

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

NATÁLIA HEGELE CAVALHER

**DESTINAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROCESSO RESIDUÁRIOS
CONSTITUÍDOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS**

**UBERLÂNDIA
19jul2019**

NATÁLIA HEGELE CAVALHER

**DESTINAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROCESSO RESIDUÁRIOS
CONSTITUÍDOS DE MATERIAIS COMPÓSITOS**

**Monografia submetida à Universidade Federal de
Uberlândia como parte dos requisitos necessários na
disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Química.**

Orientador: Prof. Dr. Mauro Marques Burjaili

UBERLÂNDIA

19jul2019

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE NATÁLIA HEGELE CAVALHER
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 19jul2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Mauro Marques Burjaili
Orientador - FEQUI/UFU

Prof.^a Márcia Gonçalves Coelho
FEQUI/UFU

Prof. Rúbens Gedraite
FEQUI/UFU

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço sempre à Deus pela oportunidade de viver tudo isso, de me dar desafios que me engrandecem e coragem para vencê-los.

Impossível não agradecer minha mãe, Vera, que sempre me apoiou em tudo, me deu força e amor sempre que precisei, mesmo tão longe.

Agradeço ao meu irmão e meu pai, Tiago e João, pelo incentivo.

Ao Prof. Mauro Marques Burjaili, não só pela orientação, dedicação e contribuição neste trabalho, mas por ter sido um amigo, que me ensinou sobre a vida, indo além de meu professor e orientador.

Aos meus amigos e amigas, pela amizade e paciência. E meu namorado, por ter acreditado no meu potencial e ter me incentivado a não desistir.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram e fizeram parte, direta ou indiretamente, desta conquista, o meu eterno agradecimento.

RESUMO

Material compósito, ou simplesmente compósito, é o material formado pela combinação de dois ou mais materiais reunidos com o objetivo da obtenção de propriedades muito melhores que as dos componentes iniciais. Os compósitos são, em geral, fibras unidas entre si por uma substância que funciona como aglomerante (“cola”), denominada matriz do compósito, que pode ser polimérica (epóxi, poli-éter-cetona), metálica, cerâmica especial e o próprio carbono. Apesar do material compósito oferecer um grande potencial de utilização em diferentes áreas, como em equipamentos da indústria de processo, surge um novo problema relacionado à sua correta (de forma segura para o meio ambiente) destinação, quando perde suas propriedades, tornando-se um resíduo. A destinação deve ser referenciada ao conceito de Gestão Ambiental, que faz uso do instrumento da hierarquia ambiental, que, por sua vez, considera a seguinte ordem decrescente de prioridade quanto à destinação de resíduos: não geração, redução, reaproveitamento, reciclagem, tratamento e disposição final. São apresentados casos de indústrias que utilizam esse material em equipamentos. Em diversos países já existem legislações ambientais regulamentando o descarte e reciclagem de materiais compósitos, conduzindo para o desenvolvimento de tecnologias para este fim. No Brasil, foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que orienta entidades públicas e privadas a buscar destinações adequadas, em particular tecnologias para tratar diferentes tipos de materiais, e entre eles, materiais compósitos. São abordadas destinações empregadas no Brasil e na Alemanha.

Palavras-chave: compósitos; gestão ambiental.

ABSTRACT

Composite material, or simply composite, is the material formed by combining two or more materials together for the purpose of obtaining much better properties than those of the starting components. Composites are generally fibers bonded together by a substance that functions as a binder, called the matrix of the composite, which may be polymer (epoxy, polyether ketone), metal, special ceramics, and itself carbon. Although the composite material offers a great potential of use in different areas, as in process industry equipment, a new problem arises related to its correct (environmentally safe) destination, when it loses its properties, becoming a residue. The destination should be referenced to the concept of Environmental Management, which makes use of the environmental hierarchy instrument, which, in turn, considers the following decreasing order of priority regarding waste disposal: non-generation, reduction, reuse, recycling, treatment and final disposition. There are cases of industries that use this material in equipment. In several countries there are already environmental laws regulating the disposal and recycling of composite materials, leading to the development of technologies for this purpose. In Brazil, the National Solid Waste Policy was approved, which guides public and private entities to seek adequate destinations, in particular technologies to treat different types of materials, and among them, composite materials. Destinations are addressed in Brazil and Germany.

Keywords: composites; environmental management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - GEOMETRIA DA FASE DISPERSA EM COMPÓSITO: (A) CONCENTRAÇÃO; (B) TAMANHO; (C) FORMA; (D) DISTRIBUIÇÃO E (E) ORIENTAÇÃO.....	13
FIGURA 2 – COMPOSIÇÃO DAS FASES DOS COMPÓSITOS.....	14
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS.	14
FIGURA 4 - FIBRAS CONTÍNUAS E ALINHADAS; FIBRAS DESCONTÍNUAS E ALINHADAS; FIBRAS DESCONTÍNUAS E ALEATÓRIAS (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).....	15
FIGURA 5 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO.....	16
FIGURA 6 - MODELO DE GESTÃO AMBIENTAL.	21
FIGURA 7 - HIERARQUIA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.	24
FIGURA 8 - LOGÍSTICA REVERSA.....	25
FIGURA 9 - EXEMPLO EQUIPAMENTO INDUSTRIAL EM PRFV.	31
FIGURA 10 - EXEMPLO EQUIPAMENTO INDUSTRIAL EM PRFV.	31
FIGURA 11 - EXEMPLO EQUIPAMENTO INDUSTRIAL EM PRFV.	31
FIGURA 12 - EXEMPLO EQUIPAMENTO INDUSTRIAL EM PRFV.	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MATERIAIS DE MATRIZ POLIMÉRICA PARA FIBRA DE VIDRO.....	18
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTOS MATERIAIS COMPÓSITOS.....	13
3. LEGISLAÇÃO.....	20
3.1. NBR ISO 14.001/2004 – SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (ABNT, 2004)	20
3.2. A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (BRASIL, 2010).....	23
3.3. CONAMA	27
3.4. LEGISLAÇÃO EUROPEIA	27
4. APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	30
5. CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

Devido à produção em grande escala movida pelo consumo exagerado dos dias atuais, há um aumento excessivo na extração de matérias-primas, como também a disposição inadequada de resíduos decorrentes desse padrão de produção. Assim, o tema meio ambiente vem sendo abordado cada vez mais nos últimos anos.

Os compósitos são caracterizados pela presença de duas ou mais fases a nível macroscópico, sendo projetados de forma que apresentem desempenho e propriedades mecânicas superiores às dos materiais constituintes individualmente (DANIEL e ISHAI, 1994). São uma classe ampla e abrangente, compreendendo desde polímeros reforçados com fibras, materiais híbridos, concretos estruturais e outros compósitos que incorporam matriz metálica ou cerâmica (SHACKELFORD, 2008).

Os polímeros, constituintes mais comuns de compósitos, tiveram de 1950 até hoje, sua produção aumentada de 2 milhões ton/ano para 300 milhões ton/ano, com o descarte “sem muita reflexão”. Nos Estados Unidos, cerca de apenas 9% dos polímeros produzidos são reciclados, de modo que mais de 90% deles “estão por aí” (NOGUEIRA E ESTEVAM, 2018).

Os compósitos têm aplicações diversas, como na confecção de materiais esportivos, fabricação de vasos de pressão, pás de turbinas eólicas e equipamentos da indústria química.

O marco para o início da sua utilização em equipamentos industriais foi a Segunda Guerra Mundial, após a percepção dos benefícios da substituição de materiais metálicos por eles, devido à melhoria de suas propriedades. Dentre elas, a mais importante é a resistência a corrosão, sendo mais amplamente aplicado em indústrias como química, petroquímica, alimentícias e energética. Na indústria da cana-de-açúcar, em particular, aplica-se para armazenagem, pré processos e transporte (informação verbal)¹.

Casos industriais como de uma indústria alimentícia da região do Triângulo Mineiro, que iniciou um projeto de aplicar uma camada de fibra de vidro ao tanque de armazenamento de soda para tratamento de água de caldeira e de usinas e destilarias que utilizam compósitos nos tanques de armazenamento de vinhoto, são alguns exemplos que provam a importância que este tipo de material tem na indústria química nos dias atuais.

¹ Informação fornecida pela empresa Engcom – Soluções em Compósitos (Rio Claro – São Paulo/ SP), em 17 de junho de 2019.

Os compósitos podem ser facilmente reciclados. Além disso, demonstraram frequentemente ter uma pegada ecológica melhor do que materiais tradicionais como aço, alumínio e concreto (EUCIA, 2011).

Contudo, com o aumento da produção de equipamentos industriais de compósitos, também crescem as pressões ambientais relacionados à correta destinação do mesmo. À medida que a indústria continua a crescer e o volume de plásticos reforçados com fibras (PRFV) aumenta, a sucata de produção e os resíduos em fim de vida útil também aumentam (JACOB, 2011).

Após sua vida útil, os equipamentos devem ser destinados harmonicamente com as recomendações estabelecidas na legislação, em especial a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabeleceu o conceito da responsabilidade compartilhada quanto à destinação de resíduos sólidos, com o objetivo da gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado deles (BRASIL, 2010).

A gestão dos resíduos sólidos deve seguir a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem (3R's), tratamento de resíduos sólidos e disposição final adequada de rejeitos, respeitando o sistema da logística reversa (BRASIL, 2010).

A norma NBR ISO 14.001 consta de um modelo de gestão ambiental mundialmente empregado, visando ao equilíbrio entre proteção ambiental, prevenção da poluição e necessidades socioeconômicas (OLIVEIRA E PINHEIRO, 2010; ABNT NBR 14.001, 2004).

Abordagens sobre tecnologias emergentes, associadas à quarta revolução industrial, mostram que os novos materiais são introduzidos diariamente no mercado e, com isso, faz-se necessário implementar estratégias eficazes para sua reciclagem e reutilização. Os fabricantes precisam aceitar a responsabilidade pelos impactos ambientais que causarem, em vez de atribuí-la à cadeia de valor (SCHWAB, 2018).

Este trabalho tem como objetivo geral o conhecimento de casos do uso de materiais compósitos em equipamentos industriais e destinação, após sua vida útil. Trata-se também das condutas baseadas na hierarquia ambiental, para prevenção da geração de resíduos e otimização do processo em que são empregados, dentro e/ou fora do processo: manutenção, reaproveitamento, reciclagem, tratamento e disposição final.

A dinâmica do desenvolvimento deste trabalho envolveu pesquisa bibliográfica, relação com indústrias e fabricantes de equipamentos (contatos e visita).

No Capítulo 2, são abordados os tipos, estruturas e aplicações de compósitos em processos industriais.

A legislação, que inclui o Sistema de Gestão Ambiental, e a Política Nacional de Resíduos Sólidos é tratada no Capítulo 3.

No Capítulo 4, apresenta-se casos de processos industriais que utilizam-se materiais compósitos em seus equipamentos.

As conclusões são apresentadas no Capítulo 5.

A escrita deste trabalho está conforme trabalho de Fuchs, França e Pinheiro (2013), por sua vez referenciado nas normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2005).

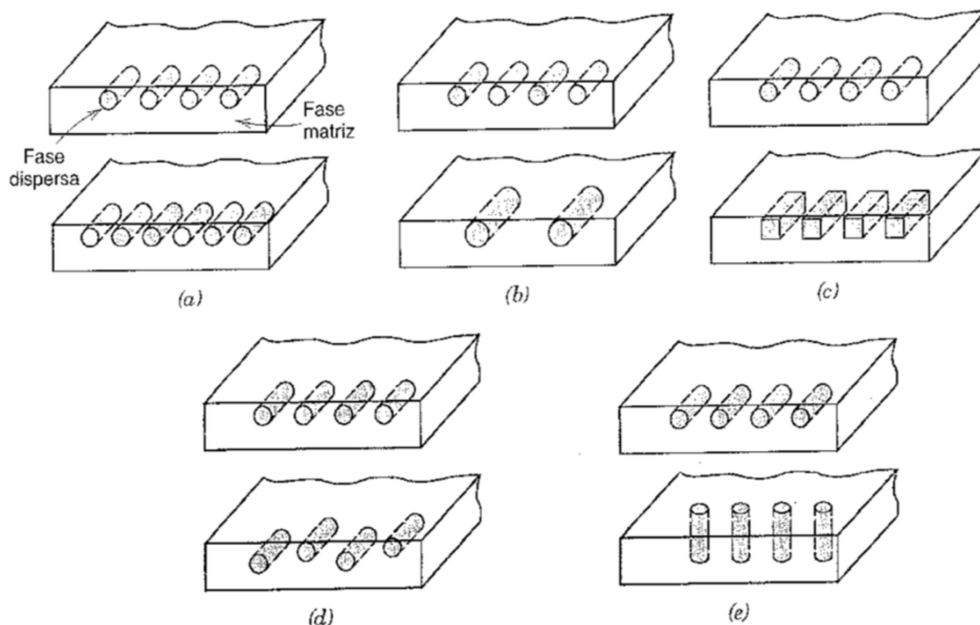
2. FUNDAMENTOS MATERIAIS COMPÓSITOS

Este capítulo trata dos fundamentos dos compósitos, visto a importância do conhecimento das características do material para a otimização de determinada finalidade.

Os compósitos podem ser considerados como qualquer material de múltiplas fases que apresenta as propriedades de ambas que o constituem, ou seja, é um princípio de ação combinada que une as características desejadas de cada material em apenas um. Sendo assim, são aplicados onde são exigidos propriedades não atendidas pelos materiais convencionais, como metais, cerâmicas e polímeros.

Os materiais compósitos são então constituídos por duas fases, a contínua (matriz) e a reforço (dispersa), sendo a primeira contínua e a segunda envolta pela primeira. Além de ser função das propriedades das fases constituintes, as propriedades dos compósitos também dependem da quantidade de cada fase e da geometria da fase dispersa, que é definida pela forma, tamanho, distribuição e orientação das partículas, como na Figura 1 (CALLISTER E RETHWISCH, 2015).

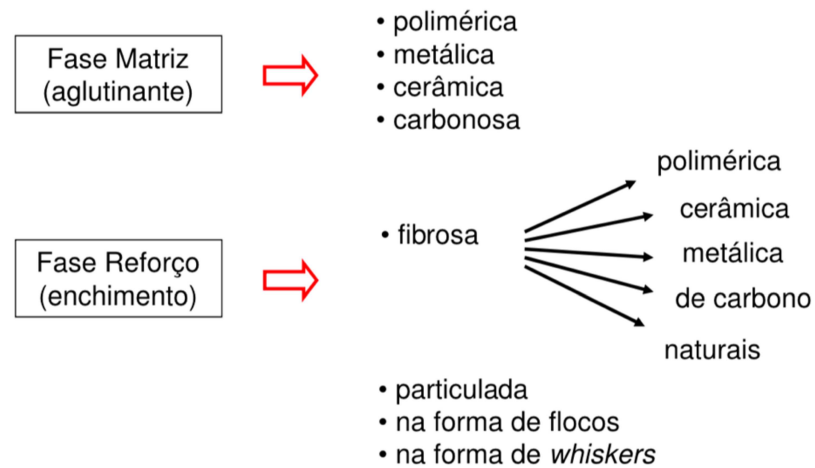
FIGURA 1 - Geometria da fase dispersa em compósito: (a) concentração; (b) tamanho; (c) forma; (d) distribuição e (e) orientação.



Fonte: CALLISTER E RETHWISCH (2015)

A fase matriz tem o papel de aglutinante e a fase reforço de enchimento, cada uma delas pode ser composta de um tipo de material, como mostra a Figura 2.

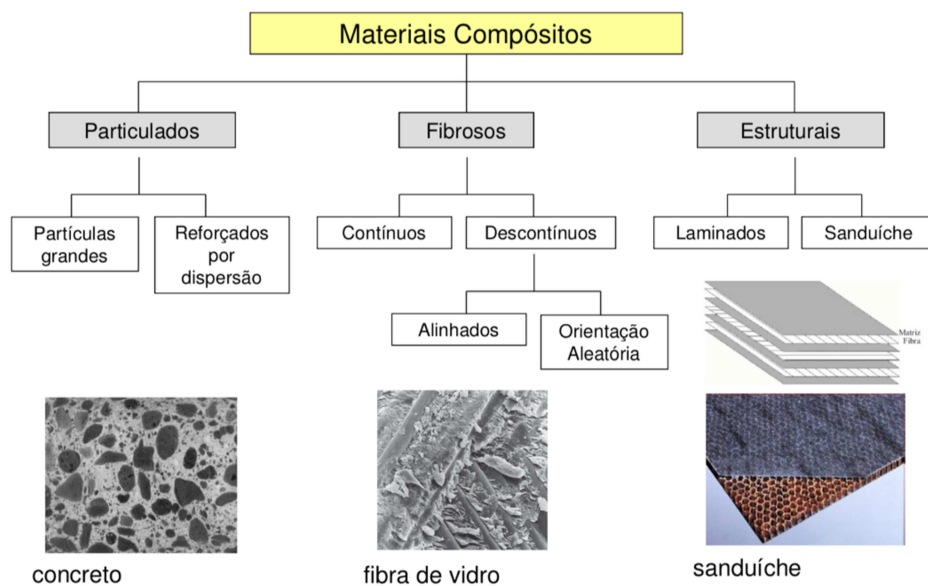
FIGURA 2 - Composição das fases dos compósitos.



Fonte: SOARES (2017)

A classificação dos compósitos é dividida em compósitos particulados, fibrosos e estruturais, sendo que cada uma delas contém subdivisões, como mostra a Figura 3.

FIGURA 3 - Classificação dos compósitos.



Fonte: SOARES (2017)

A diferença entre os reforçados com partículas e os reforçados com fibra se dá pela geometria da fase dispersa, o primeiro é equiaxial e o segundo apresenta geometria de uma fibra. Já os estruturais são formados pela combinação de materiais compósitos e homogêneos.

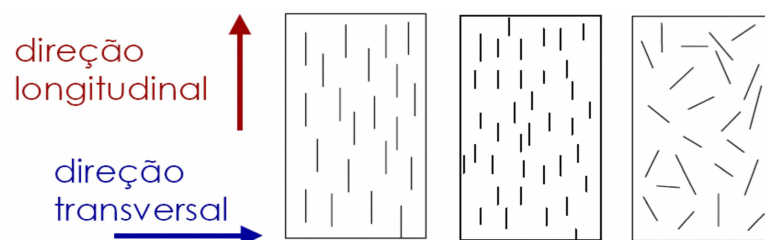
Nos compósitos particulados, têm-se duas subclassificações, que se diferem pelo mecanismo de reforço ou aumento de resistência: os de partículas grandes e os reforçados por dispersão. A fase particulada é mais dura e rígida que a fase matriz e o grau de reforço é dependente da ligação matriz-partícula, a qual não ocorre a nível molecular nos de partículas grandes. Na subclassificação de compósitos reforçados por dispersão, a matriz suporta a maior parte de uma carga, quando aplicada, e as partículas dispersas dificultam o movimento das discordâncias, que é a má formação estrutural. Assim, a deformação plástica fica restrita e há uma melhora no limite de resistência à tração e do escoamento, como também, da dureza.

Os compósitos fibrosos são os mais importantes tecnologicamente. A fase dispersa acha-se na forma de fibras e o objetivo principal é melhorar a resistência e/ou a rigidez em relação ao peso, que são expressas por dois parâmetros, respectivamente. A resistência específica, que corresponde a razão entre o limite de resistência à tração e o peso específico, e o módulo específico, razão entre o módulo de elasticidade e o peso específico.

Há uma subclassificação de acordo com o comprimento da fibra. Os contínuos possuem um comprimento significativo, apresentando uma melhora na resistência, e os descontínuos um comprimento insignificante, havendo apenas um pequeno reforço devido à fibra, tornando-os essencialmente os compósitos particulados descritos anteriormente.

Os fibrosos descontínuos são ainda divididos entre os alinhados, que têm propriedades anisotrópicas, ou seja, dependem da direção em que são medidas, e os de orientação aleatória. A classe de compósitos fibrosos e suas subclasses estão representadas na Figura 4.

FIGURA 4 - Fibras contínuas e alinhadas; Fibras descontínuas e alinhadas; Fibras descontínuas e aleatórias (da esquerda para a direita).

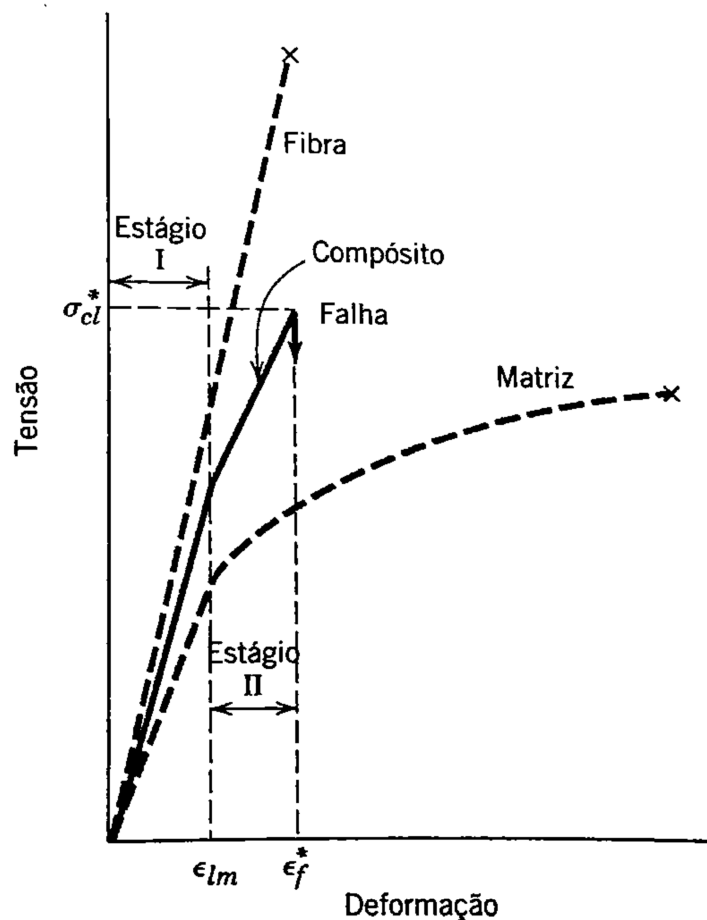


Fonte: SOARES (2017)

Quanto mais uniforme for a distribuição das fibras, melhores serão as propriedades gerais. Logo, as respostas mecânicas do compósito dependem do comportamento das fases matriz e dispersa, como também da direção de aplicação da carga ou tensão.

Considerando os comportamentos tensão-deformação de uma fibra frágil, de uma matriz dúctil e de um compósito fibroso contínuo e alinhado, representados na Figura 5, é possível afirmar que, ao se aplicar uma carga na direção longitudinal, tanto a matriz como a fibra têm deformação elástica (região linear) no Estágio I e que a matriz se deforma plasticamente enquanto a fibra continua elástica no Estágio II, pois o limite de resistência à tração das fibras é maior. Além disso, a falha se inicia quando as fibras começam a se fraturar (em ϵ_f^*), porém não é catastrófica, pois as fibras não se fraturam todas ao mesmo tempo e a matriz ainda se encontra intacta. Dessa forma, o compósito ainda é capaz de suportar uma carga enquanto a matriz continua seu processo de deformação plástica. Há compósitos que apresentam uma

FIGURA 5 - Diagrama tensão-deformação.



Fonte: CALLISTER E RETHWISCH (2015)

ligação interfacial tão boa que permite que a deformação tanto das fibras quanto da matriz seja a mesma, nomeado de isodeformação.

Contudo, sob as condições de serviço, também podem existir cargas transversais, podendo levar à falhas prematuras já que a resistência na direção transversal é extremamente baixa, sendo possível ser até menor que o limite de resistência à tração da matriz. O melhoramento da resistência transversal dos compósitos se dá pela modificação das propriedades da matriz, normalmente.

Resumidamente, compósitos de fibras alinhadas têm sua resistência e reforço máximos obtidos ao longo da direção do alinhamento, ou seja, longitudinal. E na direção transversal, a fratura ocorre sob níveis de tensões relativamente baixos. Para tensões multidirecionais, são utilizados compósitos laminados, descritos posteriormente, ou compósitos fibrosos descontínuo aleatório, mesmo apresentando eficiência muito inferior se comparado quando se aplica somente na direção longitudinal em fibras alinhadas.

Para se definir a orientação e o comprimento da fibra de um compósito, deve ser levado em conta o nível e a natureza da tensão que será aplicada e também os custos de fabricação. Os compósitos de fibra curta têm taxas de produção rápida e formas complexas podem ser conformadas, além de que os custos de fabricação são menores se comparados aos de fibra contínua e alinhada.

Sabendo que o volume do material é inversamente proporcional à sua resistência, as fibras são classificadas de acordo com base em seu diâmetro e sua natureza. Uísqueres são monocristais muito finos, com cristalina perfeita, resistências excepcionais e isento de defeitos, porém são extremamente caros e de difícil incorporação à matriz. Fibras são materiais policristalinos ou amorfos de diâmetro pequeno, sendo geralmente cerâmicos ou polímeros. E os arames têm diâmetro relativamente grande e costumam ser utilizados como reforço radial nos pneus de automóveis, em carcaças de foguetes e mangueiras de alta pressão.

Para os compósitos fibrosos, a fase matriz tem a função de ligar as fibras entre elas, sendo meio de transmissão e distribuição da tensão para as fibras, sendo apenas uma parte pequena da tensão suportada pela matriz. Também, a matriz deve ser mais dúctil que as fibras e o módulo de elasticidade maior. Outra função é de proteger as fibras individuais contra danos superficiais, como desgaste físico e reações químicas, prevenindo assim a ocorrência de defeitos geradores de trincas que levariam a falhas, mesmo a baixas tensões, ou seja, a matriz serve como barreira à propagação de trincas.

É utilizado metais ou polímeros como matriz caso seja desejável um material com boa ductilidade. Quando necessário o uso cerâmicos, o componente de reforço, no caso a fibra, deve ser escolhido visando aumentar a tenacidade do compósito.

A matriz polimérica de um compósito geralmente determina a temperatura máxima de serviço. Devido às suas propriedades a temperatura ambiente, a facilidade de fabricação e ao custo, são os materiais utilizados em maior diversidade e quantidade, como por exemplo, poliésteres e vinis ésteres, que normalmente são utilizados com fibras de vidro. Já os epóxis são mais caros, apesar de possuírem melhor resistência à umidade que os anteriores. No caso de elevadas temperaturas, é utilizado resinas de poli-imidas.

O tipo de polímero utilizado na matriz e suas características e aplicações são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - Materiais de matriz polimérica para fibra de vidro.

Polímero^a	Características e aplicações
Termofixo	
Epóxis	Alta resistência (para recipientes feitos por bobinagem)
Poliésteres	Para estruturas gerais (normalmente, reforço de tecido)
Fenólicos	Aplicações em altas temperaturas
Silicones	Aplicações elétricas (por exemplo, placas de circuito impresso)
Termoplástico	
Náilon 66	Menos comuns, ductilidade especialmente boa
Polycarbonato	
Poliestireno	

Fonte: BROUTMAN E KROCK (1967)

Os compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro são feitos de fibras de vidro, contínuas e descontínuas, em uma matriz polimérica. O vidro se tornou um reforço popular devido às propriedades de ser facilmente estirados em fibras de alta resistência, disponível, fabricação barata, relativamente resistente e inércia química quando associados a diferentes plásticos, permitindo o uso em meios corrosivos variados. A grande maioria das aplicações são limitadas a temperaturas abaixo de 200°C, pois acima disso os polímeros começam a escoar ou deteriorar. Se utilizar sílica fundida de alta pureza para as fibras e polímeros de alta temperatura

para a matriz, o limite de temperatura pode subir para 300°C. Algumas aplicações são carcaças de veículos de transporte automotivo, tubulações de plástico, recipientes de armazenamento e pisos e equipamentos industriais.

Os reforçados com fibra de carbono são utilizados devido às propriedades desejadas do carbono, como maiores módulos específicos e resistências específicas dos materiais fibrosos, que são mantidos elevados mesmo sob temperaturas elevadas, são inertes à umidade, solventes, ácidos e bases à temperatura ambiente, além de boa relação custo-benefício. São comumente usados em equipamentos esportivos e de recreação, vasos de pressão e componentes estruturais de aeronaves.

E por último, os compósitos poliméricos reforçados com fibras de aramidas possuem alta relação resistência-peso, superior à dos metais. Possuem nomes comerciais mais comuns, como Kevlar e Nomex. São comumente usados em coletes à prova de balas, pneus e artigos esportivos.

Os compósitos que possuem a matriz constituídas de metais dúcteis, têm vantagem sobre os poliméricos devido à suas maiores temperaturas operacionais, não inflamabilidade e maior resistência à degradação por fluidos orgânicos. Porém são mais caros e por isso têm seu emprego restrito.

A matriz composta por materiais cerâmicos produz compósitos resistentes à oxidação e degradação a altas temperaturas. Mas a fragilidade desses materiais limita o seu uso nessas condições. É possível melhorar a tenacidade utilizando fibras, particulados ou uísqueres, retardando a propagação de trincas que poderiam levar à fratura do material.

Os compósitos que possuem matriz carbono e reforço de fibras de carbono são relativamente novos e caros. Suas propriedades conferem a eles uma baixa suscetibilidade a choques térmicos. Têm a desvantagem de serem propensos a se oxidarem a altas temperaturas.

Os compósitos também podem utilizar dois tipos de fibras em uma única matriz, sendo conhecidos como compósitos híbridos.

Por último, os compósitos estruturais são formados por um compósito e um material homogêneo. Suas propriedades são função das propriedades dos materiais que o constituem e da geometria da estrutura. Os mais comuns são chamados laminares e painéis em sanduíche.

3. LEGISLAÇÃO

Percebendo a urgência em alcançar o equilíbrio entre o processo produtivo e meio ambiente, visto os impactos negativos que ele vem sofrendo, a legislação e órgãos ambientais brasileiros, nas últimas décadas, têm feito exigências cada vez mais rigorosas, para garantir a consolidação do princípio da sustentabilidade.

3.1. NBR ISO 14.001/2004 – Sistema de Gestão Ambiental (ABNT, 2004)

A ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização) – é uma entidade que tem como objetivo elaborar normas e padrões de produtos e serviços que auxiliem o mercado a manter a qualidade. No Brasil, sua representante é a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A norma ABNT NBR ISO 14001/2004 foi criada com o objetivo de fornecer às organizações medidas eficientes para que um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) possa permitir a elaboração e a implementação de políticas e objetivos que levem em consideração os requisitos legais, visando à preservação do meio ambiente.

Mesmo não sendo uma imposição legal, como no caso de um licenciamento – procedimento administrativo realizado pelo órgão ambiental competente para licenciar a instalação ou qualquer modificação de empreendimentos que utilizam recursos naturais, ou que sejam potencialmente poluidores ou que possam causar degradação ambiental –, a certificação qualifica a instituição que a adota. No caso da norma NBR ISO 14.001, a certificação é obtida através de auditorias para verificar se o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) atende aos preceitos listados na norma, tendo validade de três anos (FEPAM, 2015; RIEKSTI, 2015).

Esta norma é baseada em uma metodologia conhecida como PDCA – Plan-Do-Check-Act (Planejar-Executar-Verificar-Agir), que é um ciclo de melhoria contínua:

- Planejar: determinar os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em consentimento com a política ambiental da organização.
- Executar: efetivar os processos.
- Verificar: acompanhar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, como também relatar os resultados.
- Agir: atuar para melhorar de forma contínua o desempenho do Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é considerado uma estrutura organizacional que dá viabilidade à empresa para avaliar e controlar suas atividades, produtos ou serviços, evitando impactos ambientais - qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica - que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização, por sua vez definidos como elementos das atividades ou produtos ou serviços da organização que podem interagir com o meio ambiente.

O nível de particularidade e complexidade do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), sua documentação e os recursos dedicados a ele irão depender de alguns fatores, tais como: porte da organização e natureza de suas atividades, escopo do sistema e produtos e serviços.

Cabe realçar a importância do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de aplicação sugerida em estudos norte americanos. Eles constatarem a desarticulação do sistema de reciclagem do país, sugerindo mudanças como a padronização do polímero reciclável e a imposição de limites para aditivos como corantes, cuja remoção é onerosa para as recicladoras (NOGUEIRA E ESTEVAM, 2018).

É necessário que todos os setores da organização estejam alinhados com os objetivos do Sistema e suas obrigações no processo de implementação e elaboração.

A Figura 6 mostra de forma simplificada o funcionamento do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) e os elementos que o compõem de forma a obter melhoria contínua.

FIGURA 6 - Modelo de gestão ambiental.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 14.001 (2004).

No entanto, o aspecto principal é a definição dos objetivos do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) pela Alta Administração, como se segue.

De acordo com BASSI (2015), a Política Ambiental, definida pela Alta Administração da Instituição, é a força motriz para a implementação e o aprimoramento do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), constando das intenções e os princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho ambiental (resultados obtidos pela organização no que diz respeito ao meio ambiente). A Política Ambiental deve:

1. Ser apropriada de acordo com a escala das atividades e impactos ambientais;
2. Visar à melhoria contínua e à prevenção da poluição;
3. Incluir o comprometimento de atender requisitos legais;
4. Fornecer estrutura para o estabelecimento e análise dos objetivos e metas ambientais;
5. Ser documentada, implementada e mantida;
6. Estar disponível a todos que trabalhem na organização;
7. Estar disponível ao público.

Ou seja, é o principal documento elaborado pela organização, em que ela expõem suas intenções e princípios em relação ao seu desempenho ambiental global e que estabelece uma estrutura para a ação e definição dos seus objetivos e metas ambientais.

O Planejamento deve incluir os seguintes tópicos: aspectos ambientais, requisitos legais e outros requisitos, objetivos incluindo o comprometimento da diminuição da poluição), metase programas de gestão ambiental (que atribuem responsabilidades, metas e prazos). A norma NBR ISO 14001 recomenda que a organização formule um plano para cumprir sua Política Ambiental.

Na etapa de Implementação e Operação é recomendada que, para que haja uma efetiva implantação da norma NBR ISO 14001, é necessário atender ao que está previsto em sua política, metas e objetivos por meio da efetivação de algumas estruturas que são: Estrutura Organizacional e Responsabilidade; Treinamento, Conscientização e Competência; Comunicação; Documentação do Sistema de Gestão Ambiental; Controle de Documentos; Controle Operacional e Preparação e atendimento a emergências.

Na Verificação é criado condições para verificar se a empresa está de acordo com o programa de gestão ambiental previamente definido, trata as medidas preventivas, identifica aspectos não desejáveis e mitiga quaisquer impactos negativos. A Verificação e Ação Corretiva

são orientadas por quatro etapas do processo de gestão ambiental: Monitoramento e Medição; Não-conformidade e Ações Corretivas e Preventivas; Registros e Auditoria do SGA.

A última etapa do ciclo é a Análise pela Administração. É o momento em que a administração após a auditoria identifica a necessidade de possíveis alterações na Política Ambiental, nos seus objetivos e metas, ou em outros itens do sistema. O processo de gestão é revisado, bem como o processo de melhoria contínua exercitado.

Além das etapas abordadas, visando à melhoria continua da Gestão Ambiental, é importante realçar o conceito de responsabilidade compartilhada - a qual será definida e detalhada na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no item 3.2 a seguir - que destaca a importância da atividade conjunta entre geradores, transportadores, consumidores e Poder Público na organização e destinação dos resíduos sólidos, visando minimizar os impactos ambientais e seguindo a hierarquia ambiental (BRASIL, 2010).

3.2. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída em 2010 e trata da gestão integrada e do gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, além da responsabilidade conjunta dos consumidores, dos geradores e do Poder Público, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, com os objetivos de desenvolver estratégias sustentáveis, reaproveitar e reduzir a produção de resíduos, incentivar a reciclagem e o consumo de reciclados, proporcionar eficiência e sustentabilidade às atividades produtivas.

A Figura 7 representa a hierarquia do gerenciamento de resíduos sólidos, regulamentada pela PNRS, mostrando a prioridade da Não geração de resíduos.

Os itens da hierarquia são definidos, segundo a PNRS (2010), como:

1. Não geração: não produção de resíduos.
2. Redução: redução da geração do produto.
3. Reutilização: reaproveitamento dos resíduos sem necessidade de tratamentos que transformem suas propriedades biológicas, físicas ou químicas.
4. Reciclagem: processos de transformação das propriedades biológicas, físicas ou químicas dos resíduos.
5. Tratamento: redução da toxicidade de um material a ser encaminhado pra disposição final.

6. Disposição final adequada: distribuição final adequada dos rejeitos em aterros, seguindo normas específicas para fins de segurança da saúde da população e do meio ambiente.

FIGURA 7 - Hierarquia do gerenciamento de resíduos sólidos.



Fonte: KARASKI ET AL (2016).

Uma das maneiras de incentivar a não geração de resíduos no setor produtivo, visto que a geração não pode ser eliminada completamente, é o investimento na eficiência de processos, ou seja, investir em pesquisas, no uso de tecnologias modernas e inovadoras. Outra forma de incentivar a não geração é fazer uso racional utilizando o mínimo de recursos (energia elétrica, matéria prima, água, etc.).

A reciclagem é definida como um processo de transformação de resíduos sólidos, a partir do reprocessamento, os quais sofrem modificação em suas propriedades biológicas, físicas ou químicas, ou seja, a reciclagem é basicamente a fabricação de um produto novo a partir de outro usado (AGENDA A3P, 2014; BRASIL, 2010). Aqui, também se mostra o sentido da aplicação da logística reversa, que será definida a seguir, para garantir a matéria-prima para a reciclagem, ou, caso se inviabilize, para o tratamento para a disposição final, conforme estabelecido pela hierarquia ambiental.

A PNRS também estabelece, e pela primeira vez, em seu artigo 3º, incisos XV e XVI, a diferença entre rejeitos e resíduos sólidos:

rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e

economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

A partir desta lei, fica permitida a disposição final (Figura 7) apenas para os rejeitos.

A logística reversa, ilustrada na Figura 8, é definida pela PNRS:

logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

FIGURA 8 - Logística Reversa.



Fonte: RODRIGUES, 2015.

A logística reversa engloba o conceito da responsabilidade compartilhada, envolvendo todos os setores em relação ao destino final adequado dos resíduos gerados por seus produtos, considerando a minimização de rejeitos e resíduos sólidos, e de impactos à saúde humana e ao meio ambiente (BRASIL, 2010). Como mencionado no artigo 3a, inciso XVII, da PNRS:

responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei (BRASIL, 2010).

Vale destacar que, antes da instituição da PNRS, não havia no Brasil um instrumento legal que orientasse estados, municípios e pessoas sobre o gerenciamento de resíduos sólidos, apesar da existência de normas que abordam o assunto (MMA, 2014).

Como exemplo, cabe observar que estudos recentes realizados nos Estados Unidos defendem a redução na geração, cobrando de fabricantes que devam ir além de compromissos voluntários atuais, arcando, por exemplo, com o custo dos resíduos. Vários países estão analisando programas de responsabilidades ampliadas do produtor, incluindo impostos sobre produtos sem parcela de polímero reciclado e custos de coleta e reciclagem (NOGUEIRA E ESTEVAM, 2018).

Por meio de pesquisas e contato com a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (ALMACO) verificou-se a iniciativa do Programa ALMACO de Logística Reversa Pós-Consumo de Materiais Compósitos, denominado Compolife, no estado do Paraná, referente a implantação de sistema de logística reversa pós-consumo para materiais compósitos poliméricos termofixos, compreendendo, principalmente, produtos fabricados com resina poliéster e reforçados com fibra de vidro, tendo como foco nesta fase o segmento de Transportes - Ônibus (ALMACO, 2016). Mas nenhum indício de iniciar o programa com equipamentos industriais.

Embora a implementação da PNRS ainda seja recente no Brasil, a logística reversa já é uma realidade há mais de trinta anos em alguns países, principalmente da Europa, e mesmo no Brasil já existem experiências específicas para alguns produtos (pneus, óleo lubrificante, embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias) há mais de dez anos (CETESB, 2018).

A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) determinou em abril de 2018, no estado de São Paulo, que as empresas devem incorporar a logística reversa para poder

obter a licença ambiental de operação. A regra vale tanto para uma nova obtenção do documento ou para renovação da licença (TERA, 2018).

3.3. CONAMA

Em contato com Ministério do Meio Ambiente, foi verificado que ainda não há sistemas implementados e regulamentados por resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de equipamentos industriais constituídos por materiais compósitos (informação escrita)², diferentemente de outros materiais residuários, como vidro, pneu, pilhas e baterias (BASSI, 2015; PLÁCIDO, 2015; SOARES, 2018) que possuem regulamentação já implementadas ou com implementação em andamento.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o único material associado a compósitos que está incluso em uma Resolução Conama é o amianto (fase fibra adicionada ao cimento Portland). O compósito já foi muito usado na construção civil e produzido em escala industrial. Porém, teve sua aplicação restringida devido à sua associação com doenças cancerígenas, o que levou à substituição por materiais alternativos com propriedades físicas e mecânicas similares às do cimento amianto (informação escrita)³.

Como exemplo do sentido da gestão ambiental, a Resolução Conama nº 448, de 18 de janeiro de 2012, alterou a Resolução nº 307/02, e neste sentido os resíduos da construção civil não podem ser encaminhados para as unidades de disposição final de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei (informação escrita)⁴.

3.4. Legislação Europeia

A Comissão Europeia publicou um documento de orientação sobre a interpretação da Diretiva 2008/98/CE (Legislação União Europeia). O documento destina-se a ajudar as

² Informação fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do sistema de ouvidoria do site em 19 de junho de 2019.

³ Informação fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do sistema de ouvidoria do site em 19 de junho de 2019.

⁴ Informação fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do sistema de ouvidoria do site em 19 de junho de 2019.

autoridades nacionais e as empresas a interpretar a diretiva (EUCIA, 2011).

A Diretiva 2008/98/CE define os conceitos relacionados com a gestão de resíduos e desenvolve um princípio do “poluidor-pagador” conhecido como responsabilidade alargada do produtor. Requer que os Estados-Membros da União Europeia (EU) apliquem a hierarquia de gestão de resíduos: prevenção, reutilização, reciclagem, recuperação e eliminação (COMPOSITES UK, 20--?), como no conceito de responsabilidade compartilhada definida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil.

O estudo na União Europeia para a reciclagem de compósitos reforçados com fibra de vidro é cada vez mais extenso. Fundamentalmente, três tecnologias de reciclagem foram pesquisadas e geram soluções em potencial para o gerenciamento de resíduos: reciclagem mecânica, reciclagem química e coprocessamento.

Coprocessamento de compósitos através da rota do forno de cimento é considerada a melhor opção de reciclagem (EUCIA, 2011). Nesta rota de reciclagem, os resíduos compósitos podem ser co-processados com outros resíduos, como combustível, em fornos de cimento. Isso recupera a energia da parte orgânica (cerca de 67%) e os enchimentos minerais e o vidro tornam-se matéria-prima para o clínquer (33%) - produto do forno de cimento e matéria-prima básica do cimento (COMPOSITES UK, 20--?).

Esta é uma solução relativamente simples e barata, com uma taxa de recuperação de 100%, mas o resíduo composto precisa ser reduzido a um tamanho de partícula pequeno e formulado para torná-lo adequado para uso no forno de cimento (JACOB, 2011).

Entre outras especificações da Diretiva 2008/98/CE, o coprocessamento na fabricação de cimento está incluído, na definição de prevenção de resíduos e de opções de gerenciamento de resíduos, tanto em recuperação quanto em reciclagem (EUCIA, 2011). A orientação observa que:

Em certos processos de produção, como coprocessamento, os resíduos podem ser usados em uma operação combinando duas opções de recuperação de gerenciamento de resíduos ao mesmo tempo. O conteúdo energético dos resíduos é recuperado (operação R1) como energia térmica, substituindo assim os combustíveis, enquanto a fração mineral dos resíduos pode ser integrada (e portanto reciclada) na matriz do produto ou material produzido, por ex. clínquer de cimento, aço ou alumínio [...] (Subcapítulo 1.4.5).

A reciclagem de material compósito à base de fibra de vidro, através do coprocessamento em fornos de cimento, está provando ser altamente rentável, está gerando

materiais valiosos e está ajudando a melhorar a pegada ecológica da fabricação de cimento. Por estas razões, esta rota de reciclagem está se tornando cada vez mais popular em toda a Europa (EUCIA, 2011).

Em 2011, estava entrando em operação na Alemanha um esquema industrial que seguia esta rota. Era uma parceria entre a Zajons Zerkleinerungs GmbH, uma empresa de reciclagem localizada em Melbeck, e a Holcim, um grupo cimenteiro líder na Suíça, que estavam introduzindo o coprocessamento de vários materiais de resíduos como combustíveis alternativos e matérias-primas em suas fábricas em todo o mundo através do seu negócio conhecido como Geocycle. O diretor administrativo da Zajons, explicou como o negócio de reciclagem de compósitos da empresa começou em 2009 com um projeto para descartar grandes pás de turbinas eólicas e a criação de uma parceria com a Holcim na Alemanha (JACOB, 2011).

Entre outras rotas de destinação final, o aterro é considerado uma relativamente barata, mas é a opção de gestão de resíduos menos preferida pela Diretiva 2008/98/CE. Aterro de resíduos compósitos já é proibido na Alemanha e outras empresas da UE devem seguir esta rota (JACOB, 2011).

A incineração é outro método comum de descarte de compósitos reforçados com fibra de vidro. Porém, neste processo, cerca de 50% dos resíduos permanecem como cinzas, e isso tem de ser depositado em aterro (JACOB, 2011).

4. APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

A motivação deste trabalho foi a informação técnica previamente obtida de indústria regional alimentícia, que utilizava tanques metálicos de aço carbono para armazenamento de soda empregada no controle de pH em gerador de vapor. Devido à corrosão, foi cogitada sua substituição por tanque de material compósito. Durante a realização deste trabalho, em visita à indústria, verificou-se que o projeto de substituição não teve andamento, por razões de custos.

Além disso, em contato com indústrias regionais de alimentos, bens de consumo, grãos, química e petroquímica, constatou-se que a utilização de equipamentos de materiais compósitos ainda é muito limitado ou inexistente. Dada a dificuldade de encontrar casos palpáveis, o trabalho foi direcionado para pesquisa bibliográfica em busca de casos.

Em contato com diversos fabricantes brasileiros de equipamentos industriais, observou-se que a quantidade de fabricantes de equipamentos de compósitos é ainda muito inferior se comparado aos equipamentos metálicos.

Dois fabricantes de equipamentos constituídos por compósitos afirmaram que no exterior o uso de compósitos em equipamentos de processos chega de 20 a 30 vezes mais que no Brasil. As possíveis explicações para esse uso restrito é a baixa divulgação das vantagens do mesmo, o material ser relativamente novo, altos preços e o mercado consumidor ainda ser muito limitado. Mas alegam que, apesar de o processo de substituição de equipamentos de aço por compósitos não ser grande, vem acontecendo de forma gradual (informação verbal)⁵.

Obteve-se também a informação dos setores que mais aplicam compósitos em seus processos, sendo os principais o de Petróleo, o Sucroenergético e o de Papel & Celulose. Os equipamentos citados são tubulações e tanques (de armazenagem, reação e transporte), lavadores de gás e outros equipamentos para o setor Sucroenergético constituídos pelo compósito PRFV - Polímero (fase matriz) Reforçado com Fibra de Vidro (fase fibra) (Figuras 9, 10, 11 e 12). O polímero mais utilizado é o Poliéster, uma resina termofixa (informação verbal)⁶.

⁵ Informação fornecida pela empresa Engcom – Soluções em Compósitos (Rio Claro – São Paulo/ SP) e Tecniplas (Cabreúva– São Paulo/ SP), em 17e 19 de junho de 2019.

⁶ Informação fornecida pela empresa Engcom – Soluções em Compósitos (Rio Claro – São Paulo/ SP) e Tecniplas (Cabreúva– São Paulo/ SP), em 17e 19 de junho de 2019.

FIGURA 9 - Exemplo equipamento industrial em PRFV.



Fonte: Tecniplas (2019)

FIGURA 10 - Exemplo equipamento industrial em PRFV.



Fonte: Tecniplas (2019)

FIGURA 11 - Exemplo equipamento industrial em PRFV.



Fonte: Tecniplas (2019)

FIGURA 12 - Exemplo equipamento industrial em PRFV.



Fonte: Tecniplas (2019)

No setor sucroenergético, verificou-se que tubulações de transporte de vinhoto, torres de resfriamento de vinhaça e condensado, abatedores de pó de açúcar, sistemas de recuperação de álcool nas dornas, devido à alta corrosão em metais, são substituídos por dutos do compósito fibra de vidro (informação verbal)⁷. Porém, em contato com uma indústria de açúcar e álcool, observou-se que essa substituição ainda é muito limitada devido à crise econômica do setor (informação verbal)⁸.

Essa crise no setor de cana-de-açúcar verifica-se quando se constata iniciativas como a produção de biocombustível a partir do milho tem tido um crescimento exponencial, principalmente no estado do Mato Grosso (PALMEIRA, 2017).

O setor de saneamento também vem trocando reatores - responsáveis pela digestão do esgoto - feitos em concreto por compósitos, devido ao ataque do concreto pelo esgoto. E o setor petrolífero vem substituindo linhas de aço, drenos abertos, linhas de captação do mar por materiais compósitos, pois a elevada concentração de sal corrói o aço (informação verbal)⁹.

As principais vantagens que materiais compósitos fornecem às indústrias são: resistência química (resinas com ótimas propriedades para suportar desde água potável à diversos produtos químicos), resistência mecânica (compósito com ótima resistência

⁷ Informação fornecida pela empresa Tecniplas (Cabreúva– São Paulo/ SP), em 19 de junho de 2019.

⁸ Informação confidencial.

⁹ Informação fornecida pela empresa Engcom – Soluções em Compósitos (Rio Claro – São Paulo/ SP), em 17 de junho de 2019.

mecânica, vinda da união das propriedades das fibras do vidro aplicadas), durabilidade excepcional (tanques em PRFV possuem vida útil estimada entre 30/50 anos), baixa manutenção (não sofre danos pela ação das intempéries e não possui soldas ou revestimentos), leveza e facilidade de instalação (os equipamentos pesam em média 30% do peso de um mesmo equipamento em aço), o material é inócuo (os equipamentos não transferem odor e sabor), liberdade de projeto e facilidade de fabricação (informação escrita)¹⁰.

Na Alemanha, há diversas empresas que produzem equipamentos feitos de material compósito, diferentemente do Brasil que ainda é iniciante nessa área. Uma delas é Avanco, que produz equipamentos feitos de alumínio e PRFV. Suas aplicações incluem aviação, indústrias de higiene, de papel e celulose, têxtil, dentre outras (AVANCO, 20--?).

¹⁰ Informação fornecida pela empresa Tecniplas (Cabreúva– São Paulo/ SP) via email, em 19 de junho de 2019.

5. CONCLUSÕES

Dentre as várias vantagens, a principal que materiais compósitos fornecem às indústrias é o balanço entre as suas propriedades e sua baixa densidade, que permite que esses materiais sejam utilizados em aplicações em que as propriedades mecânicas são importantes, mas ao mesmo tempo a baixa densidade também é fundamental, permitindo a redução de custo.

Porém, as pesquisas indicam que no Brasil o uso em escala ainda muito pequena ou inexistente, restringindo-se a equipamentos compostos de apenas uma (o PRFV) de infinitas possíveis combinação de materiais.

Além disso, o contato com diversos fabricantes brasileiros de equipamentos industriais indicou que a quantidade de fabricantes de equipamentos de compósitos é ainda muito inferior se comparado aos equipamentos metálicos, o que explica a dificuldade de se encontrarem equipamentos residuários de compósitos. Mas, nos contatos, verificou-se que, apesar de o processo de substituição de equipamentos de metal por compósitos não ser grande, vem acontecendo de forma gradual.

Apesar de, abordagens sobre tecnologias emergentes, associadas à quarta revolução industrial, mostrarem que, com a introdução diária de novos materiais no mercado, faz-se necessário implementar estratégias eficazes para sua reciclagem e reutilização e que os fabricantes precisam aceitar a responsabilidade pelos impactos ambientais que causarem. Porém, este estudo mostrou que não há muitos registros científicos do processo de hierarquia ambiental que envolvem materiais compósitos de equipamentos industriais.

Entrando em contato com diversas empresas que fazem coleta de lixo industrial para devido descarte ou reciclagem, constatou-se que nenhuma recebeu equipamentos industriais feitos de compósito e muitas não sabem nem do que se trata.

Por ser um material relativamente recente aplicado do Brasil e que tem tempo de vida útil elevado, ainda não houve preocupação ou procura para saber o que fazer com eles, mesmo com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e seu conceito de responsabilidade compartilhada.

Na Alemanha, que é o país que mais recicla no mundo, o uso de compósitos em equipamentos industriais é alto e a implementação e execução da Logística Reversa no país funciona muito bem, diferentemente do Brasil.

Diante de tais colocações, o tema tratado abre espaço para pesquisas de novos materiais compósitos, e para a conscientização da destinação adequada quando resíduos, a fim de ajudar

ambientalmente, industrialmente e economicamente, o uso de um material com infinitas vantagens e as metodologias para a destinação dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.001: Resíduos Sólidos - Classificação**. São Paulo, 2004.

AGENDA A3P (Brasil) - Agenda Ambiental na Administração Pública. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.comprasgovernamentais.gov.br/arquivos/cartilhas/cartilha_pgrs_mma.pdf>. Acesso em: maio/2019.

ALMACO. **Programa ALMACO de Logística Reversa**. 2016. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/Relatorio_2017_ALMACO.pdf>. Acesso em: maio/2019.

AVANCO. **Site Avanco**. Disponível em: <<https://www.avanco.de/en/home.html>>. Acesso em: junho/2019.

BASSI, C. M. M. **Pneus inservíveis e a gestão ambiental**. 2015. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

BRASIL, 2010. **LEI FEDERAL N.º 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

BROUTMAN, L. J.; KROCK, R. H. *Modern composite materials*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1976.

BURJAILI, M. M. **Tecnologia de Alimentos**, Caderno Didático, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**, 8. ed, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CETESB. **Companhia Estadual do Estado de São Paulo**. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/logisticareversa/>>. Acesso em: maio/2019.

COMPOSITES UK. *End of life options for composite materials*. 20--? .Disponível em: <<https://compositesuk.co.uk/composite-materials/properties/end-life-options>>. Acesso em: junho/2019.

DANIEL, I. M.; ISHAI, O. *Engineering mechanics of composite materials*. New York: Oxford University Press, 1994.

EUCIA. **Composites Recycling Made Easy**. 2011. Disponível em: https://eucia.eu/userfiles/files/20130207_eucia_brochure_recycling.pdf. Acesso em: julho/2019.

FEPAM. **O que é licenciamento ambiental.** Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/central/licenciamento.asp>>. Acesso em: junho/2019.

FUCHS, A. M. S.; FRANÇA, M. N.; PINHEIRO, M. S. de F. **Guia para normalização de publicações técnico-científicas.** Uberlândia: EDUFU, 268 p, 2013.

JACOB, A. **Composites can be recycled.** 2011. Disponível em: <<https://www.materialstoday.com/composite-industry/features/composites-can-be-recycled/>>. Acesso em: julho/2019.

KARASKI, T. U. et al. **Embalagem e Sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular.** São Paulo: CETESB, 2016. 52 p., il. color., 30cm.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Org.). **Importância da Instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/contextos-e-principais-aspectos>>. Acesso em: junho/2019.

NOGUEIRA, P.; ESTEVAM, C. *Scientific American*. 2018, n.197, p. 8, julho/2019.

OLIVEIRA, O. J. de.; PINHEIRO, C. R. M. S. **Implantação de sistemas de gestão ambiental ISO 14001: uma contribuição da área de gestão de pessoas.** São Carlos: Gestão e Produção, v. 17, n.1, p. 51-61, 2010.

PALMEIRA, C. **Usina em MT ajuda Centro-Sul a alcançar recorde de produção de etanol de milho.** 2017. Disponível em: <<https://www.rdnews.com.br/economia-e-agronegocio/usina-em-mt-ajuda-centro-sul-a-alcancar-recorde-de-producao-de-etanol-de-milho/93014>>. Acesso em: maio/2019.

PLÁCIDO, M. **Reciclagem de Pilhas e Baterias de Equipamentos Eletroeletrônicos Portáteis.** 2015. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RIEKSTI, Ana Carolina. **ISO 14.001 e a sustentabilidade.** A eficácia do instrumento no alcance do desenvolvimento sustentável. Disponível em: <<http://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?p=212>>. Acesso em: maio/2019.

RODRIGUES, G. V. da S. **Tecnologia: A importância da Logística Reversa no dia a dia dos portos.** Informativo dos portos. 2015. Disponível em: <<http://www.informativodosportos.com.br/tecnologia-a-importancia-da-logistica-reversa-no-dia-a-dia-dos-portos/>>. Acesso em: maio/2019.

SCHWAB, K., DAVIS, N. **Aplicando a quarta revolução industrial**, edipro, 2018.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais.** 6. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2008. 576 p.

SOARES, Márcio R. F. **Materiais compósitos aspectos gerais e aplicações.** Prof. Universidade de Caxias do Sul. 2017. Disponível em:

<<https://www.ucsminhaescolha.com.br/site/midia/arquivos/05-12-17-materiais-compositos-e-aplicacoes1.pdf>>. Acesso em: abril/2019.

SOARES. T. F., **Reciclagem do vidro para embalagens de alimentos e bebidas como etapa do Sistema de Gestão Ambiental**. 2018. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

TERA. **Tratamento de Efluentes e Reciclagem Agrícola**. 2018. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/empresas-deverao-realizar-logistica-reversa-para-obter-licenca-ambiental-em-sao-paulo>>. Acesso em: maio/2019.