



## IV-811 - ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L) PARA O PROCESSO PRODUTIVO DE LAJES ALVEOLARES: ESTUDO DE CASO DA EMPRESA IBPC PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

### **Cristiane da Silva Santos<sup>(1)</sup>**

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal da Bahia (UFBA).

### **Iago Fernando dos Santos Moreira<sup>(2)</sup>**

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal da Bahia (UFBA).

### **Bruna de Oliveira Passos<sup>(3)</sup>**

Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento no MAASA/UFBA. Pesquisadora na Rede de Tecnologias Limpas da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

### **Vanessa Santos Carvalho<sup>(4)</sup>**

Engenheira de Segurança do Trabalho na IBPC Pré-Moldados de Concreto. Mestranda na Faculdade de Medicina da Bahia, Universidade Federal da Bahia.

### **Francisco Ramon Alves do Nascimento<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC). Doutor em Engenharia Industrial na PEI/UFBA. Líder da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM). Docente no Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

**Endereço<sup>(5)</sup>:** Rua Prof. Aristides Novis nº 2 Federação, CEP: 40210-630 - Brasil - e-mail: [francisco.ramon@ufba.br](mailto:francisco.ramon@ufba.br)

## RESUMO

A indústria da construção civil é um setor importante para o desenvolvimento da sociedade, no entanto, é um dos setores mais impactante aos sistemas socioambientais. Esta atividade demanda quantidades significativas de recursos, o que direciona a necessidade da adoção de melhores práticas para minimização de impactos ambientais e melhoria do desempenho ambiental e econômico. Neste sentido, a adoção da Produção mais Limpa (P+L) no sistema produtivo de lajes alveolares pré-fabricadas protendidas (LAP) pode contribuir para o desenvolvimento sustentável. Este trabalho objetivou a identificação de oportunidades de P+L para melhoria do processo produtivo de lajes alveolares pré-fabricadas protendidas na empresa IBPC Pré-moldados de Concreto. Para isso, revisão da literatura e visitas técnicas foram realizadas para a identificação de oportunidades de P+L, de acordo com cinco fases de implantação de técnicas de P+L. A partir de 10 etapas do processo produtivo estabelecidas, 16 oportunidades de P+L foram analisadas. Destaca-se que a maioria das oportunidades são relativas a capacitação dos colaboradores e elaboração de procedimentos operacionais padrão (POPs). As oportunidades de P+L identificadas para o processo produtivo de LAP na empresa IBPC podem contribuir para a melhoria do desempenho ambiental e econômico das empresas do setor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção Civil, Gestão Ambiental, Desempenho Ambiental, Ecoeficiência, Elementos de Construção.

## INTRODUÇÃO

Dentre os setores econômicos, a construção civil é um setor importante para o desenvolvimento das infraestruturas demandadas pela sociedade, como rodovias, edificações e sistemas de abastecimento de água e energia. A indústria da construção representa cerca de 10% do PIB nacional (Angulo; Oliveira; Machado, 2022).

No entanto, impactos ambientais negativos significativos são causados pela indústria da construção (Roth; Garcias, 2009). As atividades de uso e construção de ambientes construídos representam cerca de 40% das emissões globais de gases de efeito estufa (Crawford, 2022). Isso porque os processos relacionados ao setor são energeticamente intensivos (Huang et al., 2018).



Em relação ao uso global de materiais, em 2011, a extração de minerais não metálicos, utilizados principalmente na construção civil, era de 37 Gt.ano<sup>-1</sup>, com perspectiva de aumento superior a 100% até o ano 2060 (OECD, 2019). A extração de materiais intensifica impactos ambientais como desmatamento, depleção de reservas de recursos, aquecimento global e poluição das águas. Estimativas indicam que, no Brasil, a produção de resíduos de construção e demolição é maior que 100 milhões de toneladas por ano (Angulo; Oliveira; Machado, 2022).

Diante deste cenário, todos os processos produtivos da indústria de construção devem ser otimizados para a melhoria do desempenho ambiental do setor. Um dos processos produtivos é a produção de lajes alveolares pré-fabricadas protendidas (LAP), que são elementos de concreto protendido com vazios contínuos, os alvéolos (Pinheiro; Carvalho; Almeida Filho, 2017).

Os vazios longitudinais ao longo do elemento reduzem o peso do elemento e melhoram o desempenho estrutural (BPM Pré-Moldados, 2015), sem interferência significativa na resistência à flexão do elemento (Palmer; Schultz, 2010). Quanto aos aspectos ambientais do processo produtivo de LAP, destaca-se a quantidade de resíduos de concreto produzidos nas etapas de corte de pontas e içamento, que podem representar cerca de 70% e 13% da produção total do processo produtivo, respectivamente (Sarti Junior; Bazílio; Serra, 2021).

Neste sentido, uma das abordagens para a promoção da ecoeficiência é a Produção mais Limpa (P+L), que pode ser entendida como uma metodologia de aplicação integrada de estratégias técnicas, econômicas e ambientais integrada em processos e produtos, com a finalidade de melhoria da eficiência do uso de recursos e promoção de benefícios socioambientais e econômicos (CNTL, 2003).

O objetivo deste trabalho foi identificar oportunidades de P+L para melhoria do processo produtivo de lajes alveolares pré-fabricadas protendidas na empresa IBPC Pré-moldados de Concreto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na IBPC Pré-moldados de Concreto LTDA, que é uma empresa atuante no mercado da indústria da construção desde 2001 e tem como atividade econômica principal a “Fabricação de estruturas pré-moldadas de concreto armado, em série e sob encomenda” (CNAE 2330-3/01). A empresa está localizada no bairro de Valéria, na cidade de Salvador, próximo à rodovia BR-324.

Para caracterização do processo produtivo da IBPC, preliminarmente, foi realizada a revisão da literatura sobre produção de LAP. Além disso, a ABNT NBR 14861:2022, que estabelece requisitos e procedimentos para produção de LAP, foi consultada. Posterior à revisão da literatura, duas visitas técnicas foram realizadas para detalhamento da caracterização do processo produtivo e coleta de dados.

O processo produtivo estudado é composto de 10 etapas principais. Na etapa Preparação da Pista, primeira etapa, ocorre a limpeza da pista, com jatos de água e escovação, e a aplicação de desmoldante. Na segunda etapa é realizada a protensão das cordoalhas de aço. Na Silagem, os materiais estocados em silos são enviados para a Usinagem de concreto, que consiste na produção do concreto usinado. O Transporte do concreto usinado ocorre em balde transportar até o início da pista, onde é içado e colocado na extrusora (Içamento). Na Extrusão, o concreto usinado é injetado, de forma contínua, até a chegada no ponto final da pista.

Na Marcação dos Painéis, Recortes e Cura é executada a marcação dos painéis conforme vão especificado nos projetos e em seguida os recortes. A Desprotensão e Corte das LAP ocorre condicionada a confirmação do alcance da resistência mínima do concreto na etapa anterior. Na última etapa, as peças são içadas e estocadas em local nivelado, até serem enviadas para o cliente final.

A identificação das estratégias de P+L para o processo produtivo de LAP da IBPC foi realizada com base em três das cinco fases de implantação de técnicas de P+L propostas pelo SENAI-RS (2003). Na etapa Planejamento e Organização foi estabelecido o Ecotime. Em reuniões preliminares foi obtido o comprometimento da gerência para realização do estudo e discutido as barreiras e soluções. Na etapa Pré-

avaliação, as etapas realizadas foram: Desenvolvimento de fluxograma de processo; Análise de entradas e saídas; e Determinação dos focos da avaliação de P+L. Na etapa Avaliação, as etapas desenvolvidas foram: Avaliação das causas e Geração de oportunidades de P+L.

## RESULTADOS

De acordo com os dados obtidos nas duas visitas técnicas realizadas à empresa e a descrição de processo indicada por Petrucelli (2009), o processo produtivo de LAP da IBPC foi caracterizado a partir de 10 etapas principais (Figura 1), incluindo o processo de usinagem de concreto. As principais entradas do processo são insumos para produção de concreto, água e energia. As principais saídas do processo são resíduos de concreto, sobras de cordoalha e efluente.

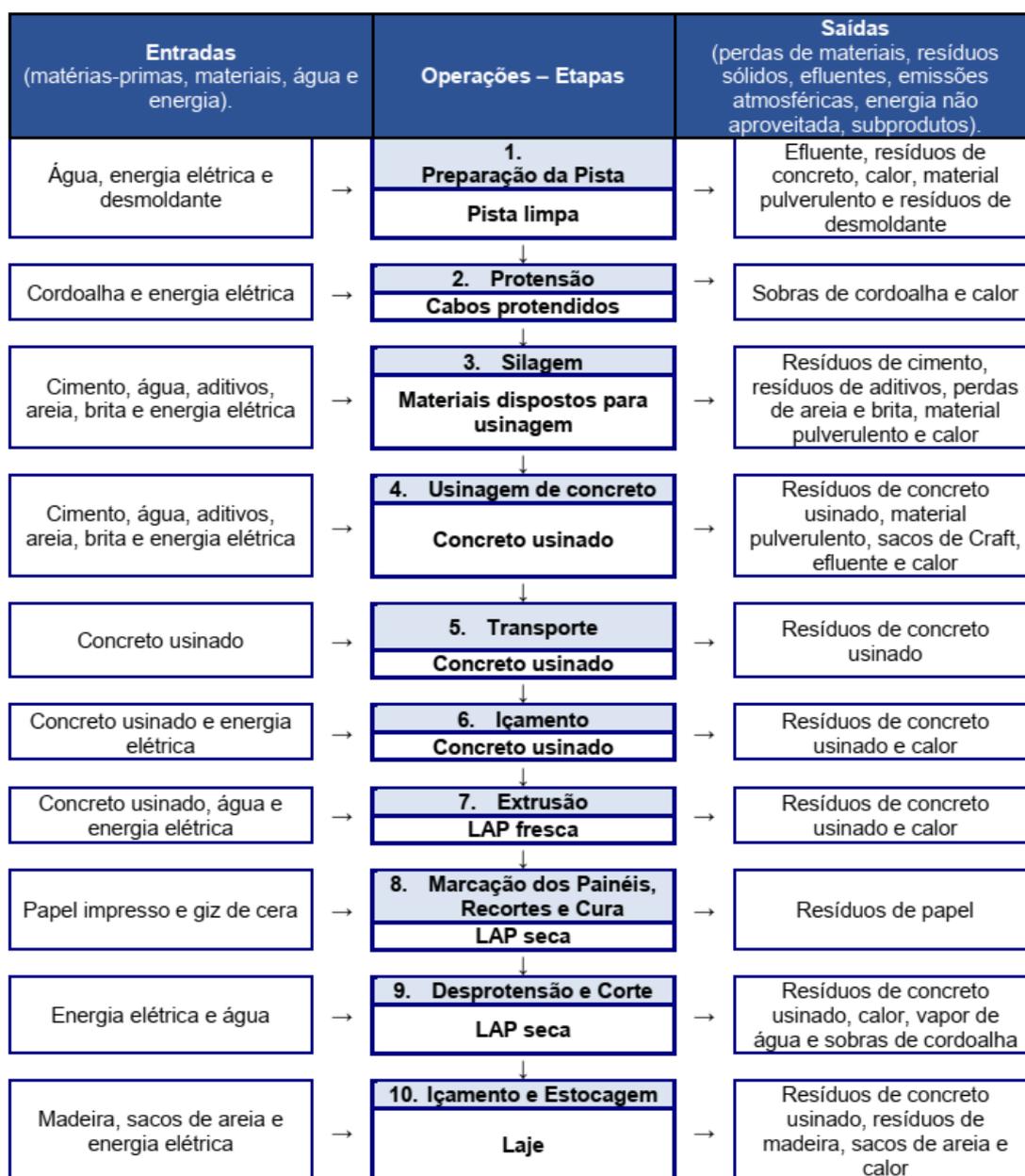


Figura 1: Diagrama de bloco da produção de LAP na IBPC.

Fonte: Autoria própria, 2024.



Quanto à produção total de LAP, os dados não foram fornecidos pela empresa, com justificativa que a produção varia de acordo com a demanda e não tem dados monitorados. Assim, o estudo foi conduzido com base na produção de uma pista de 130 m, que corresponde a produção diária de aproximadamente 15 a 30 lajes com vão variando entre 3 e 8 m.

Considerando os dados fornecidos pela empresa, em 2022, o volume total de concreto produzido foi de 10.282 m<sup>3</sup>·ano<sup>-1</sup>, sendo o período mais representativo de março a setembro. Desse volume produzido, 39% (4095,6 m<sup>3</sup>·ano<sup>-1</sup>) é destinado à produção de LAP, equivalente a 225 pistas de produção de lajes de 130 m de comprimento.

O volume total de água subterrânea captada na IBPC era de 2.016 m<sup>3</sup>·ano<sup>-1</sup>. Na usinagem de concreto, devido ao processo de limpeza, estima-se que 264 m<sup>3</sup>·ano<sup>-1</sup> de efluente são gerados. Quanto à demanda energética, o consumo anual de energia elétrica da IBPC era de 214.940 kWh·ano<sup>-1</sup>.

Para identificação das oportunidades de P+L, o Ecotime foi formado por dois discentes do curso de engenharia sanitária e ambiental, um docente engenheiro ambiental e doutor em engenharia industrial, uma mestrandia em meio ambiente, águas e saneamento, e a gerente de QSMS da empresa. A partir da análise das entradas e saídas, 16 oportunidades de P+L principais foram identificadas (Figura 2), destacando: Eliminação de materiais tóxicos na etapa Preparação da pista; Redução do consumo de água e da geração de efluentes na etapa Usinagem de concreto; Redução do tamanho das pontas da LAP cortadas na etapa Extrusão; e Redução de perdas de produto na etapa Içamento e Estocagem.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A implementação das 16 oportunidades de P+L principais identificadas neste estudo pode contribuir para a melhoria do desempenho ambiental do processo produtivo de LAP na IBPC. A eliminação de materiais tóxicos na etapa Preparação da pista deve ocorrer pela substituição do desmoldante utilizado por desmoldante biodegradável, que pode contribuir para redução dos impactos associados. Para isso, práticas gerenciais devem ser aprimoradas para a escolha de insumos mais sustentáveis.

Para a redução do consumo de água e da geração de efluentes na etapa Usinagem de concreto, as estratégias propostas são: planejamento da manutenção do equipamento; adoção de procedimentos apropriados e mudança no equipamento; e programação da produção de concreto. O planejamento da manutenção do equipamento, referente à frequência de limpeza do equipamento, é importante para evitar que o concreto seque e demande um tempo maior de jato de água para remoção de resíduos de concreto.

A máquina de jato de água deve ter a melhor eficiência possível e ser operada com procedimentos operacionais padrão (POPs). A mudança no equipamento pode ocorrer a partir da manutenção e atualização do equipamento e da aquisição de equipamento com melhor eficiência. Para evitar que o endurecimento do concreto no equipamento e demande limpeza com maior frequência, a programação da produção de concreto para vários elementos pode evitar limpezas e, consequentemente, a geração de efluentes.

As pontas das LAP são cortadas devido ao não preenchimento da seção inicial com concreto, uma vez que a extrusora não permanece tempo suficiente para tal ação. A redução do tamanho das pontas da LAP cortadas na etapa Extrusão pode ser realizada com a operação da extrusora de forma adequada, ou seja, aumentando o tempo que a extrusora fica parada no começo da pista para preenchimento total da seção da LAP.

A automação da extrusora pode minimizar as diferentes formas de operação da extrusora pelos operadores. Outra forma de evitar resíduos do corte de LAP é a mudança e/ou adaptação do equipamento (extrusora e pista) para flexibilização do tamanho das LAP a serem produzidas, evitando perdas de materiais. A redução de perdas de produto na etapa Içamento e Estocagem pode ocorrer com a implementação de um programa de prevenção à perdas, que inclui capacitação de funcionários para adoção de procedimentos apropriados.

Etapa do processo	Oportunidades de P+L		Plano de ação, estratégias ou opções*	Barreiras e necessidades
	Nº	Descrição		
1 – Preparação da pista	1	Redução do consumo de água e da geração de efluentes	Adoção de procedimentos apropriados e mudança no equipamento	Capacitação continuada de funcionários(as) e aquisição/adaptação do equipamento
1 – Preparação da pista	2	Eliminação da materiais tóxicos do processo	Aquisição de desmoldante biodegradável	Articulação da IBPC e disponibilidade de produto no mercado
2 - Protensão	3	Redução de resíduos/sobras de cordoalha	Adoção de procedimentos apropriados e práticas gerenciais	Capacitação continuada de funcionários(as)
3 - Silagem	4	Redução da emissão de material pulverulento	Melhoria no manuseio dos materiais	Mudança nos insumos
4 - Usinagem de concreto	5	Redução do consumo de água e da geração de efluentes	Planejamento da manutenção do equipamento	Adoção de práticas gerenciais e de prevenção de perdas
4 - Usinagem de concreto	6	Redução do consumo de água e da geração de efluentes	Adoção de procedimentos apropriados e mudança no equipamento	Capacitação continuada de funcionários(as) e aquisição/adaptação do equipamento
4 - Usinagem de concreto	7	Redução da produção de resíduos de concreto	Programação da produção de concreto	Adoção de práticas gerenciais
5 - Transporte	8	Redução de resíduos de concreto	Adoção de procedimentos apropriados e mudança no equipamento	Capacitação continuada de funcionários(as) e aquisição/adaptação do equipamento
6 - Içamento	9	Redução de resíduos de concreto	Adoção de procedimentos apropriados	Capacitação continuada de funcionários(as)
7 - Extrusão	10	Redução do tamanho das pontas da LAP cortadas	Adoção de procedimentos apropriados	Capacitação continuada de funcionários(as)
7 - Extrusão	11	Redução do tamanho das pontas da LAP cortadas	Automação de processo e mudança de tecnologia	Aquisição de equipamentos e contratação de consultoria
8 – Marcação dos Painéis, Recortes e Cura	12	Eliminação da geração de resíduos de papel	Transformação digital na empresa	Aquisição de sistemas digitais
9 - Desprotensão e Corte	13	Reciclagem de sobras de cordoalhas	Substituição de matéria-prima em outro processo a partir da comercialização do RCC	Busca e articulação com empresas da região
9 - Desprotensão e Corte	14	Reutilização de resíduos de concreto seco	Reuso como agregado no processo original	Realização de pesquisa para análise de viabilidade
9 - Desprotensão e Corte	15	Reciclagem de resíduos de concreto seco	Substituição de matéria-prima em outro processo a partir da comercialização do RCC	Busca e articulação com empresas da região
10 – Içamento e Estocagem	16	Redução de perdas de produto	Implementação de programa de perdas	Capacitação continuada de funcionários(as)

**Figura 2: Oportunidades de P+L para o processo produtivo de LAP**

Fonte: Autoria própria, 2024.

## CONCLUSÕES

A IBPC Pré-moldados de Concreto LTDA causa impactos socioambientais significativos quanto ao ciclo de vida das LAP e como qualquer outra indústria da construção civil, demandando a adoção de ações que otimizem o uso de recursos e minimizem a geração de resíduos. Estas ações devem contribuir para a promoção da sustentabilidade ambiental e do desenvolvimento econômico local.

As oportunidades de P+L identificadas para o processo produtivo de LAP na empresa IBPC podem contribuir para a melhoria do desempenho ambiental das empresas do setor. A prevenção à geração de resíduos de concreto nas etapas do processo analisadas é baseada, principalmente, em estratégias de capacitação dos



colaboradores e elaboração de procedimentos operacionais padrão (POPs), não demandando, a curto prazo, investimentos significativos em equipamentos e infraestrutura.

Este estudo foi limitado às informações e dados obtidos no âmbito de uma atividade avaliativa de disciplina, demandando aprofundamento na análise do processo produtivo. Como sugestão principal de trabalhos futuros, é importante avaliar a eficiência da operação da extrusora e o corte das pontas da LAP, uma vez que a maior parte dos resíduos gerados são referentes às pontas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, S. C.; OLIVEIRA, L. S.; MACHADO, L. Pesquisa setorial ABRECON 2020: A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. São Paulo: Epusp, 2022. 104 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14861: lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido - requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
3. BPM PRÉ-MOLDADOS. Manual de informação: Laje alveolar protendida. 1 ed., 2015. 25 p.
4. CNTL. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre: CNTL, 2023. 46 p.
5. CRAWFORD, R. H. Greenhouse Gas Emissions of Global Construction Industries. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, n. 1218, 2022.
6. HUANG, L.; KRIGSVOLL, G.; JOHANSEN, F.; LIU, Y.; ZHANG, X. Carbon emission of global construction sector, v. 81, p. 1906-1916, 2018.
7. OECD. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Global Material Resources Outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequences. OECD Publishing, Paris, 2019. 24 p.
8. PALMER, K. D.; SCHULTZ, A. E. Factors affecting web-shear capacity of deep hollow-core units. PCI Journal, v. 55, n. 2, p. 123-146, 2010.
9. PETRUCELLI, N. S. Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas. 2009. Orientador: Roberto Chust Carvalho. 126 f. il. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
10. PINHEIRO, G. L.; CARVALHO, R. C.; ALMEIDA FILHO, F. M. Lajes alveolares pré-fabricadas: estudo da influência do número e do instante de preenchimento de alvéolos no ganho de resistência à força cortante. Revista Matéria, v. 22, n. 4, 2017.
11. ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. Construção civil e a degradação ambiental. Desenvolvimento em questão, n. 13, p. 111-128, 2009.
12. SARTI JUNIOR, L. A.; BAZÍLIO, L. F.B.; SERRA, S. M. B. Produção e geração de resíduos em elementos de concreto pré-fabricado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. Anais[...] Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/497>>. Acesso em: 10 jan. 2024.
13. SENAI.RS. Cinco fases da implantação de técnicas de produção mais limpa. Porto Alegre: UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas, SENAI, 2003. 103p.