

Vida útil de filmes plásticos para embalagens – Avaliação da ocorrência de alterações em propriedades mecânicas e de barreira ao longo da estocagem

Lea M. Oliveira¹

Fábio G. Teixeira¹

Claire Sarantópoulos¹

Vinícius P. Santos²

¹Cetea/Ital, Campinas/SP, ²Bolsista CNPq

Embalagens plásticas flexíveis com multicamadas são amplamente utilizadas para acondicionamento de uma grande variedade de produtos a exemplo de biscoitos, refrescos em pó, salgadinhos, alimentos para animais, café e produtos de higiene e limpeza. Uma importante função dessas embalagens é preservar a qualidade e garantir a vida útil do produto acondicionado, criando condições que retardem reações de deterioração. Contudo, existe uma grande dúvida com relação ao tempo que o material de embalagem pode ser mantido no estoque antes de ir para a linha de produção, sem que perca sua maquinabilidade e capacidade de proteção. Se discute muito, mas pouco se encontra na literatura, o quanto os fatores tempo e temperatura de estocagem podem impactar no coeficiente de atrito (COF), nas características da termossoldagem, na força de adesão entre as camadas e nas propriedades de barreira do material, uma vez que alterações nessas propriedades podem influenciar na vida útil do produto e na maquinabilidade da estrutura, levando a perdas econômicas devido ao desperdício de embalagem, descarte de produto, gasto com energia e mão de obra, além de um eventual prejuízo à imagem da empresa. Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência de alterações em propriedades mecânicas e de barreira de estruturas laminadas utilizadas como embalagem para diferentes produtos, durante estocagem prolongada em condições controladas, a fim de obter subsídios para estabelecer a vida útil do material de embalagem e verificar a possibilidade do emprego de condições aceleradas de envelhecimento.



Foram objeto de estudo duas amostras de filmes plásticos laminados, comerciais, fornecidas por um convertedor nacional, as quais foram estocadas nas seguintes condições: 23 °C/360 dias, 40 °C/122 dias, 60 °C/28 dias. O tempo de estocagem em condições aceleradas, a 40 °C e a 60 °C, foi calculado de acordo com a norma ASTM F1980 (2016), tendo por objetivo uma vida útil dos filmes de 360 dias a 23 °C:

- **Amostra 1** – filme com estrutura BOPP/impressão/metalização/BOPP, espessura total de 44 µm, adesivo poliuretânico solvente less, utilizado na confecção de embalagem para acondicionamento de biscoito
- **Amostra 2** – filme com estrutura PET/impressão/PELBD branco/PELBD, espessura total de 49 µm, adesivo poliuretânico base solvente, utilizado na confecção de embalagem para o acondicionamento de produto de limpeza

Periodicamente as amostras foram avaliadas com relação à resistência da termossoldagem à tração, resistência à delaminação, coeficientes de atrito (COF) e permeabilidade ao vapor d'água (TPVA).

Todos os ensaios mecânicos foram realizados em ambiente a 23 °C ± 2 °C e (50 ± 5)% UR, após condicionamento dos corpos de prova nesse mesmo ambiente, em máquina universal de ensaios Instron.

As amostras foram termossoldadas camada interna contra camada interna, em equipamento Brugger, operando com duas barras aquecidas, nas condições descritas na Tabela 1. A termossoldagem foi feita de modo que a linha de solda ficasse perpendicular à direção de fabricação do material, após cerca de 4 horas de condicionamento a 23 °C. A determinação da resistência da termossoldagem à tração foi realizada conforme descrito na ASTM F88/F88M (2015).

TABELA 1. Condições de termossoldagem.

| Amostra | Temperatura (°C) | Tempo (s) | Pressão (bar) | Perfil da barra |
|---------|------------------|-----------|---------------|---|
| 1 | 130 | 1 | 4 | Perfil liso, 10 mm de largura, revestido com teflon |
| 2 | 110 | 1 | 4 | Perfil com estrias horizontais, 10 mm de largura |

A resistência à delaminação foi determinada de acordo com a norma ASTM F904 (2016). Foi utilizada fita adesiva na camada externa para evitar o rasgamento do material. Cinco corpos de prova com 15 mm de largura foram avaliados.

Os coeficientes de atrito estático e dinâmico foram determinados de acordo com a norma ASTM D1894 (2014). A amostra foi ensaiada na direção de fabricação (DF), na seguinte situação de contato: face interna x face interna. Dez corpos de prova foram avaliados.

A TPVA da Amostra 1 foi determinada segundo procedimento descrito na norma ASTM F1249 (2013), em equipamento com sensor infravermelho Permatran, modelos W 3/31 e W 3/33, da Mocon. O ensaio foi realizado a 38 °C sob gradiente de 90% UR. Já a TPVA da Amostra 2, bem mais permeável que a Amostra 1, foi determinada por método gravimétrico, segundo procedimento descrito na norma ASTM E96/E96M (2016) também a 38 °C sob e 90% UR. A área efetiva de permeação de cada corpo de prova foi de 50 cm² para ambos os métodos de ensaio.

Para análise estatística foram realizados os testes de normalidade de Anderson-Darling e Shapiro Wilk e a variabilidade foi verificada nos testes de Bartlett e Levene. Quando os dados seguiram a distribuição de probabilidade normal e a variabilidade não apresentou diferença significativa ao nível de 95% de confiança, foram utilizados a Anova e o teste de comparações múltiplas pareadas de Tukey para testar a diferença entre as médias. Quando os dados seguiram a distribuição de probabilidade normal e a variabilidade apresentou diferença significativa ao nível de 95% de confiança, foram utilizados a Anova de Welch e o teste de comparações múltiplas pareadas de Games-Howell para testar a diferença entre as médias. Quando os dados não seguiram uma distribuição de probabilidade normal e a variabilidade não teve diferença significativa ao nível de 95% de confiança, foram utilizados o teste não paramétrico de Kruskal-

Wallis e o teste de comparações múltiplas pareadas de Conover-Iman. Por fim, quando os dados não seguiram a distribuição de probabilidade normal e a variabilidade teve diferença significativa ao nível de 95% de confiança, foi utilizado o teste não paramétrico de Mood, que faz as análises em medianas. Os dados do TPVA a 23 °C da Amostra 1 e a 23 °C e 40 °C da Amostra 2 são apresentados em média, mas as análises foram realizadas em medianas.

Resultados e Discussão

Amostra 1

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de termossoldagem, delaminação e COF.

Não houve alteração significativa, ao nível de confiança de 95%, na resistência máxima da termossoldagem à tração durante os 360 dias de estocagem a 23 °C. A mesma estabilidade foi constatada na estocagem em condições aceleradas, 40 °C e 60 °C. Na Figura 1 é possível observar claramente a estabilidade da resistência da termossoldagem durante o período de estocagem nas diferentes temperaturas. A análise estatística das diferenças entre as categorias (teste de comparações múltiplas pareadas Games-Howel) com um intervalo de confiança de 95%, também não indicou diferença significativa entre as resistências da termossoldagem à tração da Amostra 1 por 360 dias a 23 °C, 40 dias a 40 °C e 28 dias a 60 °C. Esse resultado indica que, com relação à resistência da termossoldagem à tração, é possível acelerar o envelhecimento da Amostra 1 por meio da estocagem a 60 °C por 28 dias, o que equivale a 23 °C por 360 dias. O envelhecimento em uma condição mais amena, 40 °C por 122 dias, também pode ser adotado, correspondendo a 360 dias a 23 °C.

A 23 °C não foi constatada variação significativa, ao nível de 95% de confiança, na resistência média à delaminação durante 360 dias, o que indica que esse parâmetro não foi alterado ao longo do tempo. Variações significativas ocorreram durante a estocagem nas condições aceleradas. Contudo, mesmo nessas condições não se verificou uma tendência de queda da resistência à delaminação ao longo do tempo (Figura 1). A análise das diferenças entre as categorias (teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD)), com um intervalo de confiança de 95%, indicou igualdade estatística nas resistências à delaminação determinadas após estocagem da Amostra 1 por 360 dias a 23 °C, 122 dias a 40 °C e 28 dias a 60 °C. Esse resultado indica que o envelhecimento da Amostra 1 nas condições desse experimento pode ser adotado para acompanhar a resistência à delaminação.

Em todas as temperaturas de estocagem houve tendência de redução dos coeficientes de atrito (Figura 2). No caso do atrito estático, essa tendência foi mais consistente durante a estocagem a 40 °C e 23 °C. A análise das diferenças entre as categorias (teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD)), com um intervalo de confiança de 95%, indicou não haver diferença estatística entre os coeficientes de atrito da Amostra 1 estocada a 40 °C e a 23 °C nos períodos desse estudo. Dessa forma, pode-se concluir que o envelhecimento a 40 °C por 122 dias pode ser utilizado para prever os coeficientes de atrito estático e dinâmico da amostra após 360 dias a 23 °C. Já a estocagem a 60 °C não reproduz o observado em ambiente a 23 °C.

Na Tabela 3 e na Figura 3 são apresentados os resultados de TPVA da Amostra 1. A estocagem a 60 °C e a 40 °C não teve efeito significativo na TPVA da Amostra 1, o mesmo ocorrendo até os 90 dias de estocagem a 23 °C, quando, então, há uma leve tendência de queda da TPVA. Ainda assim, a análise das diferenças entre as categorias pelo teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD), com 95% de confiança, indicou não haver diferença estatística entre as TPVA da Amostra 1 estocadas nas três condições desse estudo. Esse resultado indica que tanto o envelhecimento por 122 dias a 40 °C quanto 31 dias a 60 °C, podem ser adotados para prever a TPVA da Amostra 1 após 360 dias a 23 °C.

TABELA 2. Resultados médios de resistência de termossoldagem, delaminação e COF da **Amostra 1**.

| | | | | | | | | |
|---|-------|--------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resistência máxima da termossoldagem à tração* (kgf/25,4 mm) | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 7 | 14 | 21 | 28 | |
| | | Média | 0,594 ^a | 0,659 ^a | 0,594 ^a | 0,618 ^a | 0,597 ^a | |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 0,594 ^a | 0,474 ^a | 0,562 ^a | 0,604 ^a | 0,557 ^a | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 0,594 ^a | 0,495 ^a | 0,523 ^a | 0,597 ^a | 0,627 ^a | |
| Resistência média à delaminação* (gf/15 mm) | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 7 | 14 | 21 | 28 | |
| | | Média | 172 ^a | 226 ^a | 193 ^a | 110 ^b | 175 ^a | |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 172 ^{c,d} | 219 ^{a,b} | 255 ^a | 202 ^{b,c} | 154 ^d | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 172 ^a | 182 ^a | 193 ^a | 197 ^a | 182 ^a | |
| COF estático** | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 |
| | | Média | 0,58 ^a | 0,50 ^{b,c} | 0,53 ^{a,b} | 0,46 ^c | 0,53 ^{a,b} | 0,50 ^{b,c} |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 0,58 ^a | 0,48 ^{b,c} | 0,44 ^c | 0,52 ^b | 0,43 ^c | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 0,58 ^a | 0,52 ^b | 0,45 ^c | 0,47 ^{b,c} | 0,44 ^c | |
| COF dinâmico** | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 |
| | | Média | 0,36 ^c | 0,34 ^{a,b,c} | 0,36 ^{b,c} | 0,34 ^a | 0,33 ^a | 0,34 ^{a,b} |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 0,36 ^a | 0,34 ^b | 0,32 ^c | 0,32 ^c | 0,31 ^c | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 0,36 ^a | 0,34 ^b | 0,32 ^c | 0,34 ^b | 0,31 ^c | |

Valores referentes a 5* ou 10** determinações

a, b, c, d: para uma mesma propriedade e temperatura de estocagem, médias acompanhadas da mesma letra sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de confiança

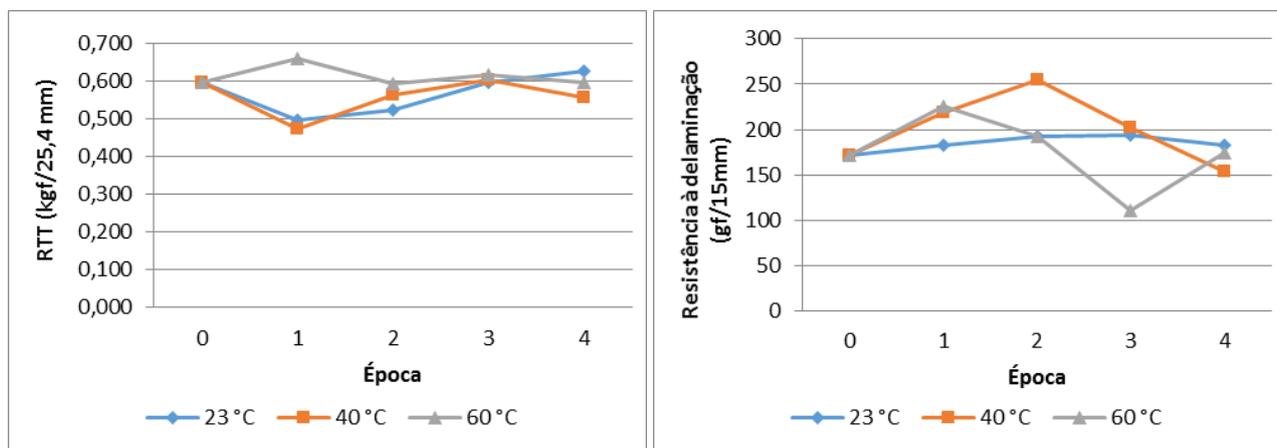


FIGURA 1. Resistência da termossoldagem à tração (RTT) e resistência à delaminação ao longo da estocagem nas diferentes temperaturas – **Amostra 1**.

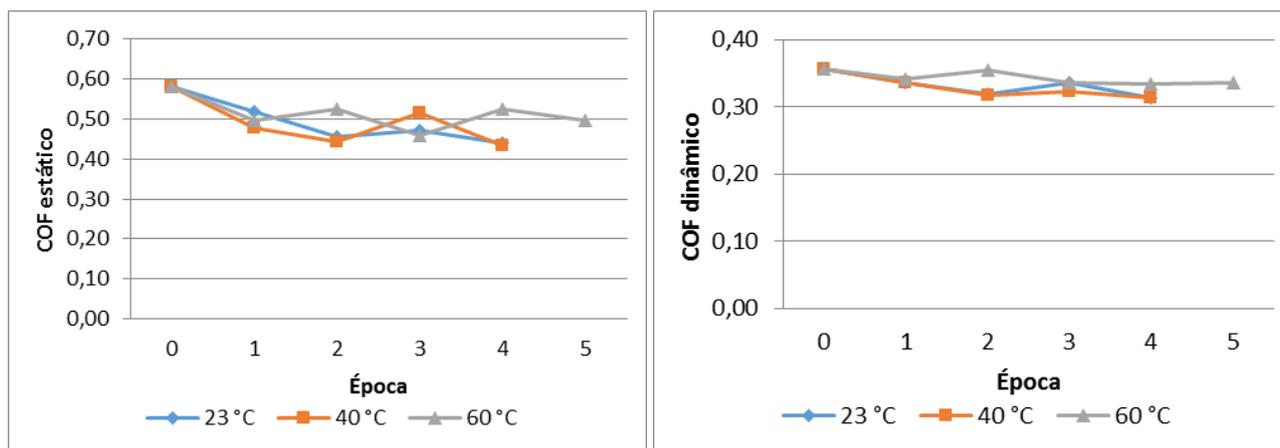


FIGURA 2. Coeficientes de atrito estático e dinâmico ao longo da estocagem nas diferentes temperaturas – Amostra 1.

TABELA 3. Resultados médios de TPVA da Amostra 1.

| TPVA (g água. m ⁻² .dia ⁻¹) a 38 °C e 90% UR | 60 °C | Época (dias) | Inicial | | | | | 31 | | | | | | | |
|---|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| | | Média | *0,58 ^a | | | | | | | | | | 0,56 ^a | | |
| 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | | | |
| | Média | *0,58 ^a | 0,60 ^a | *0,67 ^a | *0,63 ^a | 0,59 ^a | *0,58 ^a | 0,60 ^a | *0,67 ^a | *0,63 ^a | 0,59 ^a | 0,59 ^a | | | |
| 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 228 | 270 | 360 | Época (dias) | Inicial | 90 | 228 | 270 | 360 | | | |
| | Média | *0,58 ^a | 0,56 ^{ab} | *0,50 ^b | 0,49 ^b | 0,51 ^b | *0,58 ^a | 0,56 ^{ab} | *0,50 ^b | 0,49 ^b | 0,51 ^b | 0,51 ^b | | | |

Valores referentes a 3* ou 4 determinações

^{a, b}: Para uma mesma temperatura de estocagem, médias acompanhadas da mesma letra sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de confiança

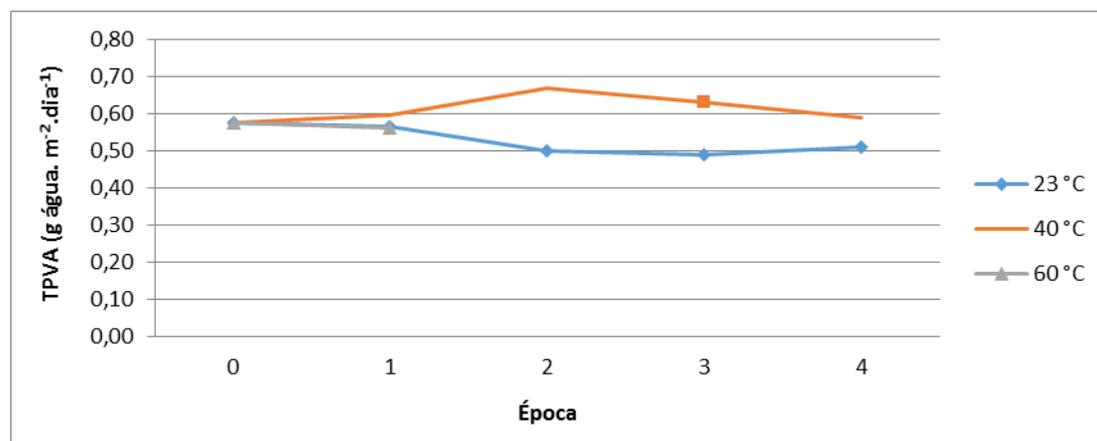


FIGURA 3. TPVA ao longo da estocagem nas diferentes temperaturas – Amostra 1.

Amostra 2

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de termossoldagem, delaminação e COF da Amostra 2.

Apesar de variações pontuais, estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95%, registradas nas estocagens a 40 °C e a 23 °C, a Figura 4 demonstra que não há tendência de alteração da resistência máxima da termossoldagem à tração durante a estocagem. A análise de diferença entre as categorias usando teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD), ao nível de 95% de confiança, não indicou diferença entre as resistências da termossoldagem à tração ao longo da estocagem por 360 dias a 23 °C,

122 dias a 40 °C e 28 dias a 60 °C. Sendo assim, para a Amostra 2, é possível acompanhar uma eventual variação nesse parâmetro por meio do envelhecimento nas condições estudadas (122 dias/40 °C e 28 dias/60 °C), as quais equivalem a 360 dias a 23 °C.

A resistência à delaminação da Amostra 2 se manteve praticamente estável durante a estocagem a 60 °C e a 40 °C. Já na estocagem a 23 °C foi registrado um aumento significativo, ao nível de 95% de confiança, o que pode ser observado na Figura 4. A análise de diferença entre as categorias usando teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD), ao nível de 95% de confiança, indicou que há diferença entre as resistências à delaminação ao longo da estocagem por 360 dias a 23 °C e 122 dias a 40 °C, o que não ocorreu quando foram comparadas as resistências registradas a 60 °C e a 23 °C. Sendo assim, para a Amostra 2, o envelhecimento a 40 °C por 122 dias não se mostrou viável para monitoramento da resistência à delaminação, ao contrário da condição 60 °C/28 dias, que equivale a 360 dias a 23 °C.

Os coeficientes de atrito estático e dinâmico apresentaram aumento significativo ao nível de 95% de confiança, tanto na estocagem a 60 °C quanto naquela a 40 °C, ao contrário do que ocorreu na estocagem a 23 °C, que resultou em redução nos coeficientes de atrito. A Figura 5 ilustra essa questão. A análise das diferenças por categorias, tanto para o atrito estático (teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD)) como para o dinâmico (teste de comparações múltiplas pareadas Games-Howell), ao nível de 95% de confiança, indicaram que o envelhecimento acelerado, nas condições adotadas nesse experimento, não mostrou similaridade com o ocorrido durante estocagem a 23 °C por 360 dias, não sendo, portanto, recomendados.

TABELA 4. Resultados médios de resistência de termosoldagem, delaminação e COF da **Amostra 2**.

| | | | | | | | | |
|--|-------|--------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Resistência máxima da termosoldagem à tração* (kgf/25,4 mm) | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 7 | 14 | 21 | 28 | |
| | | Média | 3,56 ^a | 3,37 ^a | 3,85 ^a | 3,98 ^a | 3,30 ^a | |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 3,56 ^a | 1,96 ^b | 4,08 ^a | 3,40 ^a | 3,50 ^a | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 3,56 ^a | 3,49 ^a | 2,74 ^b | 3,74 ^a | 3,62 ^a | |
| Resistência média à delaminação* (gf/15 mm) | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 7 | 14 | 21 | 28 | |
| | | Média | 167 ^a | 159 ^a | 193 ^a | 183 ^a | 191 ^a | |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 167 ^{a,b} | 172 ^a | 134 ^b | 136 ^{a,b} | 153 ^{ab} | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 167 ^b | 133 ^c | 166 ^b | 184 ^b | 210 ^a | |
| COF estático** | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 |
| | | Média | 0,30 ^{b,c} | 0,32 ^b | 0,27 ^c | 0,34 ^b | 0,39 ^a | 0,39 ^a |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 0,30 ^c | 0,45 ^a | 0,42 ^b | 0,19 ^d | 0,49 ^a | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 0,30 ^a | 0,18 ^b | 0,18 ^b | 0,18 ^b | 0,18 ^b | |
| COF dinâmico** | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 |
| | | Média | 0,26 ^{b,c} | 0,28 ^b | 0,24 ^c | 0,29 ^{a,b} | 0,33 ^a | 0,31 ^a |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 31 | 60 | 90 | 122 | |
| | | Média | 0,26 ^c | 0,39 ^{a,b} | 0,37 ^b | 0,17 ^d | 0,43 ^a | |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 90 | 180 | 270 | 360 | |
| | | Média | 0,26 ^a | 0,16 ^b | 0,15 ^b | 0,14 ^b | 0,14 ^b | |

Valores referentes a 5* ou 10** determinações

a, b, c, d: Para uma mesma propriedade e temperatura de estocagem, médias acompanhadas da mesma letra sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de confiança

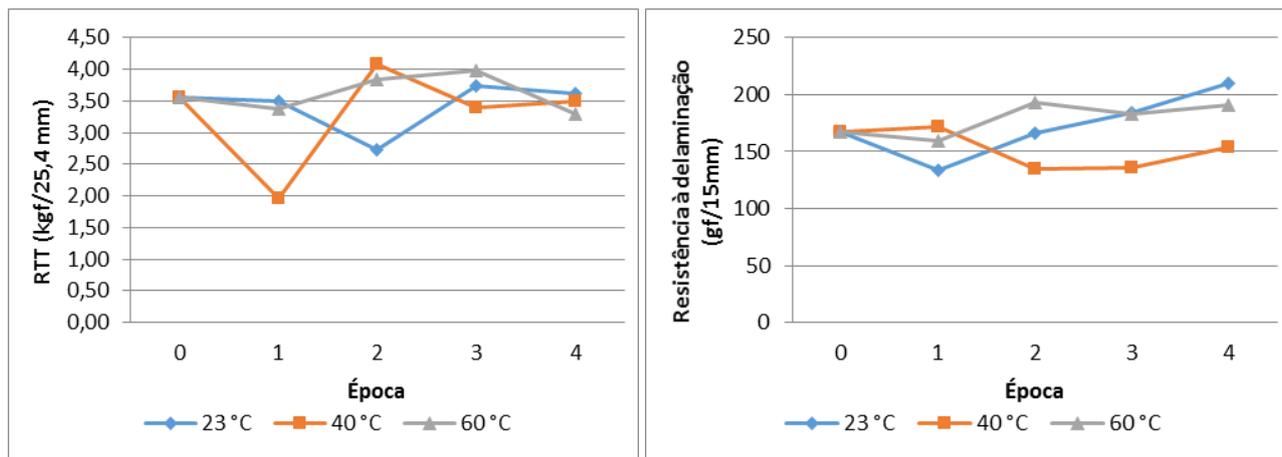


FIGURA 4. Resistência máxima da termossoldagem à tração (RTT) e resistência à delaminação ao longo da estocagem nas diferentes temperaturas – **Amostra 2.**

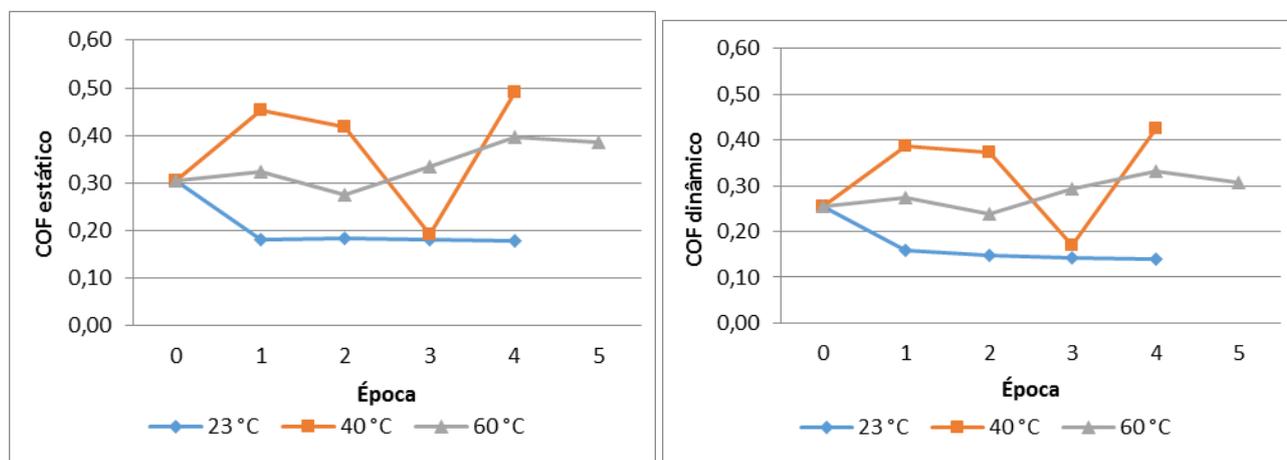


FIGURA 5. Coeficiente de atrito estático e dinâmico ao longo da estocagem nas diferentes temperaturas – **Amostra 2.**

Em todas as três temperaturas de estocagem houve tendência de aumento da TPVA da Amostra 2 ao longo do tempo, ao nível de 95% de confiança (Tabela 5). A Figura 6 demonstra essa tendência. Contudo, para TPVA dessa ordem de grandeza, esse aumento pode não ter impacto significativo na qualidade do produto. Na análise das diferenças por categorias (teste de comparações múltiplas pareadas Tukey (HSD)), ao nível de 95% de confiança, os envelhecimentos acelerados, nas condições adotadas nesse experimento, não se aplicam à TPVA, pois não representam de modo significativo o que foi constatado na estocagem a 23 °C por 360 dias.

TABELA 5. Resultados médios de TPVA da **Amostra 2.**

| TPVA (g água. m ⁻² .dia ⁻¹) a 38 °C e 90% UR | 60 °C | Época (dias) | | Inicial | | | |
|---|-------|--------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| | 60 °C | Época (dias) | Inicial | 42 | 60 | 95 | 137 |
| | | Média | 9,0 ^a | 9,6 ^b | 9,9 ^c | 9,9 ^c | 9,8 ^c |
| | 40 °C | Época (dias) | Inicial | 95 | 180 | 270 | 360 |
| | | Média | 9,0 ^a | 9,9 ^b | 10,0 ^b | 9,5 ^c | 9,4 ^c |
| | 23 °C | Época (dias) | Inicial | 95 | 180 | 270 | 360 |
| | | Média | 9,0 ^a | 9,9 ^b | 10,0 ^b | 9,5 ^c | 9,4 ^c |

Valores referentes a 6 determinações

^{a, b, c}: Para uma mesma temperatura de estocagem, médias acompanhadas da mesma letra sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de confiança

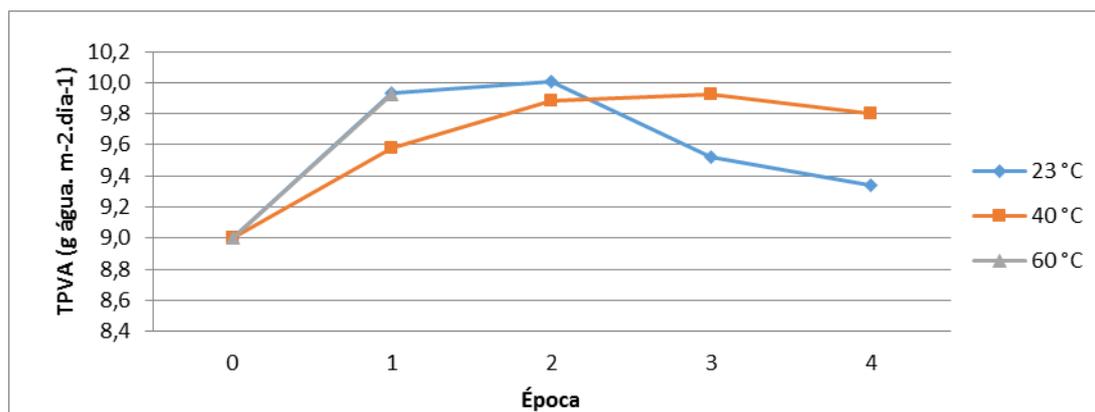


FIGURA 6. TPVA ao longo da estocagem nas diferentes temperaturas – Amostra 2.

Conclusões

1. Eventuais alterações na resistência da termossoldagem à tração em estruturas similares às das Amostras 1 e 2 provavelmente podem ser avaliadas por meio da estocagem nas condições aceleradas adotadas nesse estudo 60 °C/28 dias ou 40 °C/122 dias, as quais equivalem a 360 dias de estocagem a 23 °C.
2. Eventuais alterações na resistência à delaminação em estruturas similares à da Amostra 1 provavelmente também podem ser avaliadas por meio da estocagem nas condições aceleradas adotadas nesse estudo, as quais equivalem a 360 dias de estocagem a 23 °C.
3. A análise das diferenças ao longo da estocagem indicou que para a Amostra 2, e provavelmente para estruturas similares, é viável o monitoramento da resistência à delaminação por 28 dias a 60 °C, o que equivale a 360 dias a 23 °C.
4. Os coeficientes de atrito estático e dinâmico na direção de fabricação do material, face interna *versus* face interna, tenderam à queda nas três temperaturas de estocagem (60 °C, 40 °C e 23 °C.).
5. Como não houve diferença estatística (intervalo de confiança de 95%) entre os coeficientes de atrito da Amostra 1 estocada a 40 °C e a 23 °C, o envelhecimento a 40 °C por 122 dias pode ser utilizado para prever os coeficientes de atrito estático e dinâmico de estruturas similares à da Amostra 1 após 360 dias a 23 °C. O mesmo não ocorre na estocagem a 60 °C.
6. A TPVA da Amostra 1 se manteve constante nas temperaturas de estocagem de 40 °C e 60 °C e até os 90 dias a 23 °C, quando houve leve tendência de queda da propriedade. Contudo, os dados obtidos permitem aplicar o envelhecimento tanto por 122 dias a 40 °C quanto 31 dias a 60 °C, como forma de prever a TPVA da Amostra 1 e de estruturas similares a ela após 360 dias a 23 °C.
7. Os coeficientes de atrito estático e dinâmico da Amostra 2 estocada a 23 °C apresentaram queda significativa após 90 dias de estocagem, e assim se mantiveram até os 360 dias, ao contrário do que se observou nas estocagens em condições aceleradas. Sendo assim, não é recomendável a aceleração do envelhecimento para avaliar o COF dessa estrutura.
8. A TPVA da Amostra 2 aumentou ao longo da estocagem nas três temperaturas estudadas. Contudo, o aumento registrado pode não ter impacto significativo na qualidade do produto. Ainda assim, os envelhecimentos acelerados, nas condições adotadas nesse experimento, não se aplicam à TPVA, pois não representam de modo significativo o que foi constatado na estocagem a 23 °C por 360 dias.

Agradecimentos

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa Pibic, e à Daisy Moitinho pelo tratamento estatístico dos dados.