

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

IRINEU FLORÊNCIO NETO

**ÁCIDO FUMÁRICO PARA TINTAS FLEXOGRÁFICAS: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA DA SUA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE IMPRESSÃO**

PONTA GROSSA

2024

IRINEU FLORÊNCIO NETO

**ÁCIDO FUMÁRICO PARA TINTAS FLEXOGRÁFICAS: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA DA SUA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE IMPRESSÃO**

**FUMARIC ACID FOR FLEXOGRAPHIC INKS: A BIBLIOGRAPHICAL REVIEW OF
ITS APPLICATION IN THE PRINTING INDUSTRY**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Professor Doutor Cesar Arthur Martins Chornobai.

PONTA GROSSA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

IRINEU FLORÊNCIO NETO

**ÁCIDO FUMÁRICO PARA TINTAS FLEXOGRÁFICAS: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA DA SUA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE IMPRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20/06/2024

Cesar Arthur Martins Chornobai
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Juliana Martins Teixeira De Abreu Pietrobelli
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir minha jornada até aqui, por me ajudar em situações em que só ele é capaz.

Aos meus pais, Junior e Silvia, por me apoiarem e proporcionarem minha formação.

Aos meus avós, Irineu e Dalva, e meu irmão Luiz, pelo incentivo e apoio, para que eu pudesse concluir meu curso superior.

À minha noiva, Rayssa, por sempre acreditar em mim e estar do meu lado nas horas boas e ruins.

Aos meus professores que fizeram parte da minha formação, transmitindo seus conhecimentos acadêmicos e práticos.

Ao meu orientador, Cesar, que abdicou tempo com a família e amigos para que eu concluísse esse trabalho.

À minha banca de avaliadores, Erica e Juliana, que me ajudaram desde o começo do curso até essa etapa final.

Aos meus amigos que fizeram esses anos de faculdade passarem de forma mais leve e descontraída, proporcionando momentos inesquecíveis.

Por fim, às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de faculdade, que me ajudaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

FLORÊNCIO NETO, Irineu. **Ácido fumárico para tintas flexográficas: uma revisão bibliográfica da sua aplicação na indústria de impressão.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2024.

As embalagens estão cada vez mais presentes no cotidiano, e elas são acompanhadas de informações, visuais ou escritas, realizadas através de um processo de impressão especializado. A indústria gráfica possui diversas técnicas para impressão, e atualmente, a flexografia é o processo que possui como um de seus principais produtos as embalagens. O seu resultado, exibido em diversos lugares diariamente, pode ser influenciado por alguns fatores, como a tinta utilizada, o maquinário e o substrato. Desta forma, este trabalho aplicou uma revisão bibliográfica sistemática para compreender o papel dos componentes da tinta flexográfica, composta a partir de resinas oriundas do ácido fumárico, e conseqüentemente os seus aspectos ambientais na indústria de impressão. Como resultado, o presente trabalho pode elucidar que foram desenvolvidos diversos estudos nos últimos anos relacionados com os diferentes componentes das tintas flexográficas, assim como nela mesma, a fim de otimizar parâmetros dos processos que estão envolvidos e também visando a sustentabilidade, através da produção de ácido fumárico por rotas biotecnológicas e também da substituição de resinas acrílicas.

Palavras-chave: fumárico; resinas; tintas; flexografia.

ABSTRACT

FLORÊNCIO NETO, Irineu. **Fumaric acid for flexographic inks: a bibliographical review of its application in the printing industry.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2024.

Packaging is becoming increasingly present in everyday life, accompanied by information, either visual or written, carried out through a specialized printing process. The graphic industry has various techniques for printing, and currently, flexography is the process that has packaging as one of its main products. Its outcome, displayed in various places daily, can be influenced by several factors, such as the ink used, machinery, and substrate. Thus, this work applied a systematic literature review to understand the role of components of flexographic ink, composed of resins derived from fumaric acid, and consequently their environmental aspects in the printing industry. As a result, the present work can elucidate that several studies have been developed in recent years related to the different components of flexographic inks, as well as itself, in order to optimize parameters of the processes that are involved and also aiming at sustainability, through the production of fumaric acid through biotechnological routes and also from the replacement of acrylic resins.

Keywords: fumaric; resins; inks; flexography.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Contextualização	8
1.2	Objetivos	9
1.2.1	Objetivo Geral.....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	Flexografia	10
2.1.1	História da Flexografia.....	10
2.1.2	Princípio da Impressão Flexográfica (IF).....	11
2.1.2.1	Doctor Roll.....	11
2.1.2.2	Doctor Blade.....	12
2.1.3	Aspectos Ambientais do Processo de Flexografia.....	13
2.2	Tintas	13
2.2.1	História	13
2.2.2	Tintas para Flexografia	14
2.3	Resina Fumárica	15
2.3.1	Esterificação	15
2.3.2	Modificação (fortificação).....	16
2.3.3	Breu.....	16
2.3.4	Glicerina	18
2.3.5	Ácido Fumárico.....	20
2.3.5.1	Rota Petroquímica	20
2.3.5.2	Rota Fermentativa	21
3	MÉTODOS	22
3.1	Entrada	23
3.2	Processamento	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	Revisão Bibliométrica	25
4.2	Obtenção do Ácido Fumárico	26
4.3	Resinas em Tintas Flexográficas	27
4.4	Tintas Flexográficas	28
4.5	Impactos Ambientais e Sustentabilidade	29
4.6	Discussões	30
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A impressão em embalagens é algo extremamente importante para o produto, pois possui a função de informar o consumidor e atraí-lo para o seu consumo. Estudos realizados pela maior comunidade de designers da América Latina We Do Logos, mostram que 93% das pessoas decidem comprar algum produto pelo aspecto visual, 6% pela textura e 1% pelo som ou cheiro (AD NEWS, 2017).

A padronização de cores na embalagem, também é algo decisivo na venda, pois em muitos casos o consumidor associa as cores mais fracas, sem brilho, ou em tonalidades diferentes a produtos mais velhos, ou de qualidade inferior. Para a padronização de uma impressão, vários aspectos são levados em consideração, como substrato, maquinário e a tinta (STEFANO; FILHO, 2012).

A tinta é basicamente uma mistura de substâncias, onde cada uma delas exerce uma função, como pigmento, resina, aditivo e solvente. Dentre estas substâncias presentes, a resina tem um grande destaque, pois é ela que confere importantes propriedades físicas e químicas à tinta, e também é responsável pela denominação dos tipos de tinta, como as tintas acrílicas, alquídicas e epóxicas, por exemplo (FAZENDA, 2005).

Antigamente usava-se nas tintas compostos naturais, como óleos de vegetais e animais, para fazer a função de fixação do colorante com o substrato, assim surgiram as primeiras resinas. A partir do século XX, esses compostos naturais foram substituídos pela indústria química através de reações complexas, formando polímeros que oferecem propriedades específicas às tintas (FAZENDA, 2005).

Os processos de impressão gráfica são variados, podendo-se citar a impressão offset, rotogravura, flexografia, tipografia, serigrafia e impressão digital, sendo a flexografia um dos principais processos do campo de impressão de embalagens. Além disso, com a modernização da indústria gráfica surge também as preocupações relacionadas aos impactos ambientais, visto que os processos da indústria gráfica possuem diversos, como o consumo de matérias-primas, geração de efluentes líquidos e emissões atmosféricas (BARBOSA *et al*, 2009).

Efetuar um trabalho de revisão bibliográfica sobre o tema, evidencia a importância com os cuidados ambientais de uma indústria química em expansão e reúne informações importantes, como o uso de novas matérias-primas e processos, em um universo escasso de pesquisa, sendo possível identificar lacunas de conhecimento que necessitam de maior investigação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Efetuar revisão bibliográfica com destaque na importância do ácido fumárico, como constituinte fundamental na produção de resina utilizada nas tintas de impressão flexográfica e os principais efeitos sobre o meio ambiente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar através de uma revisão bibliográfica sistemática o processo de produção de ácido fumárico e sua aplicação em resinas;
- Compreender a síntese do ácido fumárico, e seus componentes, na fabricação de resinas;
- Analisar, através de diferentes literaturas, o processo de fabricação de tintas para impressão flexográfica e seus efeitos sobre o meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Flexografia

A flexografia é um sistema de impressão gráfica onde um material em relevo é entintado e em seguida transfere a tinta no formato ajustado para o substrato, dessa forma é possível formar textos, imagens e traços. A tinta usada no processo é líquida e de secagem rápida, e pode ser de base água ou solvente. Tais características trazem virtudes neste processo gráfico, como flexibilidade de impressão em vários substratos diferentes, alto poder de tiragem (quantidade de impressões) e menor custo quando comparado com outros tipos de impressão (BARBOSA *et al*, 2009).

Sua aplicação é extremamente vasta no ramo de embalagens e está presente em diversos produtos consumidos no dia a dia. Porém, o setor mais significativo é o mercado de embalagens alimentícias, e foi até responsável pelo atual nome dado a esse sistema de impressão. O nome inicial do processo, conhecido como "Impressão Anilina", remetia à toxicidade da anilina, o que não era bem recebido na indústria alimentícia devido à segurança dos alimentos. Isso fez com que o nome fosse alterado para "Processo Flexográfico" pelas indústrias gráficas dos Estados Unidos na década de 50 (SCARPETA, 2007; BARBOSA *et al*, 2009).

2.1.1 História da Flexografia

Após quase cem anos do descobrimento da vulcanização da borracha por Charles Goodyear, em torno de 1930, o processo flexográfico surgiu. Uma empresa norte-americana utilizou chapas de borracha vulcanizada para fazer impressão, conhecidas hoje como clichês, utilizando-se tintas à base de anilina, composto solúvel em álcool, logo, o processo ficou conhecido como impressão anilina. Alguns anos depois, foi desenvolvido pela *International Printing Ink Corporation* um entintador para clichê mais eficiente que os de borracha lisa, um cilindro de cromo gravado com células pequenas que transferiam a tinta com maior controle e precisão. Surgiu então o rolo anilox, presente até hoje nas máquinas de impressão (SCARPETA, 2007).

Ainda na mesma década um órgão do governo americano anunciou que a anilina era tóxica, e como o principal mercado desse sistema de impressão eram as embalagens alimentícias, a indústria foi obrigada a mudar a base de suas tintas

e o nome do processo de impressão mudou para impressão flexográfica, de tal forma que o nome não soasse ruim para os consumidores (SCARPETA, 2007).

2.1.2 Princípio da Impressão Flexográfica (IF)

Classificada como uma impressão tipográfica rotativa (Figura 1), a flexografia, faz a impressão por contato no substrato; para esse contato ser eficiente o substrato sofre uma força de compressão entre rolos porta clichê e contrapressão. Ao girar todas as engrenagens da máquina, o rolo entintador (anilox ou rolo de borracha), faz a transferência da tinta líquida para o clichê (SCARPETA, 2007; BARBOSA *et al*, 2009).

Figura 1 - Máquina de impressão flexográfica



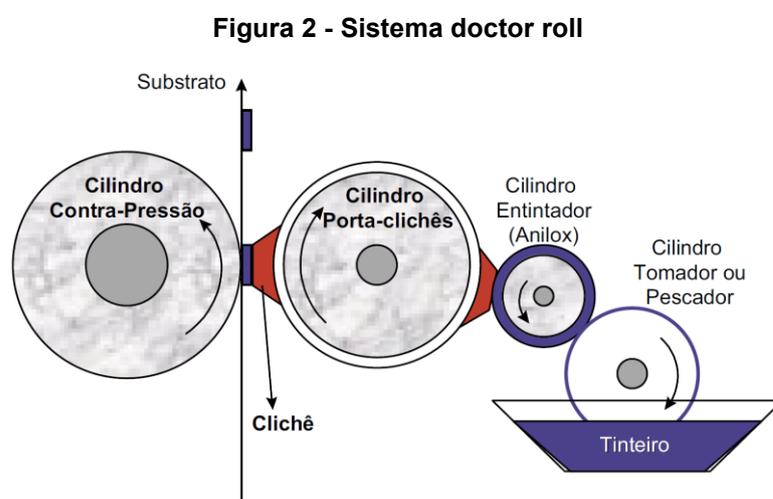
Fonte: Clicheria Blumenau (2023)

O rolo entintador pode ser alimentado de tinta por duas formas diferentes, a primeira e mais simples é o conjunto impressor doctor roll, o qual é necessário a presença de um cilindro tomador que fica banhado por tinta e a segunda forma é o conjunto impressor doctor blade, que dispensa o cilindro tomador, mas exige uma lamina que exerce a função de raspar o excesso de tinta (SCARPETA, 2007).

2.1.2.1 Doctor Roll

O conjunto impressor doctor roll trabalha com um rolo emborrachado denominado de rolo tomador ou rolo pescador, que tem a função de captar a tinta e transferir ao rolo entintador, onde simultaneamente o rolo tomador faz a raspagem do excesso de tinta devido ao diferencial de velocidade periférica entre os rolos.

A vantagem desse conjunto impressor é que o operador tem a liberdade de aumentar a carga de tinta impressa mudando parâmetros como pressão e a viscosidade da tinta. Entre suas desvantagens está o fato de ser um sistema aberto, o solvente presente na tinta evapora ao decorrer do processo, além de sua velocidade de trabalho ser mais limitada em comparação ao doctor blade. Além disso, a turbulência ocasionada por um alto fluxo de tinta, em um sistema aberto faz com que haja perda de material e de produto (SCARPETA, 2007). A Figura 2 ilustra este sistema.



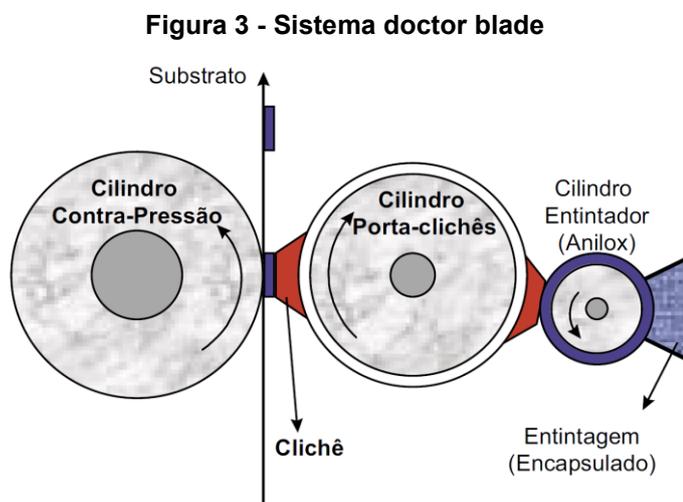
Fonte: Scarpeta (2007)

2.1.2.2 Doctor Blade

O conjunto doctor blade (Figura 3), utiliza uma lâmina raspadora para tirar o excesso de tinta no rolo anilox, seu funcionamento é mais complexo e foi desenvolvido por Douglas E. Tuttle, o pai da flexografia, mas o uso da lâmina logo de início foi rejeitado pelos usuários. Após algumas melhorias, existe hoje um sistema fechado, também chamado de encapsulado (SCARPETA, 2007).

O mesmo autor ainda revela que nesse sistema a tinta fica no meio de duas lâminas raspadoras podendo ser aço, plásticos ou até mesmo de aço revestidas por cerâmica. A vantagem é que os solventes da tinta não evaporam facilmente, pois estão encapsulados. Além disso, não há excesso de tinta nos cilindros de entintagem, e a cobertura permanece constante devido à quantidade de tinta carregada pelo anilox ser uniforme, independentemente da viscosidade da tinta. Um diferencial adicional é a alta velocidade de trabalho, permitindo realizar grandes tiragens de impressão de

forma eficiente. Suas desvantagens são a complexidade do ajuste e o desgaste maior do rolo anilox devido ao atrito.



Referência: Scarpeta (2007)

2.1.3 Aspectos Ambientais do Processo de Flexografia

Barbosa *et al* (2009) apresentou os principais aspectos ambientais em todas as etapas do processo de flexografia, com suas entradas e saídas. Os compostos orgânicos voláteis (VOCs) aparecem como saída em diversas fases, desde a confecção da forma, no acerto para impressão, no processo de impressão em si e também na pós-impressão, sendo um dos elementos mais presentes na análise, visto que evaporam dos solventes, tintas, vernizes ou adesivos.

A redução da emissão de compostos voláteis pode ocorrer através da utilização de sistemas fechados, como também da aplicação de tintas com propriedades mais adequadas ao produto final, considerando-se, por exemplo, a adesão ao substrato e a pegada de carbono para otimização de sua utilização e consequentemente a redução do seu consumo (AYDEMIR; ÖZSOY, 2020).

2.2 Tintas

2.2.1 História

Os primeiros relatos de tinta, são dos povos da pré-história, onde se utilizava de sangue de animais, terra, plantas e pedras para fazer as famosas artes rupestres. Logo viu-se a necessidade de um elemento que fixasse a pintura nas paredes das

cavernas. Com o uso da gordura de animais e seivas de planta isso foi solucionado, surgiu então a substância percussora da resina (FAZENDA, 2005).

As tintas usadas atualmente, seguem a mesma fórmula básica usada na pré-história, um elemento que dê cor (pigmento) e um elemento que fixe a pintura (resina). Com os avanços tecnológicos, a indústria de tintas faz o uso de tecnologia avançada, matérias-primas de alta complexidade, e possui o apoio de laboratórios e equipamentos sofisticados, o que introduziu outros componentes a esta mistura, como os aditivos e solventes (FAZENDA, 2005).

2.2.2 Tintas para Flexografia

As tintas de IF são misturas homogêneas líquidas, compostas por frações sólidas de pigmentos dispersos em um solvente, possuem ainda em sua mistura, resinas e aditivos. Cada composto tem uma função específica e faz com que a tinta desenvolva as características necessárias para a impressão, como alto poder de fixação, boa cobertura, boa secagem e alta fluidez (SCARPETA, 2007). No Quadro 1 podem-se observar os compostos que formam a tinta flexográfica (TF).

Quadro 1 – Composição da tinta flexográfica

Matéria-Prima	Função	Exemplos	Proporção
Resinas	Fixar a parte sólida da tinta no substrato	Colofônia saponificada, resinas acrílicas e fumáricas	10% a 30%
Pigmentos	Colorir a tinta	Amarelo benzidina, azul ftalocianina e vermelho naftol	4% a 20%
Solventes	Transportar todos os componentes presentes na tinta	Água, glicóis, soluções de amônia	40% a 60%
Aditivos	Promover propriedades específicas à tinta	Secantes, umectantes, niveladores	1% a 10%

Fonte: adaptado de Scarpeta (2007)

A tinta flexográfica pode ser de base água ou solvente, mas independentemente da sua natureza é necessário que ela seja líquida e de secagem rápida, para que o sistema impressor possa trabalhar com ela de forma eficaz. Uma tinta que possui secagem retardada, pode borrar a impressão causando efeitos não desejáveis para a arte final. Também é necessário que a tinta tenha adesão na superfície do substrato, para isso a resina que compõe a tinta, tem uma função essencial, pois é a resina que vai dar fixação do pigmento após a secagem da tinta (SCARPETA, 2007).

2.3 Resina Fumárica

Resinas são polímeros de médio a alto peso molecular, geralmente apresentando estrutura de considerável complexidade e amorfa. Apresentam-se como sólidos ou líquidos viscosos e não voláteis. Sua função na tinta é fixar os pigmentos no suporte. Isso se dá depois que o solvente evapora e a resina se solidifica (SCARPETA, 2007).

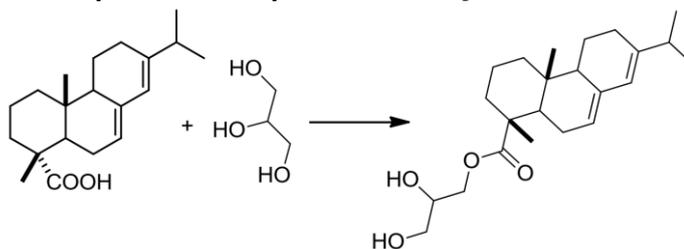
A resina fumárica é formada pela modificação química do breu que é um dos produtos obtidos da goma retirada de plantas específicas, o qual passa por uma reação de esterificação parcial pela reação com o glicerol e uma fortificação com o ácido fumárico através de uma reação de Diels-Alder (FERREIRA, 2016).

O breu é a matéria-prima de diversas indústrias, como a de adesivos, farmacêutica e papel. Porém, em muitos casos não é utilizado diretamente, e sim modificado. No caso da indústria de tintas para a impressão, utiliza-se a resina fumárica, que se trata de uma resina de éster, modificada, oriunda do breu. Sua obtenção resulta de duas etapas reacionais principais, a esterificação e a fortificação (FERREIRA, 2016).

2.3.1 Esterificação

A esterificação do breu se dá pela reação entre os ácidos resínicos, como o glicerol (poliálcool) em temperaturas de 260°C a 300°C. O produto desejado é formado, ou seja, o éster de breu e como subproduto a água, que logo é removida do meio reacional pela evaporação devido à alta temperatura. Além do éster resínico de glicerol, há também aquelas que são provenientes de outros álcoois, como o etilenoglicol, dietilenoglicol, pentaeritritol. A Figura 4 representa a esterificação do ácido abiético (principal componente do breu), com o glicerol (FERREIRA, 2016).

Figura 4 - Representação esquemática da reação de esterificação do ácido abiético com glicerol (só está representado o produto da reação 1:1 entre os 2 reagentes).



Fonte: Rodrigues (2015)

2.3.2 Modificação (fortificação)

A modificação do breu ocorre pela reação de Diels-Alder, que corresponde à adição de um dienófilo, como o ácido fumárico, a um dieno insaturado, tal como os encontrados nos ácidos resínicos. Essa modificação tem como objetivo, aumentar o ponto de amolecimento da resina, deixando-a mais “dura” (FERREIRA, 2016).

O ponto de amolecimento mede a temperatura em que a resina deixa de ser rígida e se torna viscosa. Essa propriedade pode ser medida experimentalmente, através do método de anel e bola (*Ring&Ball*), que consiste em um recipiente contendo um disco de resina que sustenta uma esfera de aço, submerso em glicerina, com aquecimento constate (GUINÉ; CASTRO, 1996).

Com o aumento de temperatura, a resina começa a se tornar viscosa deixando de sustentar a esfera de aço, até que a esfera caia no fundo do recipiente, então é medido a temperatura, assim se obtém o valor do ponto de amolecimento. A Figura 5 apresenta o equipamento utilizado para fazer a medição do ponto de amolecimento pelo método anel e bola (GUINÉ; CASTRO, 1996).

Figura 5 - Equipamento usado para o método de anel e bola



Fonte: autoria própria (2022)

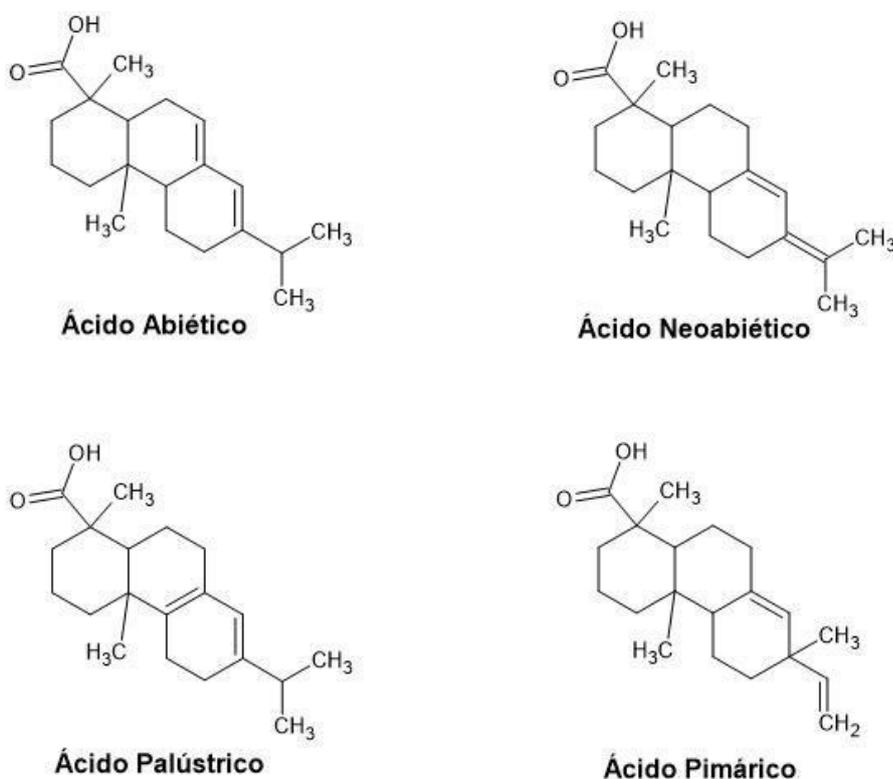
2.3.3 Breu

O breu é um dos produtos resultantes da destilação da goma resina ou também conhecida por resina colofônia, ou somente colofônia. A obtenção da colofônia se dá através de três processos: incisões feitas em caules de árvores da

família Pinaceae, extração por solventes alifáticos a partir de ramos e troncos de madeiras de pinho e destilação fracionada do *tall-oil* (CAETANO, c2022).

Com a destilação da goma resina, se obtém o breu (parte fixa) e a terebintina (parte volátil), alguns constituintes da colofônia ainda ficam presentes no breu, como no caso dos ácidos resínicos, de fórmula molecular $C_{20}H_{30}O_2$. Na Figura 6 encontram-se representadas as estruturas dos principais ácidos constituintes da colofônia (CAETANO, c2022).

Figura 6 - Principais ácidos presentes na colofônia



Fonte: adaptado de Caetano (c2022)

No caso do breu, seu principal constituinte é o ácido abiético, cujas propriedades físico-químicas podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Propriedades físico-químicas do breu

Propriedade	Valor
Cor	Castanho Escuro
Ponto de Amolecimento	90 a 115 °C
Índice de Acidez	100 a 160 mg KOH/g
Densidade	1,07 a 1,25 g/cm ³

Fonte: adaptado de Caetano (c2022)

Com tais propriedades, o breu se apresenta como um sólido cristalino e frágil (Figura 7), e é comercializado com base em sua cor, sendo o amarelo pálido o mais valorizado. Há uma escala de cores, representada por números, para classificar a qualidade do breu, tal escala é denominada escala Gardner e varia do amarelo pálido até o marrom-amarelado (RUY, 2010).

Figura 7 - Breu



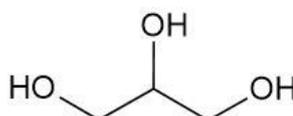
Fonte: autoria própria (2022)

Por conta de suas propriedades e seu baixo valor de mercado, sua utilização na indústria de resinas é amplamente difundida. Com aplicações na fabricação de adesivos, tintas de impressão, materiais isolantes para a indústria eletrônica, borracha sintética, goma de mascar, sabões e detergentes (CORREDOR; VILLA, 2013).

2.3.4 Glicerina

O Glicerol, propano-1,2,3-triol ou glicerina, como chamado comercialmente, é um composto orgânico pertencente à função álcool, sendo classificado como um poliálcool por ter mais de 2 hidroxilas em sua cadeia. É líquido em temperatura ambiente, viscoso, hidrosscópico e solúvel em água. Sua estrutura química está representada na Figura 8 (BARROS, 2021).

Figura 8 - Estrutura química da glicerina



Fonte: adaptado de Barros (2021)

A glicerina foi descoberta pelo químico sueco Carl W. Scheele em 1779, após aquecer óleo de oliva com litargírio. Em 1846 o químico italiano Ascanio Sobrero sintetizou a nitroglicerina a partir do glicerol, e em 1867 Alfred Nobel absorveu-a em diatomita, permitindo seu manuseio seguro para a produção de dinamites (KATHA, 1999 apud BEATRIZ; ARAÚJO; LIMA, 2011). Tal fato promoveu o aumento da demanda de glicerina, que era atendida pelo método de recuperação da glicerina e do sal das lixívias do sabão, mas só em 1948 a glicerina começou a ser sintetizada a partir de matérias-primas petroquímicas (LIDE, 2006). As propriedades físico-químicas da glicerina podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Propriedades físico-químicas da glicerina

Propriedade	Valor
Massa Molar	92 g/mol
Ponto de Fusão	18 °C
Ponto de Ebulição	290 °C
Ponto de Fulgor	160 °C
Densidade	1,26 g/cm ³
Viscosidade	1,5 Pa s

Fonte: adaptado de Lide (2006)

Por conta de suas propriedades o glicerol puro pode ser aplicado na indústria de cosméticos, farmacêutica, detergentes, na fabricação de resinas e aditivos e também na indústria de alimentos (BARROS, 2021). Por se tratar de um álcool tri-hídrico, e os álcoois terem caráter análogo às bases inorgânicas, cada grupo hidroxila presente na glicerina pode reagir com um ácido orgânico, formando monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos. Para a produção de resinas alquídicas os monoglicerídeos assumem um papel importante, uma vez que estes podem solubilizar certos ácidos orgânicos utilizados na fabricação de resinas, dessa forma tornando a glicerina o poliálcool mais utilizado para este fim (ANDRADE *et al*, 1986).

Nas resinas alquídicas que usam poliálcoois como a glicerina, preparadas pelo processo “ácido graxo”, o poliácido reage preferencialmente com as hidroxilas primárias do glicerol, enquanto que os ácidos graxos reagem com as secundárias. A poliesterificação (formação da resina alquídica) por ácido graxo é feita a temperaturas que variam entre 200 e 240 °C. Além da glicerina, também são usados outros poliálcoois, como, por exemplo trimetilolpropano, trimetiloletano, neopentilglicol,

pentaeritritol. As resinas alquídicas preparadas por este processo resultam em tintas com melhores propriedades em geral (FAZENDA, 2005).

2.3.5 Ácido Fumárico

O ácido fumárico é um ácido orgânico dicarboxílico, de fórmula molecular $C_4H_4O_4$ é um isômero geométrico de configuração trans do ácido málico (configuração cis). Sua aplicação está em usos diversos como: lubrificação, tintas, lacas, carboxilação agente para borracha de estirenobutadieno, aditivos para cuidados pessoais. Suas propriedades podem ser vistas no Quadro 4 (DAS; BRAR; VERMA, 2016; ROA ENGEL, 2008).

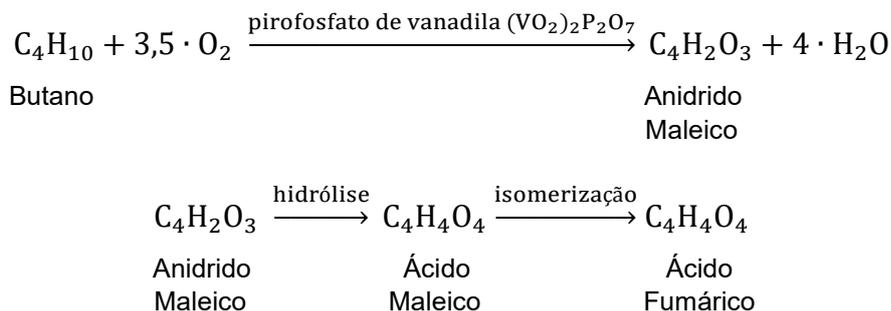
Quadro 4 - Propriedades físico-químicas do ácido fumárico

Propriedade	Valor
Massa Molar	116 g/mol
Ponto de Fusão	287 °C
Densidade	1,64 g/cm ³
Solubilidade a 25 °C em Água	6,3 g/L
Solubilidade a 25 °C em Acetona	16 g/L
Solubilidade a 25 °C em Etanol (95%)	54,5 g/L
Solubilidade a 25 °C em Clorofórmio	0,2 g/L
Momento Dipolar	8.17

Fonte: adaptado de Das, Brar e Verma (2016)

2.3.5.1 Rota Petroquímica

A principal rota de produção do ácido fumárico é a rota petroquímica, tal método começa com a oxidação parcial catalítica do n-butano, que é convertido para anidrido maleico, esse então é hidrolisado formando o ácido maleico. O ácido maleico é um isômero do ácido fumárico, e pode ser convertido quase totalmente em ácido fumárico, por isomerização cis-trans, catalítica ou térmica. O ácido fumárico bruto obtido dessa forma é purificado por cristalização para obtenção de um produto com maior qualidade. A Figura 9 representa as reações da rota petroquímica da síntese do ácido fumárico (DAS; BRAR; VERMA, 2016).

Figura 9 - Rota petroquímica da síntese do ácido fumárico

Fonte: adaptado de Das, Brar e Verma (2016)

2.3.5.2 Rota Fermentativa

A ideia de produzir ácido fumárico através de fermentação não é algo novo, na década de 1940 farmacêuticas como Pfizer já implementavam o processo fermentativo para a produção do ácido fumárico, mas os custos atrelados a essa rota são significativamente mais altos, fazendo com que fosse descontinuado (FUJIMOTO, 2018).

A formação de ácido fumárico ocorre no ciclo de Krebs em organismos aeróbicos. O gás carbônico sofre uma fixação redutiva catalisada pela enzima piruvato carboxilase, assim sendo convertido em oxaloacetato, e posteriormente em ácido fumárico (DAS; BRAR; VERMA, 2016).

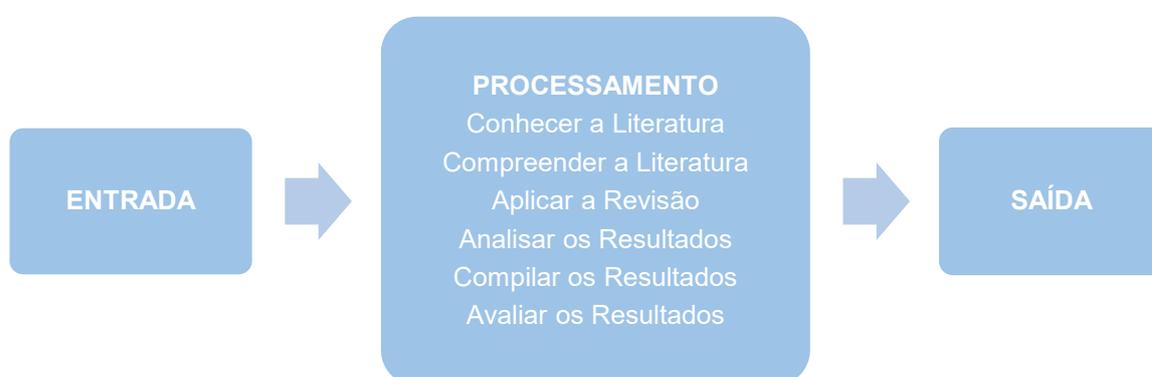
Fazendo parte dos produtos metabólicos celulares, vários microrganismos são capazes de produzir o ácido fumárico, uns mais que os outros. Entre várias espécies, a *Rhizopus* desempenha um papel de principal produtor de ácido fumárico, sendo as cepas de *R. oryzae*, *R. arrhizus*, *R. nigricans* e *R. formosa* as mais citadas em literaturas de produção fermentativa do ácido fumárico (FUJIMOTO, 2018).

3 MÉTODOS

Para alcançar o objetivo de compreender a importância da resina fumárica na indústria gráfica, esta obra utilizou-se do método de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). Segundo Levy e Ellis (2006) o processo de revisão é composto por fases, desde a etapa de coleta de dados, conhecimento, compreensão, aplicação, análise, sintetização e avaliação da literatura.

Este processo é dividido em 3 grandes grupos: Entradas, Processamento e Saídas, ilustrado pela Figura 10.

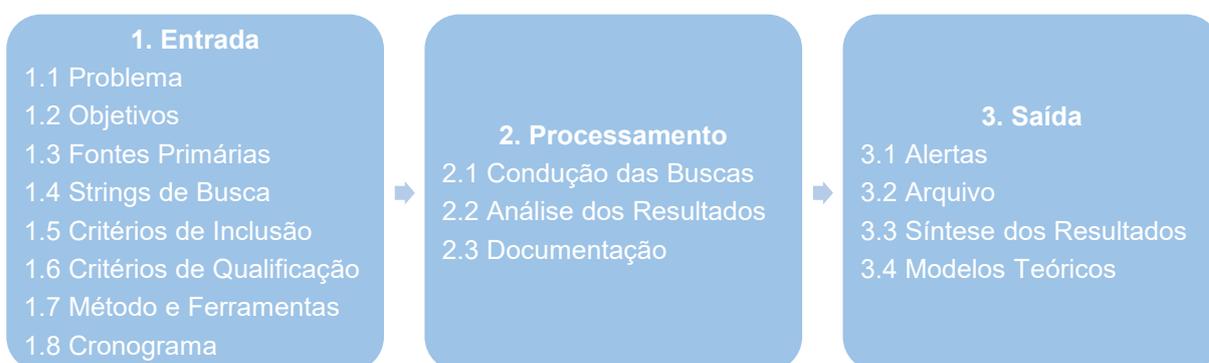
Figura 10 - Fases do processo de RBS



Fonte: adaptado de Levy e Ellis (2006)

Conforto, Amaral e Silva (2011), propõem um modelo intitulado “Revisão Bibliográfica Sistemática Roadmap”, na qual utilizam as 3 fases propostas por Levy e Ellis (2006), detalhando 15 subfases dos processos principais, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Modelo para aplicação de RBS Roadmap



Fonte: adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011)

3.1 Entrada

A primeira fase do processo de entrada da RBS foi a definição do problema, ou seja, o ponto de partida, sendo a pergunta a ser respondida com a pesquisa, logo, deve ser claro e objetivo. Em seguida, definiu-se os objetivos de forma alinhada com aqueles definidos no projeto de pesquisa, que puderam auxiliar nos critérios de inclusão (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Com estes parâmetros estipulados, seguiu-se para a definição da base de dados onde foram realizadas as buscas pelos artigos e periódicos, onde foram aplicadas as Strings, que podem ser definidas como as palavras-chave de busca. Estas são importantes e devem ser escolhidas e combinadas com base no tema abordado para melhores resultados. Por fim, foram utilizados os critérios de inclusão e qualificação dos artigos para prosseguimento para a etapa de processamento (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). Para realizar este estudo foram utilizadas as seguintes definições, apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Definição das etapas de entrada pelo método de revisão bibliográfica sistemática

Etapa	Definição
Problema	Qual o papel do ácido fumárico nas tintas flexográficas para a indústria de impressão?
Objetivos	Responder à pergunta problema e aos objetivos da pesquisa
Fontes Primárias	Scopus
	Google Acadêmico
Strings de Busca	Fumaric Resin/Resina Fumárica
	Flexographic Ink/Tinta Flexográfica
	Flexographic Printing Industry/Indústria de Impressão Flexográfica
	Resin Flexographic Ink/Resina Tinta Flexográfica
	Environmental Flexographic Ink/Tinta Flexográfica Ambiental
Critérios de Inclusão	Presença das strings em toda a publicação
Critérios de Qualificação	Relevância da publicação

Fonte: autoria própria (2024)

3.2 Processamento

Nesta fase do processo foram realizadas as etapas de condução das buscas, seguida da leitura e análise dos resultados, onde foram realizados filtros selecionados de forma interativa para alcançar os resultados esperados e, por fim, a etapa de documentação (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). O Quadro 6 detalha os filtros que foram utilizados na etapa interativa.

Quadro 6 – Filtros da etapa de análise dos resultados

Número	Filtro
1	Remoção dos Títulos Duplicados
2	Publicação a partir de 2014
3	Leitura e Análise do Resumo
4	Leitura e Análise da Introdução e Conclusão

Fonte: autoria própria (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

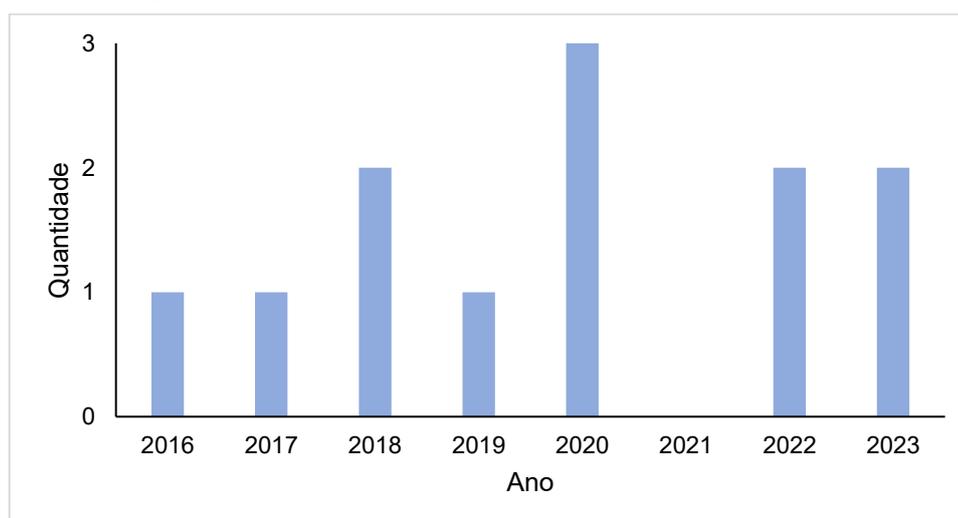
4.1 Revisão Bibliométrica

Inicialmente foram selecionados 200 artigos através das buscas pelas strings, 20 mais relevantes de cada pesquisa em cada base de dados. Em seguida, aplicando o Filtro 1, este número foi reduzido para 134 artigos. Observando-se a faixa de anos das publicações selecionadas, de 1941 até o ano atual, 2024, viu-se a necessidade da aplicação do filtro 2, resultando em 68 títulos.

Em seguida iniciou-se a etapa de leitura dos resumos, analisando a relevância dos mesmos e ligação direta com a pergunta problema e objetivos desta pesquisa, onde foram selecionados 23 documentos. Por fim, foi realizada a leitura de forma mais aprofundada, através da análise da sua introdução e conclusão, selecionando 12 artigos.

Dos 12 artigos selecionados após a aplicação dos filtros, quatro eram originários da base de dados Scopus (33,3%) e oito do Google Acadêmico (66,7%). Em relação ao ano de publicação, a faixa variou de 2016 a 2023, conforme ilustrado na Figura 12, demonstrando o volume de publicações dos últimos anos sobre o tema abordado.

Figura 12 – Ano de publicação dos documentos aplicados



Fonte: autoria própria (2024)

Quanto aos países de origem da publicação, destacam-se os Estados Unidos, a Turquia e o Reino Unido, com dois artigos de cada, seguidos pelo Brasil, Bulgária, Canadá, Colômbia, Espanha e Romênia, com uma publicação cada.

4.2 Obtenção do Ácido Fumárico

Das, Brar e Verma (2016) apresentam os diferentes métodos de obtenção do ácido fumárico, desde as rotas metabólicas, que podem ocorrer através de organismos aeróbicos, passando pelo ciclo do ácido tricarboxílico ou do ciclo de Krebs, rota petroquímica, pela qual o ácido fumárico é produzido comercialmente através da isomerização do ácido maleico, até as rotas fermentativas por fungos, visto a ampliação da busca por fontes renováveis, porém o custo da etapa de recuperação ainda é um fator de estudo para que esta rota seja economicamente competitiva, além de melhores definições sobre a morfologia dos fungos aplicáveis com melhores resultados.

No campo da produção biotecnológica, Roxana *et al* (2019) também destacam a produção do ácido fumárico através da conversão de biomassa por micro-organismos, em contraponto da produção convencional pela síntese química, devido a busca por metodologias mais sustentáveis. Além disso, apresentam as diversas formas de separação e recuperação do ácido fumárico. Em suma, pode-se citar a extração reativa, por membrana líquida, nanofiltração, eletrodialise bipolar e adsorção com resinas básicas de troca iônica, porém, a combinação de métodos de separação é utilizada para obtenção de melhores resultados na produção, e neste cenário a fermentação e recuperação simultânea do ácido fumárico pode resultar em um processo vantajoso para a produção deste elemento.

Dominguez *et al* (2018) apresentaram de forma detalhada as tecnologias e variáveis envolvidas no processo de produção de ácido fumárico através de rotas biotecnológicas. O uso de recursos de modificação genética em fungos do gênero *Rhizopus* vem sendo aplicado para o aumento da produtividade neste tipo de rota, como, por exemplo, irradiações de alta energia ou mutagênese, para utilização de diferentes substratos para produção do ácido.

Além disso, deve-se levar também em consideração os fatores que influenciam no processo de produção por rotas biotecnológicas, como o pH, sendo um importante fator em processos de produção de ácidos por fermentação, assim como

os agentes neutralizantes. Outra relevante definição é a morfologia do fungo utilizado, já que a mesma espécie pode apresentar diferentes resultados a depender dessa característica. Nesse campo, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos, para a otimização dos fatores impactados por cada uma das morfologias encontradas. Também merece destaque os estudos da utilização de diferentes alternativas de substrato, como a Xilose (oriunda de resíduos agrícolas), o Glicerol (subproduto do biodiesel), Resíduos de Maça, Efluentes da Indústria Cervejeira e Resíduos Alimentares, além da etapa de purificação do ácido fumárico, fase que demanda alto custo para alcance de produtividade, campo em que diferentes tecnologias vêm sendo aplicadas (DOMINGUEZ *et al*, 2018).

4.3 Resinas em Tintas Flexográficas

Sonmez *et al* (2022c) desenvolveram uma tinta flexográfica à base de água, visando a sustentabilidade, com três diferentes resinas a base de óleo de soja, realizando a comparação com tintas comerciais com resinas acrílicas. As tintas com resina de soja apresentaram densidades de impressão (refere-se à saturação da cor) ligeiramente mais baixas do que aquelas com resina acrílica, além disso, reduziram o consumo de tinta, fator importante para aplicações em larga escala visto que a tinta representa 20% do custo total do material de embalagem em uma gráfica. Também foram comparados o contraste de impressão, onde uma das tintas com resina a base de óleo de soja se sobressaiu, aumento do valor do tom, que não obteve resultados conclusivos, croma de impressão, onde as tintas estudadas obtiveram cromas mais baixos, sendo um fator negativo, diferenças de cor e brilho delta, onde todas as tintas obtiveram resultados semelhantes. Assim, se concluiu que as tintas à base de água e proteína de soja apresentaram desempenho considerável em comparação às tintas acrílicas.

Sonmez *et al* (2020b) também estudaram diferentes composições de tintas flexográficas com diferentes ligantes acrílicos (resinas), aplicando resina comercial (CAR) e comercial de baixo (LMWAR), médio (MMWAR) e alto (HMWAR) peso molecular. Quanto à densidade de impressão a HMWAR obteve o valor mais baixo, que pode ser explicado devido ao alto peso molecular e à alta viscosidade da tinta, e esta resina também obteve o maior espalhamento de tinta, contraste, onde todas as

tintas obtiveram valores semelhantes, assim como para o croma de impressão e resistência ao esfregamento.

Itoua *et al* (2017) realizaram a aplicação do ácido fumárico em diferentes proporções a uma mistura de resina alquídica com óleo de palma, amplamente utilizada na indústria de tintas e vernizes, para estudo das propriedades físico-químicas, visto o importante papel do ácido nas propriedades das resinas, obtendo como resultado a diminuição do tempo de secagem com o aumento do teor de ácido na mistura, fator importante devido o tempo de secagem longo de resinas alquídicas à base de óleo de palma, não considerado um óleo secante.

4.4 Tintas Flexográficas

El-Wahab *et al* (2020) realizaram a aplicação de copolímeros com a presença de pigmentos preparados por polimerização em emulsão, para melhorar propriedades mecânicas e físicas de tintas de impressão flexográfica, visto sua importante função como ligante, na adesão e flexibilidade das tintas. As emulsões preparadas foram incorporadas a tintas à base de água e comparadas com um copolímero comercial, avaliando a viscosidade, resistência à água e densidade de cor da tinta. Os autores concluíram que a viscosidade de um látex, utilizado como aglutinante de pigmentos, para qualquer teor total de sólidos, diminui com o aumento do tamanho das partículas de pigmentos e com o aumento do alargamento da distribuição do tamanho das partículas.

Morgan *et al* (2017) realizaram a caracterização reológica de diferentes tintas, com viscosidades similares, através de fluidos de Boger, para avaliar a influência da elasticidade, visto que este fator pode causar falta de uniformidade em impressões. Foram aplicados testes de cisalhamento e de extensão, confirmando a viscosidade semelhante, com elasticidade variável devido à variação na proporção entre álcool polivinílico e poliacrilamida. Os autores concluíram que com o aumento da elasticidade observou-se a formação de dedilhado viscoso, ou seja, padrões irregulares na impressão, fator este que deve ser considerado, além da viscosidade, para garantia de impressões uniformes.

Apolinário *et al* (2020) avaliaram o desempenho de tintas flexográficas com resinas a base de nitrocelulose substituídas parcialmente por resina de poliuretano, com foco nas propriedades de adesão e resistência à delaminação. Conforme as

análises realizadas, as resinas de nitrocelulose podem ser substituídas parcialmente por poliuretano, apresentando como vantagem o aumento da resistência de união à laminação da tinta, garantindo melhores propriedades de barreira das estruturas laminadas.

4.5 Impactos Ambientais e Sustentabilidade

Sonmez *et al* (2022a) realizaram a comparação de quatro diferentes tintas, uma tinta à base de água, à base de ligante acrílico, à base de proteína de soja e, por fim, utilizando ligante à base de celulose, visto a importância de tintas mais sustentáveis e com menor redução de compostos orgânicos voláteis. Entre os fatores medidos estão a densidade de impressão, que apresentou resultados semelhantes para todas as tintas, assim como os pontos de tinta, contraste, onde se sobressaíram as tintas à base de água e a tinta à base de celulose, brilho especular, tendo a tinta à base de celulose neste caso apresentado valores mais baixos, logo impressões menos brilhantes, viscosidade e esfregamento. Por fim, verificaram-se os resultados de topografia e manchas, onde o melhor resultado obtido foi o da tinta à base de água, seguida da à base de celulose, fator importante para a impressão. Logo concluiu-se que as tintas apresentaram características semelhantes e aceitáveis, sendo as tintas à base de proteína de soja e celulose interessantes no cenário atual que busca a utilização de materiais sustentáveis, evitando o uso de recursos não renováveis.

Aydemir e Özsoy (2020) discorreram sobre os compostos orgânicos voláteis (COV) e poluentes atmosféricos (PA) na indústria de impressão flexográfica, acentuando a importância da utilização de tintas à base de água e óleos vegetais como alternativas mais sustentáveis, minimizando o impacto ambiental da indústria de impressão. Regulamentações a respeito da emissão de gases já existem no mundo, e o controle deve ser realizado através de métodos de recuperação, como adsorção e condensação, visto que as emissões podem ocorrer em diferentes fases dos processos. Além disso, também é ressaltada a importância da conscientização sobre o uso de compostos que emitam mais COV, e a sua substituição por outras soluções e tecnologias.

Gracia, Acevedo e Trijillo (2022) mapearam os principais impactos ambientais de uma indústria de impressão, especificamente do processo de impressão flexográfica de etiquetas. Os autores indicaram a alta necessidade de energia na

produção no processo de impressão, além da geração de resíduos sólidos contaminados, por tintas e solventes, na etapa de acabamento do processo, que podem gerar relevantes impactos ambientais em seu descarte.

4.6 Discussões

Após leitura dos artigos, pode-se notar o foco no aspecto ambiental, abrangendo desde a extração do ácido fumárico até a busca por tecnologias para sua produção. Isso é evidenciado em publicações recentes que exploram o uso de componentes alternativos e fontes renováveis em resinas para tintas flexográficas, resultando em sucesso dentro dos parâmetros das resinas utilizadas comercialmente. Ainda, foi possível evidenciar estudos referentes à composição de tintas flexográficas, buscando parâmetros para obtenção de melhores resultados de impressão com base em produtos mais sustentáveis.

Na área de produção de ácido fumárico, o desenvolvimento e o estudo de tecnologias voltados à fermentação, tipos de microrganismos utilizados, parâmetros do processo e da fase de recuperação demonstra a relevância e importância do tema para sustentação da indústria gráfica, que consome este produto em larga escala.

Visto que este é um produto que pode ser produzido a partir de fontes renováveis e compete características importantes em resinas, a sua aplicação nas mesmas demonstra grande potencial, que por fim, pode ser aplicada nas tintas flexográficas à base de água que estão em concordância com o cenário atual de desenvolvimento da indústria de impressão de forma alinhada com a sustentabilidade.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os artigos levantados, pode-se concluir que há um grande movimento de estudos relacionados à área de componentes da indústria de impressão nos últimos anos, e muitos deles possuem uma visão voltada aos impactos ambientais.

Ao colocar em evidência o ácido fumárico, o seu processo de obtenção ganha destaque no desenvolvimento de técnicas que utilizem recursos renováveis com parâmetros aprimorados, que possam garantir maior eficiência no processo, visto que há conhecimento sobre procedimentos mais sustentáveis, porém, a produtividade e o custo ainda não são competitivos comercialmente, pois há grande demanda comercial para esse composto. Além disso, o avanço na modificação genética pode garantir que estes fatores sejam atendidos no futuro.

Quanto às resinas, os principais focos de estudo estão relacionados à sua composição e ao potencial de substituição parcial de alguns de componentes; pois o uso pode efetuar maior impacto sobre o meio ambiente, logo, a introdução de fontes oriundas de recursos renováveis tende a amenizar este aspecto. Neste cenário, estudos demonstraram que a aplicação do ácido fumárico resultou na diminuição do tempo de secagem de resinas, fator importante em processos de impressão.

Por fim, nota-se que além do aprimoramento dos componentes citados anteriormente, também existem esforços voltados para estudos da composição direta das tintas de aplicação na flexografia, inclusive com foco na obtenção de melhores resultados de impressão e na redução de impactos ambientais através da substituição de componentes da mistura.

Além disso, diversas frentes de estudo podem impactar nas composições das tintas utilizadas em processos de impressão, porém, esses se apresentam de forma isolada, em componentes da resina, como o ácido fumárico, nas resinas ou nas tintas de impressão, de forma técnica e ambiental, mas não diretamente na tinta para impressão flexográfica com resinas fumáricas, podendo ser uma área potencial para futuras pesquisas e desenvolvimentos.

REFERÊNCIAS

- AD NEWS. **Infográfico mostra o poder das cores no marketing e no dia-a-dia**. 2017. Disponível em: <https://exame.com/marketing/infografico-mostra-o-poder-das-cores-no-marketing-e-no-dia-a-dia/>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- ANDRADE, J. C. S.; *et al.* O uso do pentaeritritol na fabricação de resinas alquídicas. **Química Nova**, v. 9 (4), p. 192-306, 1986.
- APOLINÁRIO, L. D.; *et al.* Partial substitution of nitrocellulose by polyurethane resins in flexographic ink concentrates. **Wiley Periodicals**, 2020.
- AYDEMIR, C.; ÖZSOY, S. A. Environmental impact of printing inks and printing process. **Journal of Graphic Engineering and Design**, v. 11 (2), p. 11-17, 2020.
- BARBOSA, D. O.; *et al.* **Guia técnico ambiental da indústria**. 2.ed. São Paulo: CETESB : SINDIGRAF, 2009.
- BARROS, T. D. Glicerol. **Portal Embrapa**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/biodiesel/glicerol#:~:text=O%20glicerol%20puro%20pode%20ser,de%20s%C3%B3dio%20ou%20de%20pot%C3%A1ssio>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y. J. K.; LIMA, D. P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, p. 306-319, 2011.
- CAETANO, M. J. L. **Resina de Colofónia**. c2022. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/agentes-de-pegajosidade/tipos-agentes-de-pegajosidade/resina-de-colofonia/>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- CLICHERIA BLUMENAU. **Causas que levam à parada de máquina na impressão flexográfica**. 24 fev. 2023. Disponível em: <https://www.clicheriablumenau.com.br/blog/flexografia/parada-de-maquina-impressao-flexografica/>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP**, 2011
- CORREDOR, J. A. G; VILLA, R. A. S. Obtención de colofonia y trementina a partir de resina de pino de la especie patula y posterior evaluación de los parámetros de calidad. **Journal de Ciencia e Ingeniería**, v. 5, n.1, p. 88-91, 2013.
- DAS, R. K.; BRAR, S. K.; VERMA, M. Fumaric acid: production and application aspects. In: **Platform Chemical Biorefinery**. Elsevier, 2016, p. 133-157.

DOMINGUEZ, V. M.; *et al.* Fumaric Acid Production: A Biorefinery Perspective. **Fermentation**, 4, 33, 2018.

EL-WAHAB, A.; *et al.* New waterbasedcopolymer nanoparticles and their use as eco-friendly binders for industry of flexographic ink, part I. **Pigment & Resin Technology**, 49 (3), p. 239-248, 2020.

FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e Vernizes**: Ciência e Tecnologia. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 1044 p. ISBN 9788521203742.

FERREIRA, T. D. H. **Estudo de ésteres fortificados provenientes de colofónias de diversas origens**. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016.

FUJIMOTO, M. C. M. **Modelagem e simulação de biorreator para produção de ácido fumárico**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

GRACIA, J.; ACEVEDO, P.; TRIJILLO, E. A Comprehensive Environmental Analysis in a Company of the Graphic Arts Sector. **Chemical Engineering Transactions**, 91, p. 109-114, 2022.

GUINÉ, R. P. F.; CASTRO, J. A. A. M. Polimerização de resinas com alquilalumínios. **Millenium**, n. 4, p. 162-169, 1996.

ITOUA, B. V.; *et al.* Effect of fumaric acid on the properties of alkyd resin and palm oil blend. **Bulgarian Chemical Communications**, v. 49, n. 1, p. 127-133, 2017.

KATHA, S. S. Medical Hypotheses. 1999.

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. **Informing Science Journal**, v. 9, 2006.

LIDE, D. R. Handbook of Chemistry and Physics, ed. 87, Taylor and Francis Group: Boca Raton, 2006.

MORGAN, M. L.; *et al.* Formulation, characterisation and flexographic printing of novel Boger fluids to assess the effects of ink elasticity on print uniformity. **Rheologica Acta**, 57, p. 105-112, 2017.

ROA ENGEL, C. A.; *et al.* Fumaric acid production by fermentation. **Appl Microbiol Biotechnol**, p. 379-389, 2008.

RODRIGUES, F. M. S. **Desenvolvimento de ligandos e processos para reações de hidrogenação**. 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.

ROXANA, A. I.; *et al.* Fumaric acid: production and separation. **Biotechnol Lett**, 41, p. 47–57, 2019.

RUY, F. Análise e pesquisa da variação de cor Gardner em colofónia líquida tropical. In: **8º Mostra Acadêmica UNIMEP**. Piracicaba, 2010.

SCARPETA, Eudes. **Flexografia**: Manual Prático. 1. ed. São Paulo: Bloco Comunicação Ltda, 2007.

SONMEZ, S.; *et al.* A survey on the effects of environmentally friendly soy protein inks on flexography print parameters in the packaging industry. **Cellulose Chemistry Technology**, 56 (5-6), p. 637-645, 2022a.

SONMEZ, S.; *et al.* Effects on print quality of varying acrylic binder types in water-based flexographic ink formulations. **Coloration Technology**, p. 1-8, 2022b.

SONMEZ, S.; *et al.* Usability of cellulose-based binder in water-based flexographic ink. **Coloration Technology**, p. 1-9, 2022c.

STEFANO, N. M.; FILHO, N. C. Percepção dos consumidores: atributos considerados importantes nas embalagens. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v.12, n. 3, p. 657-681, 2012.