

INOVAÇÃO E TENDÊNCIAS DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA INDÚSTRIA DE FITAS ADESIVAS

Ramon Delano de ASSUNÇÃO¹

<https://orcid.org/0009-0002-0681-2715>

Marcell Mariano Corrêa MACENO²

<https://orcid.org/0000-0002-6762-8236>

RESUMO

Os últimos anos têm apresentado um cenário otimista à indústria de fitas adesivas em escala internacional. Porém, as companhias produtoras estão sendo desafiadas a manter sua estrutura operacional competitiva. Exigências de mercado e requisitos regulamentares adicionam, também, crescente pressão por produtos mais sustentáveis e processos produtivos mais eficientes. Nesse contexto, o presente estudo avalia o estado da arte em inovação e tendências de sustentabilidade ambiental na indústria de produção de fitas adesivas. Tal análise de sustentabilidade ambiental considerou uso de água no processo produtivo, emprego de energia elétrica de origem renovável, emissões de CO₂, uso de solventes orgânicos, reciclagem de resíduos efluentes do processo produtivo e iniciativas de economia circular por parte dos principais produtores deste ramo industrial. Estes indicadores são aqueles que vem sendo trabalhados pelas empresas do mercado e andam em linha com os estudos sendo feitos no âmbito acadêmico.

Palavras-chave

Fitas adesivas; Sustentabilidade ambiental; Economia circular.

Submetido em: 01/12/2023 – Aprovado em: 19/12/2023 – Publicado em: 21/12/2023

1 Mestrando em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, PR, delano@ufpr.br.

2 Professor, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, PR, marcell.maceno@ufpr.br.



INNOVATION AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY TRENDS IN THE ADHESIVE TAPE INDUSTRY

ABSTRACT

The last few years have presented an optimistic scenario for the adhesive tape industry on international scale. However, producers are being challenged to keep their operational structure competitive. Market demands and regulatory requirements also add increasing pressure for more sustainable products and more efficient production logistics processes. In this context, the present work evaluates the state of the art in innovation and environmental sustainability trends in the adhesive tapes industry. Such environmental sustainability evaluation comprehended water usage in production processes, use of renewable electricity, CO₂ emissions, use of organic solvents, waste recycling from the production process and circular economy initiatives by the main producers in this industrial field. These indicators are those that have been worked on by companies in the market and are in line with studies being carried out in the academic field.

Keywords

Adhesive tapes; Environmental sustainability; Circular economy.

1 INTRODUÇÃO

Fitas adesivas são produtos comuns no uso tanto por indústrias quanto pelo consumidor final. Nos últimos anos têm-se apresentado um cenário bastante otimista à indústria de fitas adesivas, com aumento de produção e de faturamento, de modo geral. No entanto, as companhias estão sendo desafiadas a manter sua estrutura de custo dos produtos a níveis aceitáveis dentro do mercado a fim de não perder competitividade e a trabalhar com regime operacional visando maior flexibilidade, produtividade, maior grau de digitalização e automação. Aliado a isso, exigências de mercado e requisitos regulamentares colocam crescente pressão por produtos, processos produtivos e logísticos de menor impacto ambiental, com menor emissão de carbono, utilização de energias renováveis, menor emprego de água e de solventes orgânicos, produtos com *design* passível de uso em economia circular dentre outros (GROSS *et al.*, 2021).

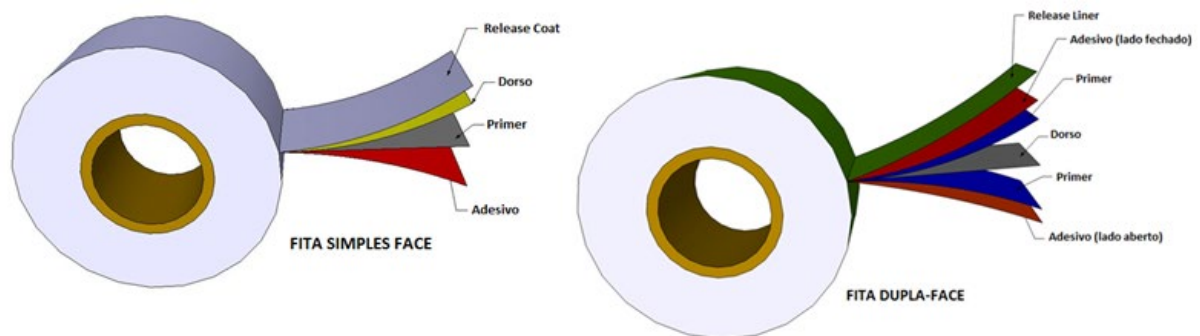
Considerando o contexto exposto e que a indústria de fitas adesivas compreende um mercado que terá um crescimento anual médio estimado acima de 7% até 2028, atingindo um valor anual de mercado de até US\$ 100 bilhões (MARKET RESEARCH FUTURE, 2022), faz-se necessário um esforço das companhias a fim de garantirem sua competitividade. Este ramo da indústria química é relativamente pouco explorado na literatura em temas que estejam relacionados a gestão industrial, eficiência de processos produtivos, sustentabilidade e economia circular. As iniciativas que se apresentam por parte das principais empresas produtoras deste tipo de produtos estão, também e ainda, não muito difundidas se comparadas a outros setores da indústria. Dessa forma, a presente pesquisa efetua um estudo de inovação em produtos, processos produtivos e sustentabilidade ambiental na cadeia produtiva de fitas adesivas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fitas adesivas

Dentre os diferentes tipos de adesivos disponíveis no mercado industrial, podem-se citar adesivos multipropósito (p.ex.: colas em geral), adesivos de silicone, adesivos de poliuretano (PU), adesivos *jetmelt* (p.ex.: “cola quente”), adesivos de cianoacrilato (p.ex.: “*superbonders*”), adesivos epóxi (p.ex.: adesivos tipo durepoxi e araldite) e adesivos sensíveis a pressão (PSA), que são empregados em fitas adesivas (MAASSEN *et al.*, 2016). A Figura 1 apresenta a construção genérica e básica de fitas adesivas, tanto simples quanto dupla-face. A estrutura básica de uma fita adesiva compreende um adesivo sensível à pressão (PSA), *primer*, dorso e *release coat* (CRETON, 2003).

Figura 1. Construção básica de fitas adesivas.



Fonte: os autores (2023).

Os adesivos das fitas adesivas são diferentes dos adesivos líquidos como aqueles a base de materiais epóxi, cianoacrilatos, de silicone, PU, entre outros. Um PSA é uma substância permanentemente pegajosa que adere a uma determinada superfície sob leve pressão e não requer reações químicas para desenvolver forças de adesão. Adesivos do tipo PSA são ideais para unir materiais quando atendem a dois requisitos: (a) garantir que a fita adesiva e a superfície do substrato permaneçam unidas pelo tempo e pela força desejada ("adesão") e (b) ter a resistência interna no próprio adesivo tão forte quanto seja necessário para a aplicação pretendida ("coesão"). Para isso, a substância adesiva deve ser constituída por matérias-primas específicas em sua formulação (KOSTYUK *et al.*, 2020; KOSTYUK *et al.*, 2022; TESA, s.d.).

Os PSAs podem ser classificados de acordo com seu polímero base e de acordo com o processo de produção dos mesmos. Os PSAs mais importantes para fitas adesivas são feitos de polímeros como borracha natural, borrachas sintéticas ou poliácrlatos. Demais polímeros base empregados em PSAs incluem silicone, poliisobutileno (PIB), etileno acetato de vinila (EVA) entre outros. No caso de PSAs de poliácrlato, atenção especial no processo produtivo dá-se a etapa de polimerização, na qual os componentes dos adesivos são misturados entre si em um processo químico. Posteriormente, os adesivos são preparados para que possam ser aplicados de maneira fácil e com baixa espessura no dorso desejado (AHMADI-DEHNOEI e GHASEMIRADI, 2021).

A forma de produção diferencia os adesivos como base solvente (aqueles cujos componentes são dissolvidos em solventes orgânicos como, por exemplo, hexano, octano e tolueno), base aquosa (aqueles cujos componentes são dissolvidos em água) ou *hotmelt* (aqueles produzidos sem emprego de solventes orgânicos nem de água) (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009a). Para um PSA base solvente, este é laminado em uma fina camada no dorso do produto dissolvido no solvente utilizado. Em seguida, o dorso revestido com adesivo passa por um túnel de secagem retilíneo ou então tipo festão, onde o solvente é vaporizado. O adesivo PSA da fita adesiva é então solidificado e assim fixado no dorso após o processo de secagem. O solvente evaporado é quase totalmente recapturado e realimentado na produção do adesivo.

Nesse processo, fitas adesivas com adesivos a base solvente são produzidas misturando-se os componentes do adesivo (etapa de mistura), aplicando-se o adesivo, *primer* e *release coat* no dorso, na etapa de *coating* (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009b; NITTO DENKO, s.d.). Depois desta etapa de *coating* vem a conversão do material, onde grandes rolos são rebobinados e cortados até o formato dos rolos menores de produto acabado, que é embalado na sequência. Quando se empregam adesivos a base aquosa o processo é basicamente o mesmo, com a diferença que o solvente empregado no processo é a água, e não mais um solvente orgânico. Fitas adesivas com adesivos *hotmelt* não tem o uso de solventes nem água. Os componentes do adesivo são misturados e aquecidos até que o adesivo esteja fundido. O mesmo é então extrudado e laminado no dorso da fita (etapa de *coating*) e, ao invés de ser secado, é solidificado por resfriamento. (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009b; ASI, 2022; NITTO DENKO, s.d.; PIZZI e MITAL, 2018).

O *primer* é uma camada fina aplicada no lado revestido com adesivo do dorso e que atua como um agente de interface entre o dorso e o adesivo, e pode ser químico (através de substâncias químicas semelhantes ao PSA) ou físico (mediante tratamento corona ou chama para filmes plásticos). O dorso é um material relativamente fino e flexível que suporta o adesivo. Dado que o dorso afeta as propriedades mecânicas de uma fita adesiva, ele tem um papel importante quanto aonde, durante quanto tempo e para qual aplicação a fita adesiva será destinada (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009a; DILLARD et al., 2002). O *release coat* é uma substância química de revestimento aplicada ao dorso no lado oposto do adesivo. Ele proporciona força de desenrolamento controlada e evita a delaminação ou rasgo da fita (HINTERWALDTNER, 1984).

2.2 Indicadores e inovação em sustentabilidade ambiental na indústria de fitas adesivas

A indústria de fitas adesivas, como parte da indústria química, tem interface com diversos outros segmentos industriais. Devido à diversa variedade de insumos que esta indústria consome (borrachas, papéis, monômeros, embalagens, plásticos, metais, fibras, tecidos, não-tecidos, solventes, serviços industriais diversos etc.) bem como a larga gama de clientes B2B a quem fornece seus produtos (segmentos industriais automotivo, eletrônico, de embalagem, construção, alimentos, farmacêutico, militar, naval, de energias renováveis, mercado de varejo etc.), a variedade de componentes no sistema de gestão integrada destas companhias é bastante vasta. No entanto, verifica-se uma tendência entre os principais fabricantes de fitas adesivas em investir nas seguintes frentes quanto à sustentabilidade ambiental:

- a) Incrementar o uso de energias renováveis nos processos produtivos, majoritariamente solar ou eólica principalmente;
- b) Redução no uso de água nos processos produtivos mediante otimização e inovação tecnológica, reuso e reciclo;

- c) Redução de emissões de CO₂ equivalente;
- d) Digitalização mediante iniciativas de Indústria 4.0, tecnologias de otimização de trabalho etc.;
- e) Implementação de certificações de qualidade, segurança e meio-ambiente tais como ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001, IATF 16949;
- f) Redução de resíduos dos processos produtivos, especialmente plásticos;
- g) Direcionamento estratégico rumo a operações e desenvolvimento de produtos alinhados com iniciativas de economia circular;
- h) Alinhamento com os objetivos de sustentabilidade do *Global Compact* da Organização das Nações Unidas (ONU);
- i) Comprometimento com iniciativas ligadas a melhoria de governança.

A crescente preocupação com as questões ambientais afeta diretamente a gestão dos negócios. Ademais, a pressão para minimizar os danos ambientais é um forte impulsionador para a otimização das redes de suprimento, visando o desenvolvimento sustentável e a transição para um modelo mais circular e de baixo carbono. Tanto nas economias desenvolvidas quanto nas emergentes, os fabricantes são impulsionados a melhorar sua produtividade usando recursos sustentáveis e eficientes a fim de eliminar danos e passivos ambientais (DE SOUZA *et al.*, 2022; JULIANELLI *et al.*, 2020; SILVA e PÁLSSON, 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 Análise sistemática e bibliométrica da literatura

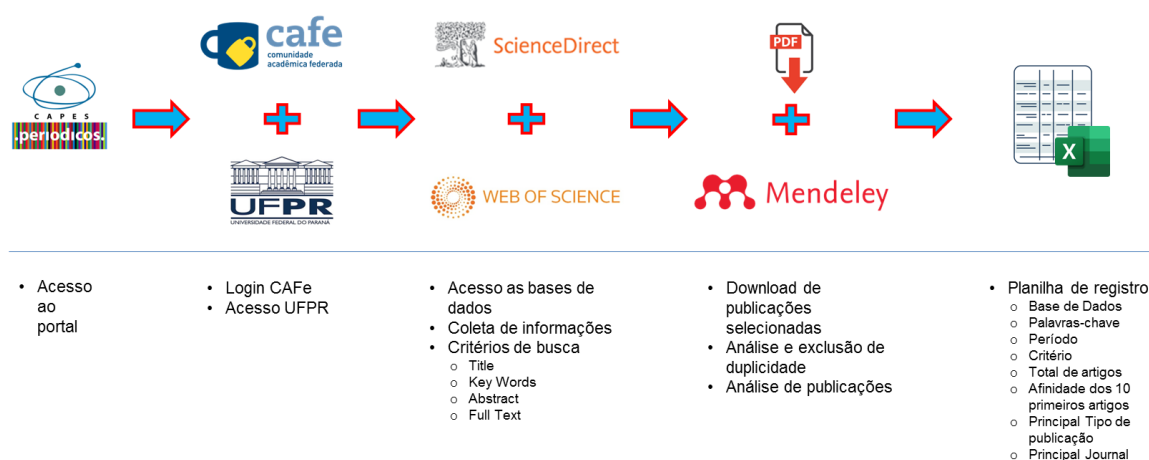
Para levantamento do estado da arte foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) bem como uma Revisão Bibliométrica de Literatura (RBL). A seguir tem-se o protocolo adotado para RBL e RSL.

Palavras-chave e operadores *booleanos* das *strings* de pesquisa:

- a) “adhesive tapes”
- b) “adhesive tapes” AND “circular economy”
- c) “adhesive tapes” AND circularity
- d) “adhesive tapes” AND production
- e) “adhesive tapes” AND sustainability
- f) “pressure sensitive” AND “circular economy”
- g) “pressure sensitive” AND circularity
- h) “pressure sensitive” AND production
- i) “pressure sensitive” AND sustainability.

A avaliação se deu por publicação nos anos de 2012 a 2022 nas bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*. Após coletar as informações necessárias, foi realizada análise e exclusão de duplicatas via software *Mendeley Desktop*. Foi realizada uma avaliação da disponibilidade do conteúdo selecionado apenas em inglês, tendo como critérios de exclusão na análise (a) Título, Palavras-Chave e Resumo e (b) Texto Completo. Para a RSL foram considerados os dez primeiros trabalhos resultantes de cada *string* de pesquisa. Na Figura 2 apresenta-se o passo-a-passo para tabulação de dados para RBL e RSL. Enquanto a RBL informa quanto as tendências e *gaps* de pesquisa, a RSL provê mais detalhes quanto ao conteúdo pesquisado em si.

Figura 2. Passo-a-passo para RBL e RSL.



Fonte: os autores (2023).

A RBL buscou uma análise quantitativa, de tipos de publicação e de revistas principais de forma geral. Na RSL buscou-se analisar as publicações selecionadas quanto ao tipo de tendências de sustentabilidade e inovações relacionadas, qual rumo as pesquisas estão tomando e quais iniciativas estão presentes na pesquisa e literatura atual. Mediante a RSL, verificou-se quais as inovações e iniciativas de sustentabilidade ambiental estão sendo pesquisadas.

3.2 Indicadores e inovação em sustentabilidade ambiental na indústria de fitas adesivas

A análise de indicadores de sustentabilidade ambiental deu-se mediante o estudo dos documentos oficiais dos principais produtores de fitas adesivas a nível global: relatórios de sustentabilidade, relatórios integrados bem como informação disponível em sites corporativos de internet. As fontes consultadas foram 3M *Global Impact Report* (2023), tesa *Sustainability Report* (2022), Nitto *Group Integrated Report* (2022), Lohmann *Communication on Progress* (2022), Avery Dennison *Sustainability and Annual Reports* (2022), IPG *Sustainability Report* (2022), LINTEC *Sustainability Report* (2023), Scapa *Environment, Health and Safety* (n.d.) e Nichiban *Environment* (n.d.).

Mediante análise dos documentos selecionados avaliou-se qualitativamente as iniciativas de sustentabilidade ambiental e inovações correlatas cada empresa está empregando e divulgando de maneira pública.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise sistemática e bibliométrica da literatura

A Tabela 1 apresenta os resultados base encontrados mediante Revisão Sistemática da Literatura (RSL) bem como Revisão Bibliométrica de Literatura (RBL), considerando revistas, tipos de publicação, afinidade com o tema da pesquisa, quantidade de referência encontradas entre outros. Na interface entre fitas adesivas e temas relacionados à sustentabilidade ambiental, o principal meio de publicação foram os artigos com revisão por pares. As revistas que mais se destacam são *Journal of Cleaner Production* e *Science of The Total Environment*, concentrando a maioria das publicações relevantes a esta pesquisa. No âmbito da inovação e novos desenvolvimentos na indústria de fitas adesivas, as principais publicações encontram-se no *International Journal of Adhesion and Adhesives*. Não há autores que se destaquem em função de um alto número de publicações, porém verificou-se que a maioria das publicações que tem relação com esta pesquisa vêm de autores localizados na Europa e na Ásia. As publicações são oriundas aqui em sua maioria de universidades e institutos de pesquisa, e foram publicadas principalmente nos últimos cinco anos apenas.

HAASAN *et al.* (2021) e PŁOTKA-WASYLKA *et al.* (2022) avaliaram temas relacionados a produção, economia circular e disposição de resíduos sólidos de fraldas, materiais compostos, entre outras coisas, por fitas adesivas. Nestes artigos os autores aplicam técnicas de Análise de Ciclo de Vida e Análise de Custo de Ciclo de Vida para avaliar a ecoeficiência de métodos de disposição final, acentuando o fato de, atualmente, estes produtos serem bastante atrelados a modelos de economia linear, não sendo fortemente balizados por projetos em Economia Circular. Apresentam dados no sentido de mostrar que se evita significativa emissão de CO₂ caso os produtos sejam reciclados, apesar de ressaltarem que o processo de reciclagem é bastante intensivo em termos de uso de energia. Uma alternativa avaliada é o envio destes resíduos para geração de energia elétrica via pirólise (processo de incineração), devido à boa capacidade calorífica destes materiais. Relativo a outros métodos de disposição final, apresenta-se a opção de aterramento como fácil, porém não indicada, pois se requer até 500 anos para a decomposição do material por completo, além da potencial liberação de resíduos tóxicos ao meio-ambiente. Também, assim como a reciclagem, métodos de disposição final como digestão e compostagem são ambientalmente incentivados, porém bastante custosos.

No contexto de consumo de energia e emissão de CO₂ na indústria de manufatura, GAGLIARDI *et al.* (2019) apresentam materiais adesivos como uma alternativa ambientalmente atrativa em comparação com métodos mecânicos de fixação e de soldas tendo-se em vista um cenário “*cradle to grave*”.

Tabela 1 – Resultado da RSL e RBL.

| Palavras-chave | Critério | Total de Artigos | Principal Tipo de Publicação | Principal Revista |
|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| “adhesive tapes” | Title, Key Words & Abstract | 328 | Research Articles | Forensic Sci. Int. |
| “adhesive tapes” | Full Text | 19.771 | Research Articles | Int. J. Biol. Macromol. |
| “adhesive tapes” AND “circular economy” | Full Text | 69 | Research Articles | J. Clean. Prod. |
| “adhesive tapes” AND “circular economy” | Title, Key Words & Abstract | 0 | Research Articles | - |
| “adhesive tapes” AND circularity | Title, Key Words & Abstract | 2 | Research Articles | Colloids Surf. |
| “adhesive tapes” AND circularity | Full Text | 2.809 | Research Articles | Int. J. Biol. |
| “adhesive tapes” AND production | Title, Key Words & Abstract | 16 | Research Articles | Int J Adhes Adhes. |
| “adhesive tapes” AND production | Full Text | 8.082 | Research Articles | Int. J. Biol. Macromol. |
| “adhesive tapes” AND sustainability | Title, Key Words & Abstract | 11 | Research Articles | Nano Energy |
| “adhesive tapes” AND sustainability | Full Text | 4.116 | Research Articles | Int. J. Pharm. |
| “pressure sensitive” AND “circular economy” | Title, Key Words & Abstract | 1 | Research Articles | The Innovation |
| “pressure sensitive” AND “circular economy” | Full Text | 25 | Research Articles | Bioresour. Technol. |
| “pressure sensitive” AND circularity | Title, Key Words & Abstract | 16 | Research Articles | Int J Adhes Adhes. |
| “pressure sensitive” AND circularity | Full Text | 1.178 | Research Articles | Int. J. Heat Mass Transf. |
| “pressure sensitive” AND production | Title, Key Words & Abstract | 33 | Research Articles | Int J Adhes Adhes. |
| “pressure sensitive” AND production | Full Text | 2.754 | Research Articles | Int J Adhes Adhes. |
| “pressure sensitive” AND sustainability | Title, Key Words & Abstract | 32 | Research Articles | Int J Adhes Adhes. |

| | | | | |
|--|------------------|-------|--------------------------|---------------------------|
| <i>“pressure sensitive” AND sustainability</i> | <i>Full Text</i> | 1.675 | <i>Research Articles</i> | <i>Int J Adhes Adhes.</i> |
|--|------------------|-------|--------------------------|---------------------------|

Fonte: os autores (2023).

Como exemplos de inovações sustentáveis dentro da indústria de fitas adesivas, LOU *et al.* (2022) apresentam uma proposta de dorso de fita adesiva composto de filmes reciclados de poliéster com alto teor de CO₂ e adesivos PSA, gerando um produto, em nível de desempenho técnico, teoricamente comparável a fitas adesivas produzidas com material virgem na indústria. ALLASIA *et al.* (2022), SHIM *et al.* (2020) e BADÍA *et al.* (2021) tratam da substituição de adesivos PSA base solvente por opções base água. Enquanto os processos de produção de adesivos PSA a base água, como a polimerização em emulsão, permitem a produção de materiais poliméricos com baixa emissão de solventes orgânicos, a redução de sua pegada de carbono pode ser também alcançada pela substituição de matérias-primas derivadas do petróleo por reagentes de origem biológica sustentável. KIM *et al.* (2022), também no conceito de substituir adesivos PSA base solvente, trata da produção de adesivos PSA acrílicos sem solvente algum. SINGH *et al.* (2022) propõem novas formulações de adesivos PSA com óleo de linhaça com aplicações nas embalagens das indústrias alimentícia e de saúde. Ainda no tema de adesivos PSA fabricados com produtos renováveis, PAUL *et al.* (2022) e DROESBEKE (2021) propõem uma formulação de adesivos PSA com poliácrlatos a base de lignina e LEE *et al.* (2020) propõem um adesivo acrílico com agente de *crosslinking* a base de isossorbida, material obtido da glicose, como alternativa a compostos derivados de petróleo. FANG *et al.* (2020) propuseram a substituição, em adesivos PSA com elastômero de borracha, de metil metacrilato por um metacrilato baseado em biocompostos.

As publicações acadêmicas relacionando fitas adesivas, sustentabilidade e economia circular ainda não abrangeram muitos segmentos industriais. Os artigos tangenciam, por exemplo, a aplicação de fitas adesivas as indústrias médica e de saúde, manufatura geral e automotiva no âmbito de aplicações de fixação, mas não tocam diretamente em temas como custos, sustentabilidade, e economia circular de maneira ostensiva e aprofundada neste momento. Através da RBL e da RSL evidencia-se, de maneira geral, que pouco se pesquisou na literatura sobre o tema deste trabalho. Isso é corroborado por quatro fatores:

- a) A quase totalidade da bibliografia verificada é datada de cinco anos para cá;
- b) Há poucas publicações que tangenciam o tema desta pesquisa;
- c) As próprias empresas líderes de mercado e responsáveis pela vanguarda na indústria de fitas adesivas, ao lado de alguns acadêmicos, ainda estão em estágio inicial no que tange a temas de economia circular, sustentabilidade ambiental e, ao mesmo tempo, de alto desempenho técnico;
- d) Em termos de novas tecnologias, aquilo que se está produzindo relacionado a novos produtos está sendo primordialmente patenteado, não necessariamente publicado em artigos acadêmicos.

4.2 Indicadores e inovação em sustentabilidade ambiental na indústria de fitas adesivas

Na Tabela 2 segue o resumo das estratégias e ações de sustentabilidade por empresa mapeada.

Tabela 2 – Estratégias e ações de sustentabilidade ambiental dos principais fabricantes de fitas adesivas.

| Tópico | 3M | Tesa | Nitto Denko | Lohmann | Avery Dennison | IPG | LINTEC | Scapa | Nichiban |
|--|----|------|-------------|---------|----------------|-----|--------|-------|----------|
| Usar energias renováveis | X | X | X | X | X | X | | X | |
| Reduzir uso de água | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| Reduzir emissões de CO ₂ | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Digitalização industrial | X | X | X | X | X | | X | | |
| Certificações ambientais | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Reduzir resíduos | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Usar economia circular | X | X | X | X | X | X | X | | X |
| Alinhar-se ao <i>Global Compact</i> da ONU | X | X | | X | | | X | | X |
| Melhorar a governança | X | X | X | X | X | X | X | X | X |

Fonte: os autores (2023).

Analisando os dados divulgados, observa-se que todas as empresas avaliadas estão publicamente comprometidas com iniciativas ligadas a redução de emissões de CO₂, certificações relacionadas a gestão ambiental, redução de geração de resíduos oriundos do processo produtivo e melhoria da governança. Redução de CO₂ é um tema bastante pertinente a produção de fitas adesivas, visto que essas empregam como matérias-primas diversos itens de origem petroquímica como, por exemplo, dorsos plásticos, óleos para ajuste de viscosidade do PSA, certos tipos de *release coat* e, notadamente, solventes orgânicos pesados (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009a; BANDL *et al.*, 2020). Ao buscar redução de pegada de carbono, as empresas perpassam temas como modificação de dorsos, PSA, *primer* e *release coat*, bem como modificação de tecnologias de *coating* de base solvente para base aquosa ou para *hotmelt*, implicando em mudanças profundas em produto e processo produtivo. Tais modificações de produto e processo demandam tempo, pesquisa e aporte financeiro.

Certificações de escopo voltado para gestão ambiental como, por exemplo, ISO 14001, são um requisito bastante conhecido em diversos ramos industriais. Ao obter-se tais certificações, as empresas evidenciam que tem um sistema de gestão ambiental em operação e assim obtêm também vantagem competitiva frente a seus concorrentes (DELMAS, 2009). Ao atuar em temas relacionados a redução da pegada de carbono e certificações de gestão ambiental, naturalmente, como consequência, deve ocorrer a diminuição da geração de resíduos industriais. Ao diminuir-se o emprego de solventes pesados, plásticos em geral, prover melhorias de embalagem, na separação e destinação adequada de resíduos bem como o uso de ferramentas de otimização em produtos e processos, a quantidade gerada de efluentes tende a diminuir com o incremento da eficiência do processo produtivo. A última iniciativa comum a todas as empresas é o tema de melhoria de governança. Melhorias de governança são tanto um requisito de clientes em diversos ramos industriais quanto vantagem competitiva no cenário econômico competitivo. Assim, ao investir em governança, as empresas administram melhor as inovações e melhorias de sustentabilidade bem como podem publicizar tais vantagens de modo a ter preferência em detrimento de seus concorrentes frente ao mercado (DIETZ et al., 2023; MOHAMMAD e WASIUZZAMAN, 2021; LOURENÇO e BRANCO, 2013).

Os próximos temas destacados incluem a redução do uso de água, uso de energias renováveis e iniciativas de economia circular. Se bem que o uso de água deveria, em teoria, aumentar devido a mudança de muitos PSAs base solvente para produção em base aquosa, a ênfase observada neste ponto é conseguir uma melhor utilização da água no processo produtivo, consumindo menos por unidade produzida, reaproveitando, reciclando e tendo melhores e mais eficientes processos produtivos. O emprego de energias renováveis passa principalmente por energia solar e eólica, visando diminuir o uso de energia termoelétrica e, também, por conseguinte, diminuir a pegada de carbono. Junto a isso, somam-se esforços nas empresas para melhorias de eficiência energética mediante, inclusive, otimização de integração térmica do processo produtivo. No que tange a economia circular, emprega-se o do conceito 6R (reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, redesenhar e remanufaturar), onde alterando-se a composição de um produto, sua estrutura permite propriedades como reciclabilidade, biodegradabilidade, reuso etc.

Por fim, os últimos temas relacionados, e ligeiramente menos explorados, são digitalização e alinhamento ao *Global Compact* da ONU. Inovações relacionadas a digitalização são iniciativas altamente estratégicas as corporações, mas que, no entanto, demandam alto investimento e desenvolvimento tecnológico (REHMAN et al., 2023; GAO et al., 2023; OKORIE et al., 2023). Observa-se que as empresas publicamente trabalhando nesse tópico de digitalização, que para fitas adesivas implica usualmente em instalação de sistemas de controle em tempo real, malhas de monitoramento e tecnologias de otimização de processo fabril, são as seis principais produtoras de fita adesiva a nível global e que portanto dispõe, em teoria, de maiores recursos para investimento nesse tipo de projetos.

Com relação ao *Global Compact* da ONU, que é uma iniciativa proposta pela ONU para encorajar empresas a adotar políticas de responsabilidade social corporativa e sustentabilidade, observou-se que cinco empresas declaram ter iniciativas de sustentabilidade buscando estar em linha com o mesmo. Isso implica em, de modo corporativo, naquilo que tange a inovação e sustentabilidade ambiental, buscar prover bem-estar a sociedade em geral e, especial, as partes interessadas, comprometer-se com temas relacionados a não-poluição de corpos d'água, utilizar energia limpa, suportar mediante seus produtos o desenvolvimento de cidades sustentáveis, evitar contribuir para com mudanças climáticas danosas, contribuir com preservação da fauna e da flora terrestre e aquática bem como formar parcerias estratégicas no contexto de implementar ações no contexto destes temas (ONU, n.d.).

De maneira geral, nota-se que os líderes de mercado a nível internacional estão buscando mediante inovação e melhorias trazer maior sustentabilidade ambiental a seus produtos e operações industriais. Tendo em vista que das iniciativas de sustentabilidade analisadas, várias delas tem interface umas com as outras (por exemplo: redução de emissões de CO₂ estão relacionadas e tem interface com economia circular, digitalização, certificações ambientais, uso de energia renovável e governança), é esperado que nos próximos anos haja uma melhora significativa neste segmento da indústria química.

5 CONCLUSÃO

No presente artigo foi avaliado o estado da arte e tendências e inovação em sustentabilidade ambiental na indústria de fitas adesivas mediante uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura, bem como através de análise de publicações dos principais fabricantes deste ramo industrial. Verificou-se que se tem investido esforços pelos principais fabricantes no sentido de otimizar o uso de energia no processo produtivo, empregando-se fontes renováveis, redução do uso de água e de emissões de CO₂, otimizações e digitalização de processos produtivos, reciclagem de resíduos, emprego de economia circular e gestão de qualidade. No entanto, este é um ramo de estudo ainda em desenvolvimento, tanto na academia quanto na indústria, haja vista a pouca quantidade de publicações disponíveis e o fato destas serem em sua maioria recentes, datando dos últimos cinco anos. Tendo-se em vista que os processos produtivos e engenharia de produto estão sendo fortemente impulsionados pelo contexto de sustentabilidade ambiental, e que esta importante indústria tem interface com diversos outros ramos industriais e com o consumidor final, espera-se ver neste cenário uma expansão de conhecimento e tecnologia no futuro, com produtos e processos de maior qualidade, mais otimizados e ambientalmente sustentáveis. Além disso, tendo em vista que no que tange a academia observa-se uma tendência de desenvolvimento de novos e mais sustentáveis produtos, a melhoria esperada no âmbito industrial pode ser suportada e seguir em paralelo ao conhecimento acadêmico para prover melhores produtos e processos produtivos.

Como etapas futuras, esta pesquisa poderá ser aprofundada no futuro com a adição de tópicos relacionados a sustentabilidade econômica e abordagem quantitativa mais aprofundada, visando enriquecer a abordagem não só do ponto de vista ambiental, mas também de custos, gestão estratégica e com maior robustez devida à combinação das análises qualitativa e quantitativa.

Declaração: os autores declararam que não têm interesses concorrentes.

REFERÊNCIAS

- 3M COMPANY. **3M Global Impact Report 2023**, s.d. Disponível em: <https://multimedia.3m.com/mws/media/22927860/3m-2023-global-impact-report.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- AHMADI-DEHNOEI, A., GHASEMIRAD, S. Designing of desired nanocomposite pressure-sensitive adhesives through tailoring the structural characteristics of polysilsesquioxane-acrylic core-shell nanoparticles. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.11, p.102973, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102973>. Acesso em 04 ago. 2022.
- ALLASIA, M., AGUIRRE, M., GUGLIOTTA, L. M., MINARI, R. J., LEIZA, J. R. High biobased content waterborne latexes stabilized with casein. **Progress in Organic Coatings** v.168, p.106870, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106870>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- ASI. Adhesives & Sealants Industry, s.d. **Manufacturing Pressure-Sensitive Adhesive Products: A Coating and Laminating Process**. Disponível em: <https://www.adhesivesmag.com/articles/86079-manufacturing-pressure-sensitive-adhesive-products-a-coating-and-laminating-process>. Acesso em: 23 jan. 2022.
- AVERY DENNISON. **Avery Dennison Sustainability and Annual Reports 2022**, s.d. Disponível em: https://esg.averydennison.com/content/dam/avery_dennison/corporate/global/english/documents/integrated-reports/2022-AveryDennison-Integrated-Report.pdf. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BADÍA, A., BARANDIARAN, M. J., LEIZA, J. R. Biobased Alkali Soluble Resins promoting supramolecular interactions in sustainable waterborne Pressure-Sensitive Adhesives: High performance and removability. **European Polymer Journal** v.144, p. 110244, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.110244>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- BANDL, C., KERN, W., SCHLÖGL, S. Adhesives for “debonding-on-demand”: Triggered release mechanisms and typical applications. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.99, p.102585, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102585>. Acesso em: 5 fev. 2023.
- BENEDEK, I., FELDSTEIN, M. M. **Fundamentals of Pressure Sensitivity**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009a.
- BENEDEK, I., FELDSTEIN, M.M. **Technology of Pressure-Sensitive Adhesives and Products**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009b.
- CRETON, C. Pressure-Sensitive Adhesives: An Introductory Course. **MRS Bulletin** v.28, p.434-439, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/mrs2003.124>. Acesso em: 12 nov. 2023.
- DE SOUZA, E. D., KERBER, J. C., BOUZON, M., RODRIGUEZ, C. M. T. Performance evaluation of green logistics: Paving the way towards circular economy. **Cleaner Logistics and Supply Chain** v.3, p.100019, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100019>. Acesso em: 05 fev. 2023.

- DELMAS, M. Stakeholders and competitive advantage: the case of ISO 14001. **Production and Operation Management** v.10, n.3, 343-358, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00379.x>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- DIETZ, T., JOVEL, K. R., DECIANCIO, M., BOLDT, C., BÖRNER, J. Towards effective national and international governance for a sustainable bioeconomy: A global expert perspective. **EFB Bioeconomy Journal** v.3, p.100058, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2023.100058>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- DILLARD, D. A., POCIUS, A. V., CHAUDHURY, M. **Adhesion Science and Engineering**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2002.
- DROESBEKE, M. A., AKSAKAL, R., SIMULA, A., ASUA, J. M., DU PREZ, F. E. Biobased acrylic pressure-sensitive adhesives. **Progress in Polymer Science** v.117, p.101396, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101396>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- FANG, C., ZHU, X., CAO, Y., XU, X., WANG, S., DONG, X. Toward replacement of methyl methacrylate by sustainable bio-based isobornyl methacrylate in latex pressure sensitive adhesive. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.100, p.102623, 2020. Disponível em: <https://doi.org/j.ijadhadh.2020.102623>. Acesso em: 05 sep. 2022.
- GAGLIARDI, F., PALAIA, D., AMBROGIO, G. Energy consumption and CO₂ emissions of joining processes for manufacturing hybrid structures. **Journal of Cleaner Production** v.228, p.425-436, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.339>. Acesso em: 06 jan. 2023.
- GAO, J., ZHANG, W., GUAN, T., FENG, Q., MARDANI, A. The effect of manufacturing agent heterogeneity on enterprise innovation performance and competitive advantage in the era of digital transformation. **Journal of Business Research** v.155 part A, p.113387, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113387>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- GROSS, A., MAYER, B., HAAG, K. Circular Economy and Adhesive Bonding Technology, Part 1. **Adhesion Adhesives and Sealants** v.18, p.14-17, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s35784-021-0374-3>. Acesso em: 23 jan. 2022
- HAASAN, T., ALI, Y., KHAN, A. U., PETRILLO, A., DE FELICE, F. Sustainable production of diapers and their potential outputs for the Pakistani market in the circular economy perspective. **Science of the Total Environment** v.769, p.145084, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145084>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- HINTERWALDTNER, R. (1984). Radiation-curable silicone release coats. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.2, p.91-93, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(84\)90106-4](https://doi.org/10.1016/0143-7496(84)90106-4). Acesso em: 18 nov. 2023.
- Intertape Polymer Group. **IPG Sustainability Report 2022**, s.d. Disponível em: https://www.itape.com/wp-content/uploads/2023/07/IPG_2022_SustainabilityReport.pdf. Acesso em: 29 nov. 2023.
- JULIANELLI, V., CAIADO, R. G. G., SCAVARDA, L. F., CRUZ, S. P. M. F. Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. **Resources, Conservation & Recycling** n.150, p.104784, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104784>. Acesso em: 05 set. 2022.

KIM, H., CZECH, Z., BARTKOWIAK, M., SHIM, G., KABATC, J., LICBARSKI, A. Study of UV-initiated polymerization and UV crosslinking of acrylic monomers mixture for the production of solvent-free pressure-sensitive adhesive films. **Polymer Testing** n.105, p.107424, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107424>. Acesso em: 05 fev. 2023.

KOSTYOUK, A. V., IGNATENKO, V. Y., MAKAROVA, V. V., ANTONOV, S. V., ILYIN, S. O. Polyethylene wax as an alternative to mineral fillers for preparation of reinforced pressure-sensitive adhesives. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.102, p.102689, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102689>. Acesso em: 04 ago. 2022.

KOSTYOUK, A. V., SMIRNOVA, N., ILYIN, S. O. Two-functional phase-change pressure-sensitive adhesives based on polyisobutylene matrix filled with paraffin wax. **Journal of Energy Storage** v.52, p.104797, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104797>. Acesso em: 05 ago. 2022.

LINTEC Corporation. **LINTEC Sustainability Report 2023**, s.d. Disponível em: https://www.lintec-global.com/sustainability/report/pdf/sustainability2023_all.pdf. Acesso em: 29 nov. 2023.

LOHMANN GMBH & CO. KG. **Lohmann Communication on Progress 2022**, s.d. Disponível em: https://www.lohmann-tapes.com/files_db/1674716669,6995_6.pdf. Acesso em: 28 nov. 2023.

LOU, Y., XU, L., GAN, N., SUN, Y., LIN, B. Chemically recyclable polyesters from CO₂, H₂, and 1,3-butadiene. **The Innovation** v.3, n.2, p.100216, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100216>. Acesso em: 05 fev. 2023.

LOURENÇO, I. C., BRANCO, M. C. Determinants of corporate sustainability performance in emerging markets: the Brazilian case. **Journal of Cleaner Production** v.57, p.131-141, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.013>. Acesso em: 29 nov. 2023.

MAASSEN, W., MEIER, M. A. R., WILLENBACHER, N. Unique adhesive properties of pressure sensitive adhesives from plant oils. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.64, p.65-71, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.10.004>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MARKET RESEARCH FUTURE. **Pressure Sensitive Tapes Market**, s.d. Nova Iorque, EUA. Disponível em: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/pressure-sensitive-tapes-market-1620>. Acesso em: 05 jul. 2022.

MOHAMMAD, W. M. W., WASIUZZAMAN, S. Environmental, Social and Governance (ESG) disclosure, competitive advantage and performance of firms in Malaysia. **Cleaner Environmental Systems** v.2, p.100015, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100015>. Acesso em: 29 nov. 2023.

NICHIBAN CO., LTD. **Nichiban Environment**, n.d. Disponível em: <https://www.nichiban.com/corp/sustainability/environment/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

NITTO DENKO CORPORATION. **Adhesive Synthesis Technology**. Disponível em: <https://www.nitto.com/us/en/rd/base/adhesive/composite/>. Acesso em: 04 set. 2022.

- NITTO DENKO CORPORATION. **Nitto Group Integrated Report 2023**, s.d. Disponível em: <https://www.nitto.com/jp/en/sustainability/report/#report2023>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- OKORIE, O., RUSSELL, J., CHERRINGTON, R., FISHER, O., CHARNLEY, F. Digital transformation and the circular economy: Creating a competitive advantage from the transition towards Net Zero Manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, v.189, p.106756, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106756>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **United Nations Global Compact**, n.d. Disponível em: <https://unglobalcompact.org/>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- PAUL, R., JOHN, B., SAHOO, S. K. UV-Curable Bio-Based Pressure-Sensitive Adhesives: Tuning the Properties by Incorporating Liquid-Phase Alkali Lignin- Acrylates. *Biomacromolecules* v.23, n.3, p.816-828, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.1c01249>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- PIZZI, A., MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology**. 1a. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- PLÓTKA-WASYLKA, J., MAKOŚ-CHEŁSTOWSKA, P., KUROWSKA-SUSDORF, A., TREVIÑO, M. J. S., GUSZMÁN, S. Z., MOSTAFA, H., CORDELLA, M. End-of-life management of single-use baby diapers: Analysis of technical, health and environment aspects. *Science of the Total Environment* v.836, p.155339, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155339>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- REHMAN, S. U., GIORDINO, D., ZHANG, Q., ALAM, G. M. Twin transitions & industry 4.0: Unpacking the relationship between digital and green factors to determine green competitive advantage. *Technology in Society* v.73, p.102227, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102227>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- SCAPA GROUP LTD. **Scapa Environment, Health and Safety**, s.d. Disponível em: <https://www.scapa.com/Responsibility/EnvironmentHealthAndSafety>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- SHIM, G., KIM, J., BACK, J., JANG, S., PARK, J., KIM, H., CHOI, J., YEOM, J. Preparation of acrylic pressure-sensitive adhesives by UV/UV step curing as a way of lifting the limitations of conventional dual curing techniques. *International Journal of Adhesion and Adhesives* v.96, p.102445, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102445>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- SILVA, N., PÅLSSON, H. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* n.333, p.130165, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2021.130165>. Acesso em: 05 set. 2022.
- SINGH, M., SETHI, S. K., MANIK, G. Pressure-sensitive adhesives based on acrylated epoxidized linseed oil: A computational approach. *International Journal of Adhesion and Adhesives* v.112, p.103031, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.103031>. Acesso em: 05 fev. 2023.

TESA SE. **tesa Sustainability Report 2022**, s.d. Disponível em:
<https://www.tesa.com/en/about-tesa/sustainability/sustainability-report>. Acesso em: 28 nov.
2023.