	0,670
1	2	DM	8	1,220	0,680
1	2	DM	9	1,250	0,700
1	2	DM	10	1,140	0,640
Média				1,202	0,666
Desvio Padrão				0,054	0,026
Coef. Var (%)				4,457	3,915
2	1	DM	11	1,250	0,640
2	1	DM	12	1,480	0,770
2	1	DM	13	1,320	0,680
2	1	DM	14	1,160	0,620
2	1	DM	15	1,300	0,650
Média				1,302	0,672
Desvio Padrão				0,117	0,059
Coef. Var (%)				8,996	8,766
2	2	DM	16	1,100	0,600
2	2	DM	17	1,180	0,640
2	2	DM	18	1,180	0,660
2	2	DM	19	1,310	0,720
2	2	DM	20	1,280	0,710
Média				1,210	0,666
Desvio Padrão				0,085	0,050
Coef. Var (%)				7,013	7,477
3	1	DM	21	1,340	0,690
3	1	DM	22	1,420	0,740
3	1	DM	23	1,290	0,650
3	1	DM	24	1,360	0,690
3	1	DM	25	1,310	0,700
Média				1,344	0,694
Desvio Padrão				0,050	0,032
Coef. Var (%)				3,742	4,624
3	2	DM	26	1,030	0,570
3	2	DM	27	1,170	0,640
3	2	DM	28	1,150	0,640
3	2	DM	29	1,000	0,550
3	2	DM	30	1,220	0,620
Média				1,114	0,604
Desvio Padrão				0,094	0,042
Coef. Var (%)				8,483	6,886

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Força Média (kgf)
1	1	DT	1	1,300	0,740
1	1	DT	2	1,430	0,900
1	1	DT	3	1,330	0,730
1	1	DT	4	1,410	0,790
1	1	DT	5	1,290	0,720
Média				1,352	0,776
Desvio Padrão				0,064	0,074
Coef. Var (%)				4,748	9,583
1	2	DT	6	1,550	0,910
1	2	DT	7	1,390	0,800
1	2	DT	8	1,420	0,830
1	2	DT	9	1,410	0,810
1	2	DT	10	1,480	0,900
Média				1,450	0,850
Desvio Padrão				0,065	0,051
Coef. Var (%)				4,496	6,056
2	1	DT	11	1,470	0,820
2	1	DT	12	1,510	0,920
2	1	DT	13	1,460	0,850
2	1	DT	14	1,450	0,830
2	1	DT	15	1,460	0,840
Média				1,470	0,852
Desvio Padrão				0,023	0,040
Coef. Var (%)				1,595	4,651
2	2	DT	16	1,580	1,050
2	2	DT	17	1,660	1,140
2	2	DT	18	1,590	1,020
2	2	DT	19	1,540	1,010
2	2	DT	20	1,670	1,070
Média				1,608	1,058
Desvio Padrão				0,055	0,052
Coef. Var (%)				3,446	4,884
3	1	DT	21	1,510	0,880
3	1	DT	22	1,600	0,990
3	1	DT	23	1,580	0,970
3	1	DT	24	1,700	1,110
3	1	DT	25	1,640	1,050
Média				1,606	1,000
Desvio Padrão				0,071	0,087
Coef. Var (%)				4,394	8,660
3	2	DT	26	1,540	0,880
3	2	DT	27	1,220	0,710
3	2	DT	28	1,530	0,860
3	2	DT	29	1,330	0,760
3	2	DT	30	1,390	0,850
Média				1,402	0,812
Desvio Padrão				0,136	0,073
Coef. Var (%)				9,694	9,025

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE D – Resultados dos ensaios de resist. à propagação do rasgo com aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Resistência da Tração à Termossoldagem (kgf/mm)
1	1	DM	1	6,340	0,250
1	1	DM	2	6,200	0,244
1	1	DM	3	5,190	0,204
1	1	DM	4	5,560	0,219
1	1	DM	5	5,820	0,229
Média				5,822	0,229
Desvio Padrão				0,469	0,019
Coef. Var (%)				8,053	8,136
1	2	DM	6	6,620	0,261
1	2	DM	7	6,590	0,259
1	2	DM	8	5,490	0,216
1	2	DM	9	6,200	0,244
1	2	DM	10	5,710	0,225
Média				6,122	0,241
Desvio Padrão				0,510	0,020
Coef. Var (%)				8,338	8,335
2	1	DM	11	7,190	0,283
2	1	DM	12	6,990	0,275
2	1	DM	13	7,240	0,285
2	1	DM	14	6,620	0,261
2	1	DM	15	6,890	0,271
Média				6,986	0,275
Desvio Padrão				0,250	0,010
Coef. Var (%)				3,574	3,526
2	2	DM	16	6,890	0,271
2	2	DM	17	7,290	0,287
2	2	DM	18	6,710	0,264
2	2	DM	19	7,330	0,289
2	2	DM	20	7,620	0,300
Média				7,168	0,282
Desvio Padrão				0,365	0,015
Coef. Var (%)				5,090	5,144
3	1	DM	21	7,290	0,287
3	1	DM	22	6,360	0,251
3	1	DM	23	6,810	0,268
3	1	DM	24	6,360	0,250
3	1	DM	25	7,390	0,291
Média				6,842	0,269
Desvio Padrão				0,492	0,019
Coef. Var (%)				7,185	7,172
3	2	DM	26	6,100	0,240
3	2	DM	27	6,330	0,249
3	2	DM	28	6,790	0,267
3	2	DM	29	6,340	0,250
3	2	DM	30	6,790	0,267
Média				6,470	0,255
Desvio Padrão				0,307	0,012
Coef. Var (%)				4,753	4,702

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Resistência da Tração à Termossoldagem (kgf/mm)
1	1	DT	1	5,400	0,213
1	1	DT	2	4,690	0,185
1	1	DT	3	5,120	0,201
1	1	DT	4	4,880	0,192
1	1	DT	5	5,250	0,207
Média				5,068	0,200
Desvio Padrão				0,285	0,011
Coef. Var (%)				5,618	5,642
1	2	DT	6	5,180	0,204
1	2	DT	7	5,230	0,206
1	2	DT	8	5,340	0,210
1	2	DT	9	5,330	0,210
1	2	DT	10	5,300	0,209
Média				5,276	0,208
Desvio Padrão				0,069	0,003
Coef. Var (%)				1,304	1,291
2	1	DT	11	5,250	0,207
2	1	DT	12	5,560	0,219
2	1	DT	13	5,550	0,219
2	1	DT	14	5,300	0,208
2	1	DT	15	5,050	0,199
Média				5,342	0,210
Desvio Padrão				0,216	0,009
Coef. Var (%)				4,040	4,083
2	2	DT	16	4,850	0,191
2	2	DT	17	4,810	0,189
2	2	DT	18	4,660	0,184
2	2	DT	19	4,700	0,185
2	2	DT	20	4,590	0,181
Média				4,722	0,186
Desvio Padrão				0,107	0,004
Coef. Var (%)				2,268	2,151
3	1	DT	21	5,300	0,209
3	1	DT	22	4,660	0,184
3	1	DT	23	5,350	0,211
3	1	DT	24	5,170	0,203
3	1	DT	25	5,700	0,224
Média				5,236	0,206
Desvio Padrão				0,377	0,015
Coef. Var (%)				7,200	7,073
3	2	DT	26	5,070	0,200
3	2	DT	27	5,110	0,201
3	2	DT	28	5,230	0,206
3	2	DT	29	5,230	0,206
3	2	DT	30	5,130	0,202
Média				5,154	0,203
Desvio Padrão				0,073	0,003
Coef. Var (%)				1,410	1,393

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE E – Resultados dos ensaios de resist. à delaminação com aditivo

Lote	Amostra	Lado ensaiado	Corpo de Prova	Força média (gf)	Resistência à delaminação (gf/mm)
1	1	Esquerdo	1	1282,300	50,500
1	1	Esquerdo	2	1423,200	56,100
1	1	Esquerdo	3	1395,500	54,900
1	1	Esquerdo	4	1377,400	54,200
1	1	Esquerdo	5	1449,000	57,000
Média				1385,480	54,540
Desvio Padrão				63,776	2,503
Coef. Var (%)				4,603	4,589
1	2	Esquerdo	6	1448,600	57,000
1	2	Esquerdo	7	1194,500	47,000
1	2	Esquerdo	8	1320,600	52,000
1	2	Esquerdo	9	1252,900	49,300
1	2	Esquerdo	10	1281,700	50,500
Média				1299,660	51,160
Desvio Padrão				95,117	3,742
Coef. Var (%)				7,319	7,314
2	1	Esquerdo	11	1391,900	54,800
2	1	Esquerdo	12	1450,300	57,100
2	1	Esquerdo	13	1316,600	51,800
2	1	Esquerdo	14	1432,100	56,400
2	1	Esquerdo	15	1396,900	55,000
Média				1397,560	55,020
Desvio Padrão				51,385	2,040
Coef. Var (%)				3,677	3,708
2	2	Esquerdo	16	1500,000	59,100
2	2	Esquerdo	17	1284,900	50,600
2	2	Esquerdo	18	1765,400	69,500
2	2	Esquerdo	19	1362,900	53,700
2	2	Esquerdo	20	1410,700	55,500
Média				1464,780	57,680
Desvio Padrão				185,252	7,288
Coef. Var (%)				12,647	12,635
3	1	Esquerdo	21	1533,600	60,400
3	1	Esquerdo	22	1496,400	58,900
3	1	Esquerdo	23	1526,000	60,100
3	1	Esquerdo	24	1456,200	57,300
3	1	Esquerdo	25	1505,500	59,300
Média				1503,540	59,200
Desvio Padrão				30,430	1,221
Coef. Var (%)				2,024	2,062
3	2	Esquerdo	26	1285,300	50,600
3	2	Esquerdo	27	1376,900	54,200
3	2	Esquerdo	28	1411,900	55,600
3	2	Esquerdo	29	1318,300	51,900
3	2	Esquerdo	30	1349,000	53,100
Média				1348,280	53,080
Desvio Padrão				49,326	1,946
Coef. Var (%)				3,658	3,666

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Lado ensaiado	Corpo de Prova	Força média (gf)	Resistência à delaminação (gf/mm)
1	1	Direito	1	1406,600	55,400
1	1	Direito	2	1207,800	47,600
1	1	Direito	3	1438,900	56,700
1	1	Direito	4	1426,400	56,200
1	1	Direito	5	1429,400	56,300
Média				1381,820	54,440
Desvio Padrão				97,988	3,853
Coef. Var (%)				7,091	7,077
1	2	Direito	6	1438,300	56,600
1	2	Direito	7	1386,400	54,600
1	2	Direito	8	1293,200	50,900
1	2	Direito	9	1323,600	52,100
1	2	Direito	10	1369,800	53,900
Média				1362,260	53,620
Desvio Padrão				56,315	2,215
Coef. Var (%)				4,134	4,131
2	1	Direito	11	1425,500	56,100
2	1	Direito	12	1353,700	53,300
2	1	Direito	13	1390,600	54,700
2	1	Direito	14	1315,200	51,800
2	1	Direito	15	1445,600	56,900
Média				1386,120	54,560
Desvio Padrão				52,890	2,066
Coef. Var (%)				3,816	3,786
2	2	Direito	16	1398,600	55,200
2	2	Direito	17	1268,900	50,100
2	2	Direito	18	1421,900	56,100
2	2	Direito	19	1388,400	54,800
2	2	Direito	20	1399,700	55,200
Média				1375,500	54,280
Desvio Padrão				60,832	2,385
Coef. Var (%)				4,423	4,393
3	1	Direito	21	1392,500	54,800
3	1	Direito	22	1399,000	55,100
3	1	Direito	23	1463,400	57,600
3	1	Direito	24	1448,900	57,000
3	1	Direito	25	1487,900	58,600
Média				1438,340	56,620
Desvio Padrão				41,366	1,632
Coef. Var (%)				2,876	2,882
3	2	Direito	26	1412,900	55,600
3	2	Direito	27	1311,800	51,600
3	2	Direito	28	1335,600	52,600
3	2	Direito	29	1274,500	50,200
3	2	Direito	30	1251,000	49,300
Média				1317,160	51,860
Desvio Padrão				62,713	2,445
Coef. Var (%)				4,761	4,715

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE F – Resultados dos ensaios de resist. à tração e alongamento sem aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaada	Corpo de Prova	Força máxima (kgf)	Resistência máxima (kgf/mm2)	Alongamento (%)
1	1	DM	1	6,990	1,910	474,000
1	1	DM	2	6,770	1,950	506,000
1	1	DM	3	7,280	1,920	471,000
1	1	DM	4	7,530	1,940	506,000
1	1	DM	5	6,360	1,780	427,000
Média				6,986	1,900	476,800
Desvio Padrão				0,453	0,069	32,507
Coef. Var (%)				6,485	3,627	6,818
1	2	DM	6	7,120	1,860	442,000
1	2	DM	7	6,690	1,740	417,000
1	2	DM	8	6,790	1,790	461,000
1	2	DM	9	7,150	1,840	460,000
1	2	DM	10	6,510	1,740	460,000
Média				6,852	1,794	448,000
Desvio Padrão				0,277	0,055	19,066
Coef. Var (%)				4,048	3,094	4,256
2	1	DM	11	7,650	1,840	457,000
2	1	DM	12	7,530	1,830	475,000
2	1	DM	13	7,500	1,840	468,000
2	1	DM	14	8,040	1,970	481,000
2	1	DM	15	7,950	1,900	463,000
Média				7,734	1,876	468,800
Desvio Padrão				0,247	0,059	9,497
Coef. Var (%)				3,192	3,167	2,026
2	2	DM	16	7,610	1,900	494,000
2	2	DM	17	9,230	2,260	587,000
2	2	DM	18	7,850	1,940	496,000
2	2	DM	19	8,580	2,150	545,000
2	2	DM	20	9,170	2,280	585,000
Média				8,488	2,106	541,400
Desvio Padrão				0,742	0,177	45,555
Coef. Var (%)				8,741	8,425	8,414
3	1	DM	21	9,210	2,420	572,000
3	1	DM	22	8,200	2,180	542,000
3	1	DM	23	8,340	2,110	524,000
3	1	DM	24	9,740	2,470	605,000
3	1	DM	25	8,100	2,130	537,000
Média				8,718	2,262	556,000
Desvio Padrão				0,721	0,170	32,550
Coef. Var (%)				8,271	7,512	5,854
3	2	DM	26	10,240	2,600	671,000
3	2	DM	27	9,990	2,470	617,000
3	2	DM	28	8,410	2,270	555,000
3	2	DM	29	8,240	2,090	541,000
3	2	DM	30	10,140	2,590	607,000
Média				9,404	2,404	598,200
Desvio Padrão				0,991	0,220	52,127
Coef. Var (%)				10,536	9,159	8,714

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaaiada	Corpo de Prova	Força máxima (kgf)	Resistência máxima (kgf/mm2)	Alongamento (%)
1	1	DT	1	8,070	2,180	643,000
1	1	DT	2	7,980	2,200	608,000
1	1	DT	3	8,290	2,110	672,000
1	1	DT	4	7,520	1,970	620,000
1	1	DT	5	8,080	2,110	621,000
Média				7,988	2,114	632,800
Desvio Padrão				0,285	0,090	25,292
Coef. Var (%)				3,571	4,265	3,997
1	2	DT	6	7,330	1,890	590,000
1	2	DT	7	7,070	1,810	529,000
1	2	DT	8	7,320	1,950	577,000
1	2	DT	9	7,080	1,820	547,000
1	2	DT	10	7,170	1,870	537,000
Média				7,194	1,868	556,000
Desvio Padrão				0,126	0,057	26,306
Coef. Var (%)				1,749	3,038	4,731
2	1	DT	11	8,970	2,170	612,000
2	1	DT	12	7,640	1,850	547,000
2	1	DT	13	7,900	1,990	575,000
2	1	DT	14	7,410	1,820	558,000
2	1	DT	15	7,450	1,870	550,000
Média				7,874	1,940	568,400
Desvio Padrão				0,643	0,144	26,689
Coef. Var (%)				8,161	7,416	4,695
2	2	DT	16	10,460	2,590	697,000
2	2	DT	17	9,960	2,470	664,000
2	2	DT	18	9,490	2,370	646,000
2	2	DT	19	8,450	2,080	622,000
2	2	DT	20	9,950	2,450	677,000
Média				9,662	2,392	661,200
Desvio Padrão				0,759	0,191	28,752
Coef. Var (%)				7,860	8,000	4,349
3	1	DT	21	9,660	2,620	695,000
3	1	DT	22	8,100	1,960	608,000
3	1	DT	23	8,960	2,420	669,000
3	1	DT	24	9,050	2,510	663,000
3	1	DT	25	7,880	1,930	616,000
Média				8,730	2,288	650,200
Desvio Padrão				0,731	0,321	36,996
Coef. Var (%)				8,378	14,038	5,690
3	2	DT	26	8,470	2,240	655,000
3	2	DT	27	8,840	2,310	642,000
3	2	DT	28	9,520	2,450	679,000
3	2	DT	29	8,900	2,290	704,000
3	2	DT	30	9,740	2,560	734,000
Média				9,094	2,370	682,800
Desvio Padrão				0,522	0,132	37,158
Coef. Var (%)				5,741	5,558	5,442

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE G – Resultados dos ensaios de módulo elástico e secante 10% sem aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Módulo Elástico (MPa)	Módulo Secante em 10% (MPa)
1	1	DM	1	199,450	78,290
1	1	DM	2	238,430	77,740
1	1	DM	3	243,440	79,780
1	1	DM	4	242,800	82,230
1	1	DM	5	214,540	78,130
Média				227,732	79,234
Desvio Padrão				19,762	1,845
Coef. Var (%)				8,678	2,329
1	2	DM	6	217,660	79,040
1	2	DM	7	221,790	78,240
1	2	DM	8	216,200	75,360
1	2	DM	9	221,080	78,520
1	2	DM	10	199,980	76,440
Média				215,342	77,520
Desvio Padrão				8,897	1,554
Coef. Var (%)				4,131	2,005
2	1	DM	11	225,580	77,540
2	1	DM	12	227,460	77,680
2	1	DM	13	215,760	77,320
2	1	DM	14	230,600	78,180
2	1	DM	15	223,650	76,160
Média				224,610	77,376
Desvio Padrão				5,572	0,750
Coef. Var (%)				2,481	0,969
2	2	DM	16	229,150	79,950
2	2	DM	17	231,780	80,420
2	2	DM	18	230,230	79,260
2	2	DM	19	233,390	82,920
2	2	DM	20	221,120	80,350
Média				229,134	80,580
Desvio Padrão				4,758	1,387
Coef. Var (%)				2,076	1,721
3	1	DM	21	223,020	82,100
3	1	DM	22	222,270	81,390
3	1	DM	23	211,290	73,600
3	1	DM	24	236,260	83,160
3	1	DM	25	227,890	82,560
Média				224,146	80,562
Desvio Padrão				9,094	3,945
Coef. Var (%)				4,057	4,897
3	2	DM	26	224,530	80,200
3	2	DM	27	226,000	82,410
3	2	DM	28	230,270	81,110
3	2	DM	29	221,570	78,680
3	2	DM	30	221,320	79,390
Média				224,738	80,358
Desvio Padrão				3,673	1,462
Coef. Var (%)				1,634	1,820

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Módulo Elástico (MPa)	Módulo Secante em 10% (MPa)
1	1	DT	1	274,560	80,860
1	1	DT	2	226,550	71,470
1	1	DT	3	272,770	85,230
1	1	DT	4	242,000	80,530
1	1	DT	5	278,080	82,370
Média				258,792	80,092
Desvio Padrão				23,117	5,165
Coef. Var (%)				8,933	6,449
1	2	DT	6	234,910	78,850
1	2	DT	7	202,410	77,220
1	2	DT	8	243,860	77,850
1	2	DT	9	241,830	77,030
1	2	DT	10	217,190	77,970
Média				228,040	77,784
Desvio Padrão				17,764	0,718
Coef. Var (%)				7,790	0,923
2	1	DT	11	221,730	77,500
2	1	DT	12	252,510	80,380
2	1	DT	13	279,160	75,990
2	1	DT	14	246,650	79,210
2	1	DT	15	245,650	79,050
Média				249,140	78,426
Desvio Padrão				20,508	1,704
Coef. Var (%)				8,231	2,173
2	2	DT	16	228,240	79,190
2	2	DT	17	236,890	76,270
2	2	DT	18	253,290	84,660
2	2	DT	19	256,150	80,470
2	2	DT	20	250,270	79,060
Média				244,968	79,930
Desvio Padrão				11,911	3,056
Coef. Var (%)				4,862	3,824
3	1	DT	21	256,340	81,330
3	1	DT	22	236,440	79,250
3	1	DT	23	241,840	82,710
3	1	DT	24	256,750	84,570
3	1	DT	25	256,350	80,980
Média				249,544	81,768
Desvio Padrão				9,689	1,993
Coef. Var (%)				3,883	2,438
3	2	DT	26	261,940	82,010
3	2	DT	27	225,410	78,040
3	2	DT	28	224,050	79,960
3	2	DT	29	248,660	80,730
3	2	DT	30	238,910	80,910
Média				239,794	80,330
Desvio Padrão				16,005	1,475
Coef. Var (%)				6,674	1,836

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE H – Resultados dos ensaios de resist. à propagação do rasgo sem aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Força Máxima	Força Média
1	1	DM	1	0,950	0,540
1	1	DM	2	1,180	0,660
1	1	DM	3	1,040	0,580
1	1	DM	4	1,110	0,620
1	1	DM	5	1,040	0,590
Média				1,064	0,598
Desvio Padrão				0,086	0,045
Coef. Var (%)				8,101	7,516
1	2	DM	6	1,080	0,590
1	2	DM	7	1,110	0,590
1	2	DM	8	1,240	0,680
1	2	DM	9	1,360	0,690
1	2	DM	10	1,110	0,610
Média				1,180	0,632
Desvio Padrão				0,118	0,049
Coef. Var (%)				10,009	7,784
2	1	DM	11	1,240	0,710
2	1	DM	12	1,130	0,610
2	1	DM	13	1,160	0,650
2	1	DM	14	1,110	0,610
2	1	DM	15	1,210	0,690
Média				1,170	0,654
Desvio Padrão				0,054	0,046
Coef. Var (%)				4,642	6,974
2	2	DM	16	1,290	0,660
2	2	DM	17	1,160	0,620
2	2	DM	18	1,160	0,600
2	2	DM	19	1,050	0,540
2	2	DM	20	1,170	0,660
Média				1,166	0,616
Desvio Padrão				0,085	0,050
Coef. Var (%)				7,292	8,084
3	1	DM	21	1,200	0,660
3	1	DM	22	1,240	0,720
3	1	DM	23	1,230	0,670
3	1	DM	24	1,210	0,660
3	1	DM	25	1,150	0,610
Média				1,206	0,664
Desvio Padrão				0,035	0,039
Coef. Var (%)				2,908	5,891
3	2	DM	26	1,170	0,630
3	2	DM	27	1,170	0,620
3	2	DM	28	1,270	0,660
3	2	DM	29	1,390	0,760
3	2	DM	30	1,150	0,600
Média				1,230	0,654
Desvio Padrão				0,101	0,063
Coef. Var (%)				8,211	9,646

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaçada	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Força Média (kgf)
1	1	DT	1	1,170	0,670
1	1	DT	2	1,180	0,640
1	1	DT	3	1,190	0,680
1	1	DT	4	1,050	0,530
1	1	DT	5	1,170	0,620
Média				1,152	0,628
Desvio Padrão				0,058	0,060
Coef. Var (%)				5,002	9,514
1	2	DT	6	1,230	0,700
1	2	DT	7	1,090	0,630
1	2	DT	8	1,320	0,640
1	2	DT	9	1,280	0,770
1	2	DT	10	1,240	0,710
Média				1,232	0,690
Desvio Padrão				0,087	0,057
Coef. Var (%)				7,062	8,262
2	1	DT	11	1,050	0,600
2	1	DT	12	1,050	0,600
2	1	DT	13	1,210	0,700
2	1	DT	14	1,060	0,640
2	1	DT	15	1,050	0,600
Média				1,084	0,628
Desvio Padrão				0,071	0,044
Coef. Var (%)				6,510	6,977
2	2	DT	16	1,670	0,980
2	2	DT	17	1,630	0,920
2	2	DT	18	1,610	0,980
2	2	DT	19	1,500	0,940
2	2	DT	20	1,510	0,880
Média				1,584	0,940
Desvio Padrão				0,075	0,042
Coef. Var (%)				4,758	4,513
3	1	DT	21	1,820	1,210
3	1	DT	22	1,760	1,210
3	1	DT	23	1,600	0,990
3	1	DT	24	1,600	0,920
3	1	DT	25	1,680	1,090
Média				1,692	1,084
Desvio Padrão				0,098	0,130
Coef. Var (%)				5,767	11,986
3	2	DT	26	1,580	0,920
3	2	DT	27	1,630	0,970
3	2	DT	28	1,470	0,830
3	2	DT	29	1,790	1,070
3	2	DT	30	1,590	0,950
Média				1,612	0,948
Desvio Padrão				0,116	0,087
Coef. Var (%)				7,186	9,147

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE I – Resultados dos ensaios de resist. da termossoldagem à tração sem aditivo

Lote	Amostra	Direção Ensaada	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Resistência da Tração à Termossoldagem (kgf/mm)
1	1	DM	1	5,970	0,235
1	1	DM	2	5,960	0,235
1	1	DM	3	5,670	0,223
1	1	DM	4	5,750	0,227
1	1	DM	5	6,200	0,244
Média				5,910	0,233
Desvio Padrão				0,208	0,008
Coef. Var (%)				3,523	3,495
1	2	DM	6	6,700	0,264
1	2	DM	7	6,890	0,271
1	2	DM	8	6,080	0,239
1	2	DM	9	6,070	0,239
1	2	DM	10	5,600	0,221
Média				6,268	0,247
Desvio Padrão				0,523	0,020
Coef. Var (%)				8,345	8,276
2	1	DM	11	7,020	0,277
2	1	DM	12	6,620	0,261
2	1	DM	13	7,150	0,281
2	1	DM	14	6,970	0,275
2	1	DM	15	6,110	0,240
Média				6,774	0,267
Desvio Padrão				0,420	0,017
Coef. Var (%)				6,197	6,285
2	2	DM	16	7,540	0,297
2	2	DM	17	7,060	0,278
2	2	DM	18	6,660	0,262
2	2	DM	19	6,930	0,273
2	2	DM	20	6,420	0,253
Média				6,922	0,273
Desvio Padrão				0,425	0,017
Coef. Var (%)				6,136	6,142
3	1	DM	21	7,390	0,291
3	1	DM	22	7,290	0,287
3	1	DM	23	7,630	0,300
3	1	DM	24	7,450	0,293
3	1	DM	25	7,030	0,277
Média				7,358	0,290
Desvio Padrão				0,221	0,008
Coef. Var (%)				3,006	2,926
3	2	DM	26	7,600	0,299
3	2	DM	27	6,440	0,254
3	2	DM	28	6,670	0,263
3	2	DM	29	7,660	0,302
3	2	DM	30	7,470	0,294
Média				7,168	0,282
Desvio Padrão				0,570	0,022
Coef. Var (%)				7,947	7,873

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Direção Ensaída	Corpo de Prova	Força Máxima (kgf)	Resistência da Tração à Termossoldagem (kgf/mm)
1	1	DT	1	5,290	0,208
1	1	DT	2	5,260	0,207
1	1	DT	3	5,390	0,212
1	1	DT	4	5,410	0,213
1	1	DT	5	5,380	0,212
Média				5,346	0,210
Desvio Padrão				0,067	0,003
Coef. Var (%)				1,245	1,284
1	2	DT	6	5,270	0,208
1	2	DT	7	5,140	0,203
1	2	DT	8	5,100	0,201
1	2	DT	9	4,740	0,187
1	2	DT	10	5,140	0,202
Média				5,078	0,200
Desvio Padrão				0,200	0,008
Coef. Var (%)				3,930	3,924
2	1	DT	11	5,250	0,207
2	1	DT	12	5,590	0,220
2	1	DT	13	5,770	0,227
2	1	DT	14	5,710	0,225
2	1	DT	15	5,690	0,224
Média				5,602	0,221
Desvio Padrão				0,207	0,008
Coef. Var (%)				3,698	3,635
2	2	DT	16	5,750	0,226
2	2	DT	17	5,630	0,222
2	2	DT	18	5,620	0,221
2	2	DT	19	5,670	0,223
2	2	DT	20	5,410	0,213
Média				5,616	0,221
Desvio Padrão				0,126	0,005
Coef. Var (%)				2,244	2,194
3	1	DT	21	5,580	0,220
3	1	DT	22	5,650	0,222
3	1	DT	23	5,970	0,235
3	1	DT	24	5,720	0,225
3	1	DT	25	5,590	0,220
Média				5,702	0,224
Desvio Padrão				0,160	0,006
Coef. Var (%)				2,804	2,794
3	2	DT	26	5,580	0,220
3	2	DT	27	5,630	0,222
3	2	DT	28	5,540	0,218
3	2	DT	29	5,700	0,225
3	2	DT	30	5,870	0,231
Média				5,664	0,223
Desvio Padrão				0,130	0,005
Coef. Var (%)				2,290	2,271

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

APÊNDICE J – Resultados dos ensaios de resist. à delaminação sem aditivo

Lote	Amostra	Lado ensaiado	Corpo de Prova	Força média (gf)	Resistência à delaminação (gf/mm)
1	1	Esquerdo	1	1023,800	40,300
1	1	Esquerdo	2	1204,500	47,400
1	1	Esquerdo	3	1122,300	44,200
1	1	Esquerdo	4	1046,500	41,200
1	1	Esquerdo	5	1192,400	46,900
Média				1117,900	44,000
Desvio Padrão				82,192	3,223
Coef. Var (%)				7,352	7,324
1	2	Esquerdo	6	1170,800	46,100
1	2	Esquerdo	7	1106,600	43,600
1	2	Esquerdo	8	1227,400	48,300
1	2	Esquerdo	9	1050,400	41,400
1	2	Esquerdo	10	1272,800	50,100
Média				1165,600	45,900
Desvio Padrão				89,569	3,499
Coef. Var (%)				7,684	7,624
2	1	Esquerdo	11	1163,900	45,800
2	1	Esquerdo	12	1209,300	47,600
2	1	Esquerdo	13	1185,300	46,700
2	1	Esquerdo	14	1220,500	48,100
2	1	Esquerdo	15	1290,300	50,800
Média				1213,860	47,800
Desvio Padrão				48,009	1,893
Coef. Var (%)				3,955	3,961
2	2	Esquerdo	16	1075,900	42,400
2	2	Esquerdo	17	1192,500	47,000
2	2	Esquerdo	18	1218,400	48,000
2	2	Esquerdo	19	1046,600	41,200
2	2	Esquerdo	20	1240,500	48,800
Média				1154,780	45,480
Desvio Padrão				87,669	3,446
Coef. Var (%)				7,592	7,576
3	1	Esquerdo	21	1230,200	48,400
3	1	Esquerdo	22	1233,200	48,600
3	1	Esquerdo	23	1086,000	42,800
3	1	Esquerdo	24	1214,300	47,800
3	1	Esquerdo	25	1317,300	51,900
Média				1216,200	47,900
Desvio Padrão				83,159	3,270
Coef. Var (%)				6,838	6,826
3	2	Esquerdo	26	1064,100	41,900
3	2	Esquerdo	27	1120,400	44,100
3	2	Esquerdo	28	1287,000	50,700
3	2	Esquerdo	29	1098,500	43,200
3	2	Esquerdo	30	1137,300	44,800
Média				1141,460	44,940
Desvio Padrão				85,838	3,397
Coef. Var (%)				7,520	7,560

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

Lote	Amostra	Lado ensaiado	Corpo de Prova	Força média (gf)	Resistência à delaminação (gf/mm)
1	1	Direito	1	1202,300	47,300
1	1	Direito	2	1183,400	46,600
1	1	Direito	3	1281,700	50,500
1	1	Direito	4	1196,500	47,100
1	1	Direito	5	1172,200	46,100
Média				1207,220	47,520
Desvio Padrão				43,244	1,730
Coef. Var (%)				3,582	3,640
1	2	Direito	6	1273,400	50,100
1	2	Direito	7	1109,300	43,700
1	2	Direito	8	1257,200	49,500
1	2	Direito	9	1123,200	44,200
1	2	Direito	10	1049,200	41,300
Média				1162,460	45,760
Desvio Padrão				98,080	3,853
Coef. Var (%)				8,437	8,421
2	1	Direito	11	1186,900	46,700
2	1	Direito	12	1308,800	51,500
2	1	Direito	13	1215,300	47,800
2	1	Direito	14	1389,600	54,700
2	1	Direito	15	1275,600	50,200
Média				1275,240	50,180
Desvio Padrão				80,002	3,160
Coef. Var (%)				6,273	6,298
2	2	Direito	16	1219,100	48,000
2	2	Direito	17	1116,400	44,000
2	2	Direito	18	1267,200	49,900
2	2	Direito	19	1132,300	44,600
2	2	Direito	20	1103,000	43,400
Média				1167,600	45,980
Desvio Padrão				71,786	2,825
Coef. Var (%)				6,148	6,145
3	1	Direito	21	1150,300	45,300
3	1	Direito	22	1147,300	45,200
3	1	Direito	23	1132,900	44,600
3	1	Direito	24	1172,900	46,200
3	1	Direito	25	1099,600	43,300
Média				1140,600	44,920
Desvio Padrão				27,030	1,071
Coef. Var (%)				2,370	2,384
3	2	Direito	26	1230,400	48,400
3	2	Direito	27	1122,800	44,200
3	2	Direito	28	1155,300	45,500
3	2	Direito	29	1244,800	49,000
3	2	Direito	30	1246,900	49,100
Média				1200,040	47,240
Desvio Padrão				57,203	2,246
Coef. Var (%)				4,767	4,754

Fonte: Elaboração do autor, 2020.

ANEXOS

ANEXO A – Tabelas plano de amostragem

Tamanho do lote de produção	Níveis especiais de inspeção				Níveis gerais de inspeção		
	S1	S2	S3	S4	I	II	III
2 a 8	A	A	A	A	A	A	B
9 a 15	A	A	A	A	A	B	C
16 a 25	A	A	B	B	B	C	D
26 a 50	A	B	B	C	C	D	E
51 a 90	B	B	C	C	C	E	F
91 a 150	B	B	C	D	D	F	G
151 a 280	B	C	D	E	E	G	H
281 a 500	B	C	D	E	F	H	J
501 a 1200	C	C	E	F	G	J	K
1201 a 3200	C	D	E	G	H	K	L
3201 a 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 a 35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 a 150000	D	E	G	J	L	N	P
150001 a 500000	D	E	G	J	M	P	Q
Acima de 500001	D	E	H	K	N	Q	R

Fonte: ABNT, 1985, p. 7.

Código literal	Tamanho do lote de inspeção
A	2
B	3
C	5
D	8
E	13
F	20
G	32
H	50
J	80
K	125
L	200
M	315
N	500
P	800
Q	1250
R	2000

Fonte: Adaptado ABNT, 1985, p. 8.