

Medidas de Produção Mais Limpa para indústria de produtos químicos

Juliani de Souza Paulo, Pamela Tainá Schleger, Nathannael Victor Santos Cutrim e Juliana Ferreira Soares*

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária. Centro de Ciências Agroveterinárias. Av. Luiz de Camões, 2090. Lages-SC, Brasil (CEP 88520-000). *E-mail: juliana.soares@udesc.br.

Resumo. A Produção Mais Limpa (P+L) é uma ferramenta de gestão ambiental que contribui à promoção de processos produtivos menos nocivos para o meio ambiente, gerando benefícios como o aumento do desempenho ambiental e a economia de recursos financeiros às empresas. O diferencial desse programa está na atuação preventiva, que ocorre por meio do gerenciamento de emissões atmosféricas, efluentes e resíduos na fonte, de modo a minimizar a necessidade de soluções remediadoras. Nesse sentido, o propósito deste estudo foi propor medidas de P+L para uma indústria de produtos químicos. Para sua elaboração foram realizadas entrevistas, com aplicação de questionário com o diretor geral e o profissional responsável pelos processos produtivos da empresa, e visita *in loco*, com aplicação de *checklist* para diagnóstico da situação ambiental da indústria de produtos químicos. Os dados coletados e as observações realizadas contribuíram para a definição do foco das medidas de P+L, que foi o gerenciamento de resíduos sólidos. As principais medidas propostas foram: educação ambiental dos colaboradores, implantação de lixeiras de coleta seletiva, segregação e destinação adequada dos resíduos e rejeitos gerados na empresa, realização da compostagem de resíduos orgânicos, alterações de práticas/processos para não geração de resíduos sólidos e substituição de materiais, reutilização e reciclagem de papel e recipientes plásticos, e comercialização de subprodutos do processo produtivo e produtos inutilizados na empresa. A realização deste estudo possibilitou compreender que a P+L não somente pode contribuir à sustentabilidade da empresa, como pode fomentar o aperfeiçoamento dos processos produtivos e a redução de custos operacionais, além de propiciar um ambiente laboral mais seguro e fortalecer a posição da empresa no mercado.

Palavras-chave: Gestão ambiental; Resíduos Sólidos; Sustentabilidade.

Recebido
21/02/2025

Aceito
27/04/2025

Publicado
30/04/2025



Acesso aberto



ORCID

0009-0007-3092-4270
Juliani de Souza Paulo

0009-0006-3181-245X
Pamela Tainá Schleger

0009-0006-8504-2526
Nathannael Victor
Santos Cutrim

0000-0003-4687-1875
Juliana Ferreira Soares

Abstract. *Cleaner production practices for a chemical product industry.* Cleaner Production (CP) is an environmental management tool that contributes to the promotion of less harmful production processes for the environment, generating benefits such as improved environmental performance and financial resource savings for companies. The distinctive feature of this program lies in its preventive approach, which is achieved through the management of atmospheric emissions, effluents, and waste at the source, thereby minimizing the need for remedial solutions. In this context, the purpose of this study was to propose CP practices for a chemical products industry. For its development, interviews were conducted with the application of a questionnaire to the general director and the professional responsible for the production processes of the company, as well as an on-site visit with the application of a checklist to diagnose the environmental situation of the chemical products industry. The collected data and observations contributed to defining the focus of the CP practices, which was solid waste management. The main proposed measures included environmental education for employees, implementation of selective collection bins, segregation and proper disposal of waste and by-products generated by the company, composting of organic waste, changes in practices/processes to avoid the generation of solid waste, substitution of materials, reuse and recycling of paper and plastic containers, and commercialization of by-products from the production process and unused products in the company. This study made it possible to understand that CP can not only contribute to the company's sustainability but also foster the improvement of production processes and the reduction of operational costs, in addition to providing a safer work environment and strengthening the company's market position.

Keywords: Environmental management; Solid waste; Sustainability.

Introdução

O assunto desenvolvimento sustentável se encontra em ascensão nos dias atuais, o que reflete a crescente conscientização social sobre a capacidade limitada do Planeta de suportar as pressões antropogênicas, que cresceram expressivamente após a industrialização. O setor industrial contribui de maneira considerável à economia mundial, entretanto, seus processos causam significativos efeitos adversos no meio ambiente (Huang et al., 2013; Jia et al., 2014; Silvestre e Silva Neto, 2014; Santos et al., 2022). Diante desse contexto e da crescente pressão social e governamental sobre as questões ambientais industriais, a gestão empresarial deixou de focar exclusivamente na questão econômica e passou a considerar o aspecto ambiental das operações (Radonjić e Tominc, 2007; Santos et al., 2022).

Nesse sentido, a Produção Mais Limpa (P+L) apresenta-se como uma ferramenta para a promoção de processos produtivos menos poluentes, visto que é uma prática que reduz os impactos das atividades industriais no meio ambiente por meio da gestão dos riscos ambientais associados a elas (Khalili et al., 2015; Santos et al., 2022; Machado

Murgueytio et al., 2025; Wengratt et al., 2025). Conforme o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1996), a P+L pode ser definida como a contínua aplicação de estratégia preventiva e integrada nos processos visando o aumento da eficiência e a redução dos riscos ambientais, colaborando para que as indústrias alcancem os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) ODS 9 “Indústria, inovação e infraestrutura” e ODS 12 “Consumo e produção responsáveis”, por exemplo (UNEP, 1996; Tseng et al., 2009; ONU, 2015).

A P+L é amplamente reconhecida por promover a produção industrial sustentável, o que ocorre como resultado do gerenciamento do desperdício e da poluição desde a fonte, em sucessão a metodologia de tratamento e controle desses no final do processo produtivo (Tseng et al., 2009). Ainda, o programa oferece uma série de benefícios às indústrias em razão do aprimoramento no uso de recursos e da substituição de matérias-primas, da redução dos custos operacionais e do aumento do desempenho econômico, da otimização das condições de saúde e segurança laboral e do posicionamento da empresa perante o mercado (Lopes Silva et al., 2013a; Gonçalves Filho et al., 2018).

Apesar disso, a aplicação da P+L comumente é limitada às grandes companhias, o que é evidenciado pelas poucas oportunidades de implementação em empresas de micro, pequeno e médio porte relatadas pela literatura (Machado et al., 2021; Santos et al., 2022). Tal afirmativa é corroborada pelos resultados observados por Severo et al. (2017), que verificaram correlação positiva entre o tamanho da empresa e a facilidade de implementação da P+L. A razão da restrição da aplicação da P+L nas grandes companhias está na maior capacidade dessas de investir recursos financeiros em práticas relacionadas à ferramenta (Severo et al., 2017).

Entre os motivos que explicam a reduzida aplicação da P+L, especialmente nas empresas de micro, pequeno e médio porte, estão a incerteza dos gestores sobre os benefícios da adoção de práticas relacionadas à ferramenta; a restrição da responsabilidade pelas ações de P+L no setor de meio ambiente; a descontinuidade das práticas relativas à ferramenta, que são implementadas, mas não são monitoradas, revisadas e estendidas; e o escasso entusiasmo pelas questões ambientais nas empresas, que consideram a temática como custo adicional (Lopes Silva et al., 2013b; Khalili et al., 2015; Oliveira Neto et al., 2016).

Neste contexto, este estudo foi realizado com o propósito de elaborar medidas de P+L para uma indústria de produtos químicos, que tem como atividade principal a produção de sulfato de alumínio. Assim, é esperado que as medidas propostas contribuam à redução dos custos operacionais e a prevenção dos efeitos adversos causados por este tipo de indústria no meio ambiente, e que o estudo contribua à literatura da aplicação da P+L em micro, pequenas e médias empresas.

Metodologia

A realização desse estudo é subsidiada pela compreensão da estrutura e dos processos produtivos realizados na empresa, pelo diagnóstico da situação ambiental e dos aspectos e impactos ambientais de cada setor/atividade e pela identificação das causas da geração de resíduos sólidos, escolhido como foco das medidas de P+L.

Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado em uma indústria de produtos químicos, considerada de médio porte. A empresa produz e comercializa sulfato de alumínio (sólido e líquido), sulfato de alumínio ferroso (sólido e líquido), policloreto de alumínio (PAC), aluminato e ortopolifosfato. Os valores de produção mensal de cada produto pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade mensal dos produtos produzidos pela empresa.

Produto	Quantidade
Sulfato de alumínio + Sulfato de alumínio ferroso	4.000 t/mês
PAC	1.400 t/mês
Aluminato	10 t/mês
Ortopolifosfato	2 t/mês

Adicionalmente, a empresa comercializa produtos como ácido sulfúrico, ácido clorídrico, hidróxido de sódio, cal hidratada, cal em suspensão, barrilha leve e densa, e soda líquida e em escama. Cabe citar que as barrilhas e a soda em escama provém de fora do país e que os produtos supracitados são comercializados em todo território nacional.

Elaboração de propostas de P+L

Este estudo foi conduzido de acordo com a metodologia proposta pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (SENAI-RS, 2003a), que determina que o programa de implementação de P+L deve seguir cinco etapas, que são: 1) formação do ecotime; 2) estudo do fluxograma do processo produtivo, realização do diagnóstico ambiental e de processo e a seleção do foco de avaliação; 3) elaboração do balanço de material e estabelecimento de indicadores, identificação das causas da geração de resíduos e identificação de opções de P+L; 4) avaliação técnica, ambiental e econômica e seleção de oportunidades viáveis; e 5) plano de implementação e monitoramento e plano de continuidade (SENAI-RS, 2003b).

Considerando que o escopo deste estudo engloba a elaboração de medidas de P+L, foram realizadas apenas as etapas 2 e 3 da metodologia. Adicionalmente, deve ser esclarecido que a finalidade do estudo é científica, não representando a decisão da empresa na implementação do programa de P+L.

Fluxograma do processo produtivo, diagnóstico ambiental e de processo e seleção do foco de avaliação

De acordo com o SENAI-RS (2003b), a segunda etapa para implementação do programa de P+L consiste no estudo do fluxograma do processo produtivo, na realização do diagnóstico ambiental e de processo e na seleção do foco de avaliação. O estudo do fluxograma permite visualizar o fluxo qualitativo de matéria-prima, água e energia e conhecer os resíduos, os efluentes e as emissões resultantes do processo produtivo. A Figura 1 apresenta o modelo de fluxograma qualitativo do processo produtivo utilizado como base para este estudo. As etapas 1, 2 e 3 do fluxograma correspondem a cada fase do processo produtivo. Diante disso, é possível obter os dados necessários para a formulação de estratégias de minimização da geração de resíduos, efluentes e emissões.

Após a elaboração do fluxograma, foi realizado o diagnóstico do processo produtivo, com base em dados quantitativos relacionadas às entradas (matérias primas, água, energia e insumos) e saídas (resíduos, efluentes, emissões, subprodutos e produtos), e da situação ambiental da empresa. Complementarmente, foram coletados dados sobre a estocagem, o acondicionamento e o armazenamento de substâncias. Ainda, foi realizado o levantamento dos aspectos e impactos ambientais nas diferentes atividades da empresa. A partir desses dados, das informações coletadas por meio de entrevista com o profissional responsável pelos processos produtivos da empresa e das observações realizadas durante visita *in loco* com aplicação de *checklist*, foi selecionado o foco de trabalho.

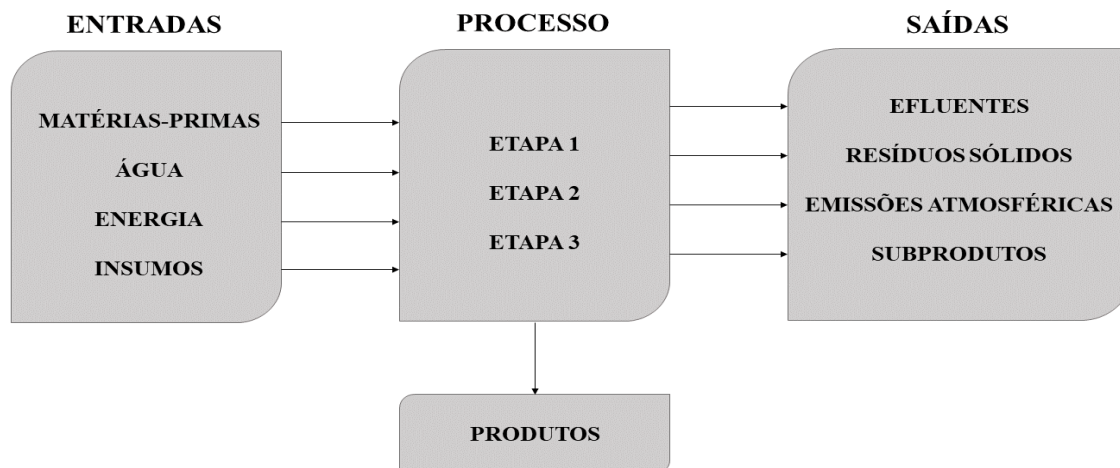


Figura 1. Modelo de fluxograma qualitativo do processo produtivo. Fonte: Adaptado de SENAI-RS (2003b).

Balanco de material, definição dos indicadores, causas da geração do aspecto ambiental e oportunidades de P+L

Conforme o SENAI-RS (2003b), a terceira etapa para implementação do programa de P+L é composta pelo balanço de material, estabelecimento dos indicadores, identificação das causas da geração do aspecto ambiental foco de trabalho e diagnóstico das oportunidades de P+L. O balanço de material refere-se a detalhada análise quantitativa das entradas e saídas das etapas do processo produtivo. Similar a etapa anterior, os dados necessários para a elaboração deste foram obtidos por meio de entrevista e das observações realizadas durante visita *in loco*.

A definição dos indicadores é de extrema importância, visto que permite mensurar a eficiência da metodologia empregada e acompanhar como estão sendo desenvolvidas as medidas de P+L. Assim, foram estabelecidos indicadores que podem ser utilizados pela empresa para a verificação da eficiência das medidas de P+L propostas.

A partir dos dados levantados no balanço de material (quantificação de entradas e saídas) e das informações obtidas na visita *in loco*, foram diagnosticadas as causas da geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas na empresa. Após a análise dos registros, foram propostas medidas de P+L para o aspecto ambiental foco de trabalho, considerando os níveis de prioridade estabelecidos pelo SENAI-RS (2003b). Assim, as medidas foram propostas com a finalidade de eliminar ou minimizar a geração de resíduos e emissões no processo produtivo, porém, caso não fosse possível a eliminação ou a minimização desses, foram propostas medidas de reciclagem interna ou externa.

Resultados e discussão

Fluxograma do processo produtivo

A partir das informações coletadas na entrevista, foram elaborados os fluxogramas dos processos produtivos do sulfato de alumínio (líquido e sólido), do sulfato de alumínio ferroso (líquido e sólido) e do PAC. Cabe citar que para a produção do sulfato de alumínio e do PAC é utilizado hidróxido de alumínio (conhecido como hidrato), que é adquirido de empresa terceirizada.

Na produção do sulfato de alumínio líquido, as matérias-primas (água, ácido sulfúrico e hidróxido de alumínio) são dispostas no reator e misturadas por agitadores. A reação do hidróxido de alumínio com o ácido sulfúrico resulta na formação do sulfato de alumínio, que é o produto final, e água. O produto final é encaminhado para o depósito,

onde fica armazenado em tanques de estocagem. Nesse processo existem saídas, como emissões atmosféricas e vapor de água, para as quais não existe tratamento antes de serem lançadas na atmosfera. A Figura 2 apresenta as entradas e saídas do processo de produção do sulfato de alumínio líquido.

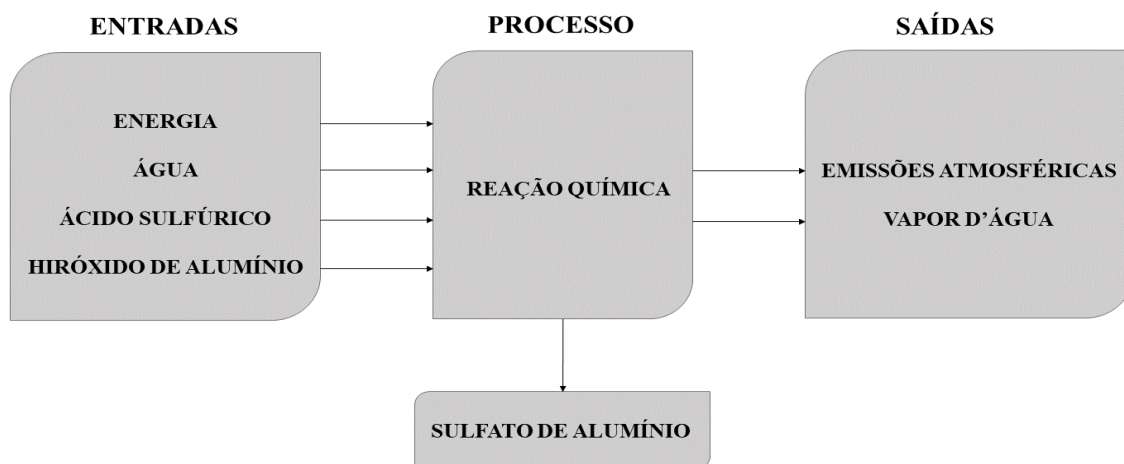


Figura 2. Fluxograma do processo produtivo do sulfato de alumínio (líquido).

A produção de sulfato de alumínio ferroso líquido ocorre por meio da reação do ácido sulfúrico com a bauxita. Essas substâncias são dispostas no reator, onde é adicionado água e misturadas por agitadores. O produto final é armazenado em tanques de estocagem no depósito da empresa. Nesse processo ocorrem emissões atmosféricas e vapor de água, para as quais não existe tratamento antes de serem lançadas na atmosfera. Além disso, há geração de resíduo líquido, a lama de bauxita, que é encaminhado à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da empresa. Na ETE, a lama de bauxita recebe polímero, que possibilita a ocorrência do processo de floculação para separação da parte sólida e líquida que lhe compõem. A parte sólida passa por filtro prensa e é armazenada em caçambas para destinação final em aterro sanitário. A parte líquida, chamada de água sulfatada, retorna para o processo de produção de sulfato de alumínio ferroso. A Figura 3 mostra as entradas e saídas do processo de produção do sulfato de alumínio ferroso líquido.

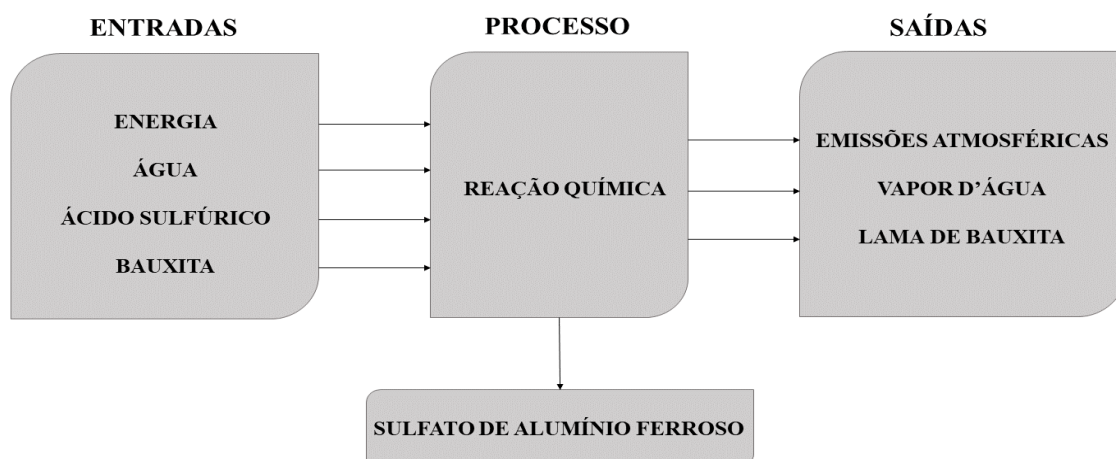


Figura 3. Fluxograma do processo produtivo do sulfato de alumínio ferroso (líquido).

A produção de sulfato de alumínio e sulfato de alumínio ferroso em fase sólida, é iniciada com a produção dessas substâncias em fase líquida. Na sequência, as substâncias líquidas são encaminhadas para o cristalizador, onde são secas e se tornam grânulos. Os grânulos são encaminhados para o processo de moagem e o produto final é ensacado e armazenado em embalagens de rafia no depósito da empresa. Esse processo resulta em emissões atmosféricas, vapor d'água e lama de bauxita. A Figura 4 mostra as entradas e saídas do processo de produção do sulfato de alumínio e sulfato de alumínio ferroso em fase sólida.

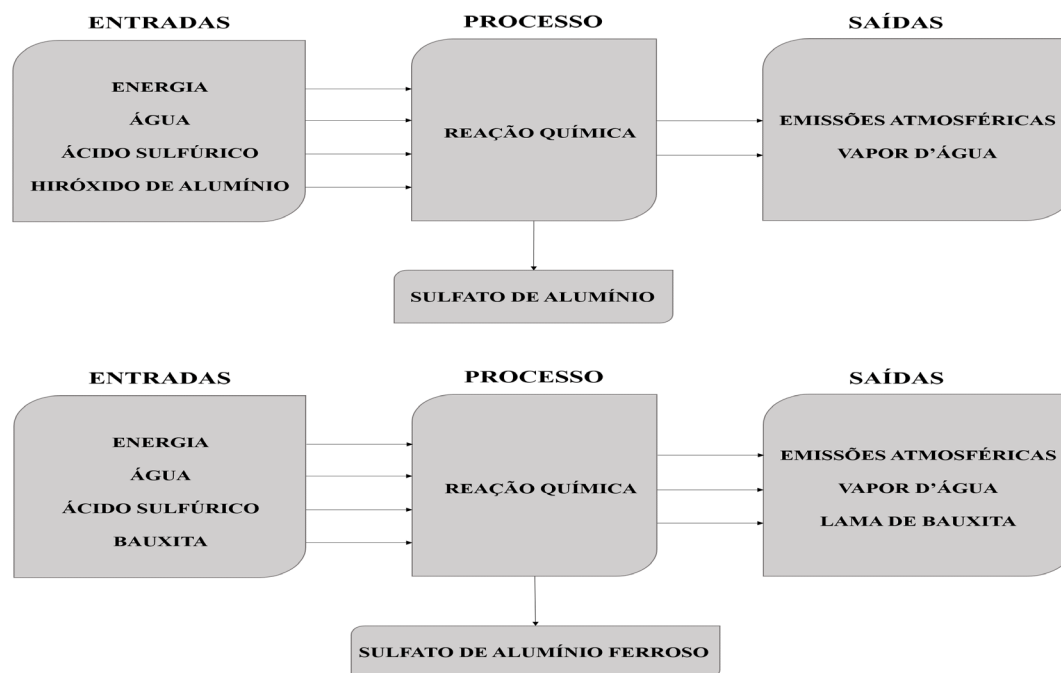


Figura 4. Fluxograma do processo produtivo do sulfato de alumínio e do sulfato de alumínio ferroso (sólido).

Na produção do PAC (Figura 5) é utilizado água, ácido clorídrico e hidróxido de alumínio. O processo é iniciado com a homogeneização das matérias-primas em tanque de pré-mistura. Após, a substância é encaminhada para o reator, aquecido com fluido térmico até aproximadamente 170 °C, para a ocorrência da reação química do ácido sulfúrico com o hidróxido de alumínio. Na sequência, a substância resultante passa pelo trocador de calor, para redução da sua temperatura, e é encaminhada para o processo de filtragem. Por fim, o produto é destinado para o tanque onde sua concentração é ajustada por meio da adição de água, e após ser filtrado novamente, é armazenado em tanques de estocagem no depósito de empresa. Nesse processo, ocorre a geração de resíduo sólido, a chamada torta de hidrato, que é inserida como insumo no processo produtivo, devido à elevada concentração de alumínio. Ainda, há geração de emissões atmosféricas, que são tratadas antes de serem lançadas.

Diagnóstico ambiental e de processo

A visita *in loco* possibilitou a realização de entrevista com o diretor geral da indústria química, onde foram efetuados questionamentos sobre gestão ambiental, P+L e a aquisição de esclarecimentos sobre questões ambientais. As respostas fornecidas pelo

entrevistado permitiu verificar que a empresa preocupa-se com as questões ambientais inerentes à sua operação, que é corroborado pela aplicação de algumas iniciativas de gestão ambiental, como a reutilização de efluentes e subprodutos no processo produtivo. Apesar disso, a empresa que nunca foi multada pelo órgão ambiental e possui licença ambiental válida, não possui sistema de gestão ambiental estruturado. Negando conhecer o programa de P+L, o diretor geral demonstrou entusiasmo pelo assunto e pela possibilidade de aplicação das medidas na sua empresa, declarando interesse em aprimorar o processo produtivo e em realizar mais investimentos em programas ambientais.

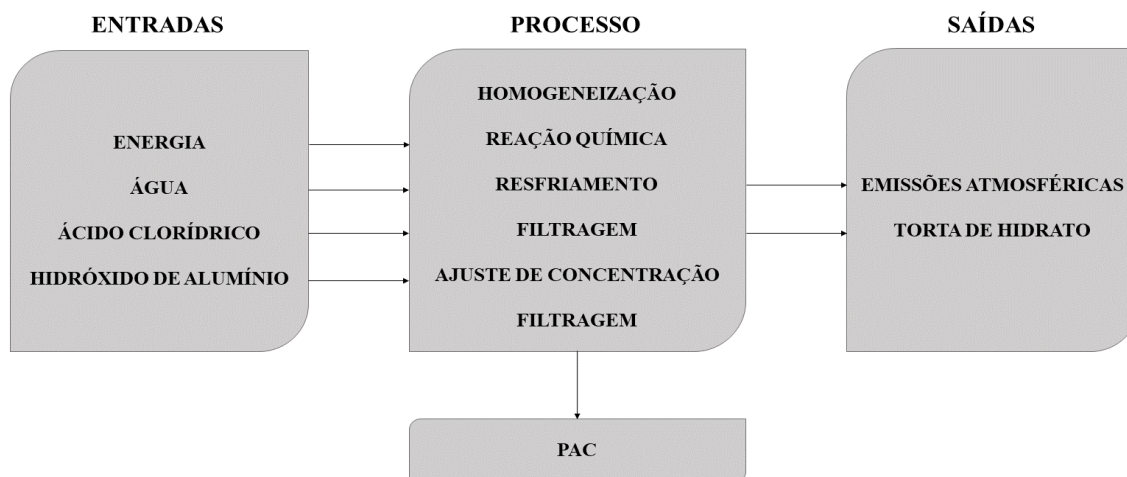


Figura 5. Fluxograma do processo produtivo do PAC.

Ainda, o entrevistado comentou que a empresa possui laboratório próprio para controle da qualidade das matérias-primas e produtos fabricados e comercializados e que essa possui certificação em qualidade (ABNT NBR ISO 9001). Além disso, ciente da necessidade da indústria química ser segura às pessoas que nela laboram, a empresa fornece Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) e conta com uma técnica em segurança do trabalho para atender as diretrizes da Norma Regulamentadora (NR) 12, que trata de segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.

A respeito do abastecimento de energia elétrica, a empresa conta com serviço de fornecimento externo, realizado por empresas privadas. O consumo médio mensal no período de estudo foi de 370 kWh e o setor de produção do sulfato de alumínio foi classificado como maior consumidor de energia elétrica da empresa. As máquinas que mais consomem energia elétrica são os moinhos de sulfato de alumínio e bauxita e os reatores do PAC, porém a empresa não contabiliza separadamente a quantidade consumida por essas máquinas. As fontes de abastecimento de água são poço artesiano e açude. A água do açude necessita ser bombeada até a empresa e seu uso é restrito ao processo produtivo. Os demais usos, como dos setores de laboratório, escritório, refeitório e banheiros, são atendidos pela água do poço artesiano.

Os resíduos sólidos gerados pelos setores e atividades da empresa incluem orgânicos, recicláveis, perigosos e rejeitos. A atividade que mais gera resíduos é a produção de sulfato de alumínio ferroso, que resulta na lama de bauxita, a qual é destinada para aterro sanitário. A visita *in loco* permitiu verificar que os resíduos não são segregados corretamente. Em relação aos efluentes, a empresa gera tanto efluente sanitário quanto efluente industrial. O efluente sanitário é destinado à fossa séptica da empresa e o efluente industrial é encaminhado para a ETE, onde passa por pré-tratamento para separação da

parte sólida e líquida. A parte líquida, chamada de água sulfatada, retorna para o processo produtivo e a parte sólida, chamada de lama de bauxita, é destinada para aterro sanitário, conforme mencionado.

No depósito existem muros de contenção para possíveis vazamentos dos produtos químicos armazenados nos tanques. Além disso, há canaletas que direcionam o fluxo dos possíveis vazamentos e a água residual da limpeza de filtros e tanques para a lagoa química da empresa, que fica a céu aberto. Quanto às emissões atmosféricas, o profissional responsável pelos processos produtivos da empresa confirmou a ocorrência e informou que as principais são material particulado, proveniente do processo de secagem e moagem da bauxita, e o Cl_2 , proveniente da produção do PAC.

Identificação dos aspectos e impactos ambientais

Os aspectos e impactos ambientais foram levantados para cada setor/atividade da empresa por meio das informações coletadas na entrevista e na visita *in loco*, e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Aspectos e impactos ambientais verificados em cada setor/atividade da empresa.

Setor/Atividade	Aspecto	Impacto
Produção do sulfato de alumínio (líquido)	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de ácido sulfúrico	Esgotamento de recursos naturais não renováveis
		Degradação da qualidade do ar
	Consumo de hidróxido de alumínio	Esgotamento de recursos naturais não renováveis
	Emissão de gases	Degradação da qualidade do ar
	Emissão de vapor d'água	Alteração da qualidade do ar
Produção do sulfato de alumínio ferroso (líquido)	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de ácido sulfúrico	Esgotamento de recursos naturais não renováveis
		Degradação da qualidade do ar
	Consumo de bauxita	Esgotamento de recursos naturais não renováveis
	Emissão de gases	Degradação da qualidade do ar
	Emissão de vapor d'água	Alteração da qualidade do ar
	Geração de resíduo (lama de bauxita)	Degradação da qualidade do solo e da água
Produção do sulfato de alumínio e do sulfato de alumínio ferroso (sólidos)	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de ácido sulfúrico	Esgotamento de recursos naturais não renováveis; Degradação da qualidade do ar
	Consumo de hidrato e bauxita	Esgotamento de recursos naturais não renováveis
	Emissão de gases	Degradação da qualidade do ar
	Emissão de vapor d'água	Alteração da qualidade do ar
	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
Produção do PAC	Consumo de ácido clorídrico	Esgotamento de recursos naturais não renováveis; Degradação da qualidade do ar
	Consumo de hidróxido de alumínio	Esgotamento de recursos naturais não renováveis
	Emissão de gases	Degradação da qualidade do ar
	Geração de resíduo (torta de hidrato)	Degradação da qualidade do solo e da água

Tabela 2. Continuação.

Setor/Atividade	Aspecto	Impacto
Escritório (administração)	Consumo de energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de papel	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Consumo de tinta para impressora	Esgotamento de recursos naturais
	Consumo de canetas	Esgotamento de recursos naturais
	Consumo de álcool	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Geração de resíduo comum	Degradação da qualidade do solo e da água
Banheiros	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de papel (higiênico e toalha)	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Consumo de sabão	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Geração de efluente sanitário	Degradação da qualidade do solo e da água
	Geração de resíduo comum	Degradação da qualidade do solo e da água; Redução da vida útil dos aterros
Refeitório	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de papel	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Consumo de copo plástico descartável	Utilização de recursos naturais não renováveis
	Geração de resíduo (recicláveis e orgânicos) e rejeito	Alteração da qualidade do solo e da água; Redução da vida útil dos aterros
	Consumo de detergente	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Geração de efluente sanitário	Degradação da qualidade do solo e da água
	Consumo de produtos de limpeza	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Consumo de alimentos	Utilização de recursos naturais
Laboratório - Análise de qualidade das matérias-primas e dos produtos	Consumo de água e energia	Utilização de recursos naturais
	Consumo de papel e detergente	Utilização e esgotamento de recursos naturais
	Consumo de reagentes químicos	Esgotamento de recursos naturais; Risco de acidente envolvendo laboratoristas
	Utilização de vidrarias (béquer, erlenmeyer, entre outros)	Risco de acidente envolvendo laboratoristas
	Geração de resíduos comuns e perigosos	Degradação da qualidade do ar, do solo e da água; Risco de acidente envolvendo laboratoristas

Tabela 2. Continuação.

Setor/Atividade	Aspecto	Impacto
Depósito de matérias-primas	Estocagem das matérias-primas necessárias nos processos produtivos	Risco de vazamentos; Degradação da qualidade do ar, do solo e da água
	Estocagem de embalagens	Degradação da qualidade do solo e da água
	Estocagem de produtos para comercialização	Risco de vazamentos; Degradação da qualidade do ar, do solo e da água
Depósito de resíduos	Utilização de embalagens plásticas para armazenamento (bombonas)	Utilização de recursos naturais não renováveis
	Estocagem de resíduos perigosos	Risco de vazamentos; Degradação da qualidade do ar, do solo e da água
Pátio da empresa	Entulhos descartados	Proliferação de vetores nocivos à saúde; Degradação do solo; Poluição visual
	Bombonas e embalagens de plástico descartadas no pátio	Proliferação de vetores nocivos à saúde; Degradação do solo; Poluição visual
	Tanques velhos descartados no pátio	Proliferação de vetores nocivos à saúde; Poluição visual

Analisando os dados apresentados, é possível afirmar que as atividades que mais geram efeitos negativos no meio ambiente na empresa são os processos de produção de sulfato de alumínio, sulfato de alumínio ferroso e PAC, que se deve à degradação da qualidade do ar, por meio do lançamento de gases e vapor d'água. Diante desse contexto, cabe ressaltar que, no processo de produção do sulfato de alumínio, os gases gerados não são tratados antes de serem lançados na atmosfera.

Em contrapartida, setores como refeitório, escritório e banheiros foram classificados como menos impactantes para o meio ambiente. O escritório gera efeitos adversos em razão da utilização e do esgotamento de recursos naturais, que se dá pelo consumo de canetas, papel e tinta para impressora, e o refeitório, além da utilização de recursos naturais, contribui à redução da vida útil dos aterros sanitários e à degradação da qualidade do solo, por meio da geração de resíduos orgânicos e rejeitos.

Nos banheiros, os impactos ambientais estão relacionados à utilização de recursos naturais, decorrente do consumo de água e de energia, e à degradação do solo e da água, devido à geração de efluentes sanitários. Além disso, a geração de resíduo comum resulta na redução da vida útil dos aterros sanitários, quando os resíduos são para lá destinados. No laboratório, existem impactos como utilização de recursos naturais e riscos para os laboratoristas, em razão do manuseio de substâncias químicas, além do impacto da degradação da qualidade do ar, do solo e da água, proveniente da geração de resíduos comuns e perigosos.

O setor de depósito de matérias-primas gera impactos como riscos de vazamentos dos produtos químicos armazenados no local e degradação da qualidade do solo, do ar e da água devido a estocagem de produtos e embalagens. No depósito de resíduos são identificados impactos relacionados à utilização de recursos naturais não renováveis, o que ocorre em razão do uso de embalagens de plástico, e riscos de vazamentos dos produtos químicos, causado pela estocagem de resíduos perigosos.

Em virtude da criticidade da situação verificada por meio da visita *in loco*, o setor do pátio da empresa foi criado. Nesse, há resíduos descartados de forma inadequada, o que gera impactos como poluição visual, proliferação de vetores e degradação do solo.

Em todos os setores da empresa foi identificado impacto referente à utilização de recursos naturais, pois para todas as atividades é necessário a utilização de água e energia. Diante disso, cabe ressaltar a importância dos programas de educação ambiental, que contribuem à conscientização sobre a necessidade de consumir esses recursos de forma sustentável.

Seleção do foco de avaliação

A realização das etapas anteriores possibilitou verificar que a questão ambiental mais crítica é o gerenciamento de resíduos sólidos, o qual foi escolhido como foco das medidas de P+L desse estudo. Nesse sentido, cabe citar a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece responsabilidades para os geradores e se apresenta como um instrumento imprescindível na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos em todos os setores da sociedade (Brasil, 2010).

Balanço de material

Após definir o gerenciamento de resíduos sólidos como foco de avaliação, foi realizado o balanço de material, ou seja, a quantificação detalhada das entradas e saídas dos processos produtivos da empresa. A Tabela 3 permite verificar que a empresa quantifica apenas a geração de lama de bauxita, que representa um desafio à implementação da P+L.

Tabela 3. Quantificação das entradas e saídas dos produtos mais fabricados na empresa.

Produto	Entrada	Quantidade média/mês	Saída	Quantidade média/mês
Sulfato de alumínio/ Sulfato de alumínio ferroso	Ácido sulfúrico	900 t	Lama de bauxita	30 t
	Água	4.000 m ³		
	Bauxita	300 t		
	Hidróxido de alumínio	250 t		
Policloreto de alumínio (PAC)	Ácido clorídrico	900 t	Torta de hidrato	-
	Hidróxido de alumínio	150 t		
	Água	500 m ³		

As observações realizadas durante visita *in loco* possibilitaram verificar que os resíduos sólidos gerados na empresa não são segregados nas lixeiras. Ainda foram visualizados resíduos, como entulhos, bombonas e embalagens plásticas, tanques e ferro velhos descartados a céu aberto, que pode resultar em diversos efeitos negativos para o meio ambiente e à saúde pública, como degradação do solo, proliferação de vetores e poluição visual.

Convém citar que o papelão e os recipientes plásticos são os únicos resíduos recicláveis separados pela empresa e destinados à recicladora, e que tanto os resíduos comuns quanto os resíduos orgânicos gerados na empresa são destinados à coleta municipal. Os resíduos sólidos armazenados no depósito de resíduos são destinados para o aterro sanitário.

Identificação das causas da geração de resíduos sólidos

As informações coletadas por meio de entrevista e as observações realizadas durante visita *in loco* permitiram identificar as causas da geração de resíduos sólidos em cada setor/atividade da empresa, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Resíduos gerados em cada setor/atividade da empresa.

Setor/Atividade	Resíduo gerado
Produção de sulfato de alumínio (líquido)	-
Produção de sulfato de alumínio (sólido)	-
Produção de sulfato de alumínio ferroso (líquido)	Lama de bauxita
Produção de sulfato de alumínio ferroso (sólido)	-
Produção de policloreto de alumínio	Torta de hidrato
Escritório (administração)	Papel, embalagens recicláveis, copos descartáveis, canetas, cartucho de impressora e rejeito
Banheiros	Resíduo comum
Refeitório	Restos de alimentos, embalagens recicláveis, copos descartáveis e rejeito
Laboratório - Análise de qualidade das matérias-primas e dos produtos	Vidros, químicos orgânicos, químicos inorgânicos e rejeito
Depósito de matérias-primas	Embalagens
Depósito de resíduos	Embalagens, bombonas
Pátio da empresa	Entulhos, bombonas, tanques, ferros velhos, embalagens plásticas

É possível verificar que os resíduos recicláveis são gerados, principalmente, no escritório, no refeitório e nos depósitos, e os resíduos orgânicos são gerados no refeitório. No laboratório ocorre geração de resíduos comuns e químicos, e nos setores produtivos há geração de resíduos, como a lama de bauxita e a torta de hidrato. Além disso, no pátio da empresa havia resíduos descritos anteriormente. A partir desse diagnóstico é possível definir quais medidas podem ser aplicadas e formular propostas de reciclagem interna ou externa, o que deve subsidiar o gerenciamento e o descarte correto dos resíduos sólidos.

Identificação das opções de P+L e estabelecimento de indicadores

Diante dos dados apresentados e das instruções do SENAI-RS (2003b) sobre os níveis de prioridade para determinação das práticas de P+L, foram elencadas algumas medidas com o propósito de evitar ou minimizar os efeitos adversos resultantes do gerenciamento de resíduos sólidos na indústria química em questão (Tabela 5). Adicionalmente, as medidas propostas devem auxiliar a empresa na redução dos custos com a destinação dos resíduos sólidos, na prevenção de multas ambientais e no aprimoramento do ambiente de trabalho e da imagem da empresa. Complementarmente, a Tabela 5 apresenta medidas de P+L para consumo de água e energia, visto que esses aspectos estão presentes em todos os setores/atividades da empresa, e os indicadores que devem ser utilizado para monitorar a eficácia das práticas sugeridas.

Tabela 5. Oportunidades de P+L para aplicação na indústria química em questão.

Aspecto	Oportunidade de P+L	Indicador
Resíduos sólidos (todos)	Treinamento e palestras para os colaboradores realizarem a separação correta dos diferentes tipos de resíduos gerados na empresa. Contratação de empresas especializadas para coleta dos resíduos gerados. Instalação de lixeiras para coleta seletiva pelos setores/atividades da empresa.	Quantidade de resíduos sólidos destinados para o aterro sanitário.
Resíduos sólidos recicláveis	Separação dos materiais recicláveis dos demais resíduos nas próprias fontes geradoras. Estabelecimento de parceria com cooperativa de catadores para coleta e tratamento adequado dos resíduos sólidos.	Quantidade de resíduos recicláveis destinados para o aterro sanitário.
Resíduos orgânicos	Construção ou compra de composteira para os resíduos orgânicos do refeitório e execução de horta ecológica.	Quantidade de resíduos orgânicos destinados para o aterro sanitário.
Resíduos sólidos recicláveis (copo plástico)	Substituição dos copos plásticos por copos reutilizáveis no refeitório.	Quantidade de copos plásticos utilizados ou quantidade de resíduos de copos plásticos destinados para o aterro sanitário.
Resíduos sólidos recicláveis (bombonas)	Descontaminação e reciclagem das bombonas plásticas, ou seja, destinação para cooperativa de catadores para coleta e tratamento adequado. Uso ou doação de bombonas para captação de água da chuva.	Quantidade de bombonas expostas a céu aberto no pátio da empresa.
Resíduos sólidos recicláveis (papel)	Utilização de documentos digitalizados no lugar de documentos impressos. Configuração da impressora para impressão frente e verso. Emissão de notas fiscais eletrônicas. Estímulo para os funcionários reutilizarem papéis como rascunho. Treinamento e palestras para conscientização dos funcionários sobre a necessidade de redução do consumo de papel. Separação dos resíduos de papéis e destinação para cooperativa de catadores.	Quantidade de papel consumido. Quantidade de resíduos de papel destinados para o aterro sanitário. Redução do custo de impressão.

Tabela 5. Continuação.

Aspecto	Oportunidade de P+L	Indicador
Resíduo sólido (lama de bauxita)	Venda da lama de bauxita para confecção de tijolos, telhas, cerâmicas ou cimentos especiais.	Quantidade de lama de bauxita destinada para o aterro sanitário
Resíduos sólidos (tanques velhos)	Venda dos tanques velhos para indústria que fabrica e vende equipamentos usados.	Quantidade de tanques sem utilidade descartados no pátio da empresa
Resíduos sólidos (ferros velhos)	Venda ou doação dos ferros velhos para empresa especializada.	Quantidade de ferros velhos descartados no pátio da empresa
Resíduos sólidos (entulhos)	Contratação de empresa especializada para coleta, separação e destinação adequada dos entulhos.	Quantidade de entulhos expostos no pátio da empresa
Resíduos sólidos recicláveis (embalagens descartadas no pátio)	Destinação para cooperativa de catadores para tratamento e destinação final adequada.	Quantidade de embalagens plásticas jogadas no pátio da empresa
Consumo de água	Treinamentos e palestras para conscientização dos funcionários sobre a necessidade de redução do consumo.	Quantidade de água consumida
Consumo de energia	Instalação de placas solares. Manutenção periódica das máquinas. Substituições dos moinhos do sulfato de alumínio e do reator do PAC por máquinas mais novas e eficientes, ou seja, que consomem menos energia.	Quantidade de energia consumida

Conclusões

Esse estudo possibilitou conhecer os processos produtivos do sulfato de alumínio (líquido e sólido), sulfato de alumínio ferroso (líquido e sólido) e do PAC, além dos aspectos e impactos ambientais intrínsecos à esses. Ainda, permitiu verificar que apesar de ser de médio porte, a indústria química em estudo apresenta significativo potencial poluidor em virtude das matérias-primas que utiliza e dos subprodutos e produtos que gera. Diante disso, é enfatizada a relevância da gestão ambiental, que possibilita conhecer e gerenciar os efeitos ambientais causados por essa atividade econômica.

Além disso, foi possível perceber que a empresa em questão, apesar não possuir um sistema de gestão ambiental estruturado, pratica algumas medidas voltadas à proteção ambiental e à redução do uso de recursos naturais por meio da utilização de efluentes e subprodutos no processo produtivo, e demonstra interesse por ferramentas que possam contribuir à otimização de seu desempenho ambiental e econômico, como o programa de P+L.

A realização das etapas que fomentam a implementação do programa de P+L possibilitou verificar que o gerenciamento de resíduos sólidos é uma questão ambiental sensível na empresa e, por isso, foi definido como foco à proposição de medidas de P+L. As iniciativas sugeridas compreendem educação ambiental, reutilização de recipientes, redução do consumo e substituição de materiais, compostagem e destinação final ambientalmente adequada. Além dessas, medidas como a comercialização dos tanques e

ferros velhos depositados no pátio da empresa e de subprodutos como a lama de bauxita, podem contribuir à entrada de recursos financeiros de forma imediata e contínua, respectivamente.

Em última análise, a realização desse estudo permite compreender que a P+L não somente contribui à sustentabilidade da empresa, como favorece o aperfeiçoamento dos processos produtivos e a redução de custos operacionais, além de propiciar um ambiente laboral mais saudável e seguro e fortalecer sua posição no mercado.

Agradecimento

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) sob Termo de Outorga nº 2023TR294.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há interesses financeiros concorrentes ou relações pessoais conhecidas que possam ter influenciado as inferências relatadas neste artigo.

Referências

- Gonçales Filho, M.; Nunhes, T. V.; Barbosa, L. C. F. M.; Campos, F. C.; Oliveira, O. J. Opportunities and challenges for the use of Cleaner Production to reduce water consumption in Brazilian sugar-energy plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 353-363, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.114>
- Huang, Y.; Luo, J.; Xia, B. Application of Cleaner Production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant: A case study in Guangzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 113-121, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.013>
- Jia, L.; Zhang, Y.; Tao, L.; Jing, H.; Bao, S. A methodology for assessing Cleaner Production in the vanadium extraction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 598-605, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.016>
- Khalili, N. R.; Duecker, S.; Ashton, W.; Chavez, F. From Cleaner Production to sustainable development: The role of academia. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 30-43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.099>
- Lopes Silva, D. A.; Delai, I.; Castro, M. A. S.; Ometto, A. R. Quality tools applied to Cleaner Production programs: A first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 174-187, 2013a. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>
- Lopes Silva, D. A.; Delai, I.; S Castro, M. A. S.; Ometto, A. R. Quality tools applied to Cleaner Production programs: A first approach toward a new methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 174-187, 2013b. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.026>
- Machado, E.; Scavarda, L. F.; Caiado, R. G. G.; Thomé, A. M. T. Barriers and enablers for the integration of Industry 4.0 and sustainability in supply chains of MSMEs. **Sustainability**, v. 13, 11664, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132111664>
- Machado Murgueytio, P. I.; Cutrim, N. V. S.; Soares, J. F. Desenvolvimento de um programa de Produção Mais Limpa para uma indústria de tubos de papel. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 12, n. 30, p. 505-518, 2025. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2025\)123035](https://doi.org/10.21438/rbgas(2025)123035)

- Oliveira Neto, G. C.; Shibao, F. Y.; Godinho Filho, M. The state of research on Cleaner Production in Brazil. **Revista de Administração de Empresas**, v. 56, p. 547-577, 2016. <https://doi.org/10.1590/s0034-759020160508>
- ONU - Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- Radonjić, G.; Tominc, P. The role of environmental management system on introduction of new technologies in the metal and chemical/paper/plastics industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1482-1493, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.03.010>
- Santos, V. H. M.; Campos, T. L. R.; Espuny, M.; Oliveira, O. J. Towards a green industry through Cleaner Production development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 349-370, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16615-2>
- SENAI-RS - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul. **Cinco fases da implantação de técnicas de Produção Mais Limpa**. Porto Alegre: UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas, SENAI, 2003a. (Série Manuais de Produção Mais Limpa).
- SENAI-RS - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul. **Implementação de programas de Produção Mais Limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, SENAI-RS, UNIDO/UNEP, 2003b.
- Severo, E. A.; Guimarães, J. C. F.; Dorion, E. C. H. Cleaner Production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 87-97, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.090>
- Silvestre, B. S.; Silva Neto, R. Are Cleaner Production innovations the solution for small mining operations in poor regions? The case of Padua in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 809-817, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.097>
- Tseng, M.-L.; Lin, Y.-H.; Chiu, A. S. F. Fuzzy AHP-based study of cleaner production implementation in Taiwan PWB manufacturer. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 1249-1256, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.022>
- UNEP - United Nations Environment Programme. **Cleaner Production: A training resource package**. Paris: UNEP, 1996. Disponível em: <[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8281/-Cleaner Production - A Training Resource Package-19962285.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8281/-Cleaner%20Production%20-%20A%20Training%20Resource%20Package-19962285.pdf)>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- Wengratt, H. T.; Schleger, P. T.; Cutrim, N. V. S.; Soares, J. F. Estudo para aplicação do modelo de gestão ambiental P+L em uma indústria de sacos industriais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 12, n. 30, p. 519-536, 2025. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2025\)123036](https://doi.org/10.21438/rbgas(2025)123036)



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.