ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA EM ACIARIAS SEMI-INTEGRADAS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO ENTRE ACIARIA, LINGOTAMENTO CONTÍNUO E LAMINAÇÃO

Jean Eduardo de Moura Moraes, Nicolas José Coelho Cuba, Marcelo Bergamini de Carvalho, Edilon de Oliveira França, Emerson Augusto Raymundo, Amir Rivaroli Junior

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Fatec Pindamonhangaba, Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias, 4010 - Água Preta, 12445-010 – Pindamonhangaba.

jeanmoura344@gmail.com; coelhocubanicolas@gmail.com; marcelo.carvalho@cps.sp.gov.br; edilon.frança@cps.sp.gov.br; emerson.raymundo@cps.sp.gov.br; amir.rivaroli@cps.sp.gov.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar a integração entre os processos de aciaria, lingotamento contínuo e laminação como estratégia para o aumento da eficiência produtiva em aciarias semi-integradas. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada, baseada na análise qualitativa e comparativa de estudos sobre integração dos processos siderúrgicos, eficiência energética e ferramentas de melhoria contínua. Os resultados evidenciaram que práticas como o *Hot Charging*, a sincronização do fluxo produtivo, o planejamento integrado e a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) e do ciclo PDCA contribuem para a redução das perdas térmicas, dos estoques intermediários e do consumo energético, além de favorecerem o aumento da produtividade. Conclui-se que a integração entre os processos produtivos constitui uma estratégia eficaz para melhorar o desempenho operacional das aciarias semi-integradas, oferecendo diretrizes que podem apoiar futuras aplicações em ambiente industrial.

Palavras-chave: Aciarias semi-integradas. Hot Charging. Eficiência energética. Lingotamento contínuo. Produção enxuta.

Área do Conhecimento: Engenharias / Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Introdução

A indústria siderúrgica desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico mundial, fornecendo materiais essenciais para os setores da construção civil, infraestrutura, transporte e bens de capital. Diante da crescente competitividade industrial, da necessidade de redução do consumo energético e das exigências relacionadas à sustentabilidade, as usinas siderúrgicas têm buscado estratégias para aumentar a eficiência operacional de seus processos produtivos. Nesse contexto, as aciarias semi-integradas destacam-se pela utilização predominante de sucata metálica e fornos elétricos a arco, apresentando maior flexibilidade operacional e menor impacto ambiental quando comparadas às usinas integradas (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2024; FRUEHAN, 1998).

Embora os avanços tecnológicos tenham proporcionado melhorias significativas nos equipamentos e nos sistemas de automação, a eficiência global das aciarias semi-integradas depende da integração entre as etapas de aciaria, lingotamento contínuo e laminação. A falta de sincronização entre esses processos favorece a formação de estoques intermediários, perdas térmicas, aumento do consumo energético e redução da produtividade, comprometendo a competitividade das plantas siderúrgicas. Nesse cenário, práticas como o *hot charging*, o fluxo contínuo de produção e o planejamento integrado têm sido apontadas como alternativas para minimizar desperdícios e aperfeiçoar o desempenho operacional (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2024; BISWAS et al., 2016; LI et al., 2018).

Além dos aspectos tecnológicos, a integração dos processos produtivos está diretamente relacionada à adoção de ferramentas de gestão voltadas à melhoria contínua, como o Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* – VSM), o ciclo PDCA e sistemas avançados de planejamento da produção. Essas abordagens permitem identificar gargalos, reduzir tempos de

espera, eliminar atividades que não agregam valor e promover maior sincronização entre as operações, contribuindo para o aumento da eficiência produtiva e da competitividade industrial (WOMACK; JONES, 2004; HINES; HOLWEG; RICH, 2004; KIM et al., 2017). A Figura 1 representa o fluxo térmico de uma aciaria semi-integrada.

Figura 1 – Fluxo térmico de uma aciaria semi-integrada.



Fonte: Os autores, 2026.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a integração entre os processos de aciaria, lingotamento contínuo e laminação como estratégia para o aumento da eficiência produtiva em aciarias semi-integradas, identificando, com base na literatura técnica e científica, práticas capazes de reduzir perdas operacionais, otimizar o fluxo produtivo e contribuir para o aprimoramento do desempenho industrial.

Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A investigação foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada sobre a integração entre os processos de aciaria, lingotamento contínuo e laminação em aciarias semi-integradas, com foco na eficiência produtiva e na redução de perdas operacionais. A Figura 2 demonstra o fluxograma da metodologia adotada.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia adotada para seleção, análise e síntese dos estudos.



Fonte: Os autores, 2026.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar e Portal de Periódicos CAPES, utilizando palavras-chave em português e inglês relacionadas ao tema. Os estudos selecionados abordaram estratégias de integração dos processos siderúrgicos, eficiência operacional, consumo energético e ferramentas de melhoria contínua, sendo analisados de forma qualitativa e comparativa.

As informações foram organizadas em uma matriz de análise, permitindo identificar práticas recorrentes, benefícios operacionais e oportunidades para o aumento da eficiência produtiva.

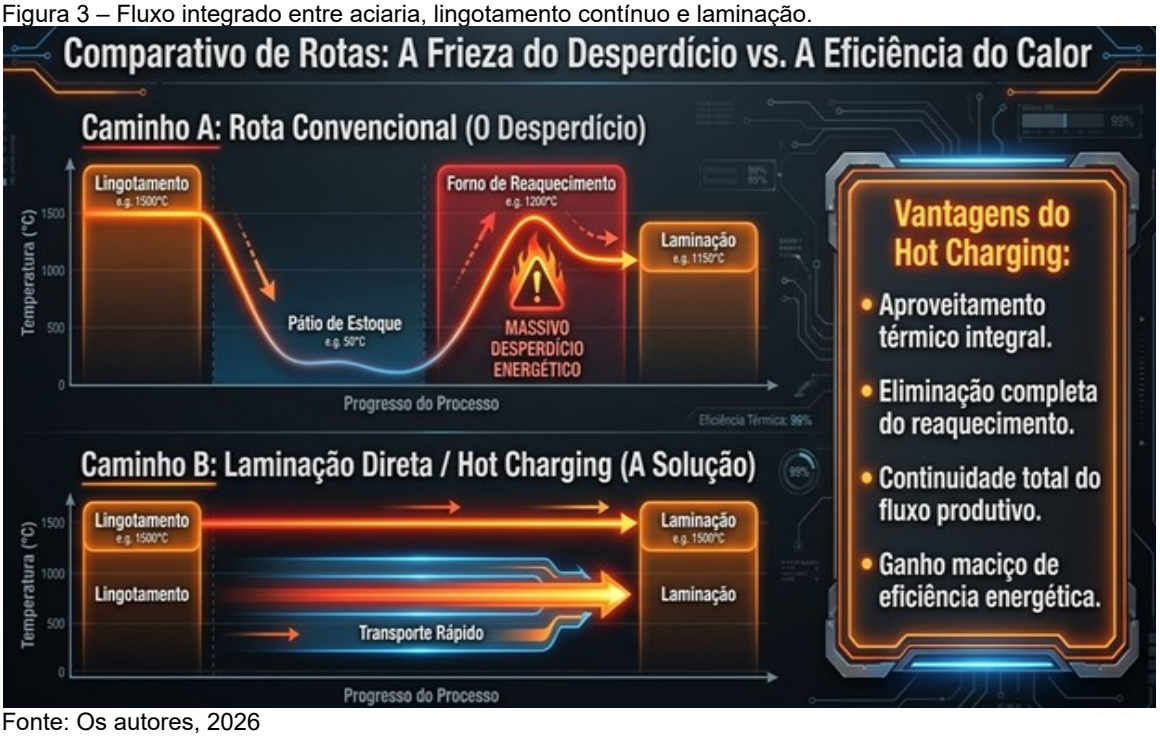
Resultados

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar que o desempenho das aciarias semi-integradas está diretamente relacionado ao nível de integração entre as etapas de aciaria, lingotamento contínuo e laminação. De forma geral, os trabalhos consultados convergem para a necessidade de sincronização do fluxo produtivo, redução dos tempos de espera e melhor aproveitamento da energia térmica, contribuindo para o aumento da produtividade e da eficiência operacional.

- Estratégias de integração dos processos

A literatura analisada evidenciou que diferentes estratégias podem ser empregadas para promover a integração entre os processos siderúrgicos. Entre as mais recorrentes destacam-se o *hot charging*, a sincronização entre lingotamento contínuo e laminação, o planejamento integrado da produção, a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) e a utilização de ferramentas de melhoria contínua. Essas práticas atuam na redução de desperdícios, na diminuição dos estoques intermediários e na otimização do fluxo produtivo. A Figura 3 ilustra o conceito de integração dos processos produtivos em aciarias semi-integradas, evidenciando a continuidade do fluxo de materiais desde a fusão da sucata até a obtenção do produto laminado.

Figura 3 – Fluxo integrado entre aciaria, lingotamento contínuo e laminação.



Fonte: Os autores, 2026

Em complemento a Figura 3, o Quadro 1 apresenta uma síntese das principais estratégias identificadas na literatura e dos benefícios operacionais associados.

Quadro 1 – Principais estratégias de integração dos processos siderúrgicos

Estratégia	Objetivo	Benefício observado
Hot Charging	Aproveitamento térmico dos tarugos	Redução do consumo de energia
Sincronização entre processos	Eliminar tempos de espera	Aumento da produtividade
Planejamento integrado	Balancear o fluxo produtivo	Melhor utilização da capacidade
VSM	Identificar desperdícios	Otimização do processo
Melhoria contínua (PDCA)	Padronização das operações	Redução de perdas operacionais

Fonte**:** Elaborado pelos autores (2026).

3.2 Impactos da integração na eficiência operacional

Os estudos analisados demonstram que a integração entre aciaria, lingotamento contínuo e laminação proporciona ganhos significativos de desempenho operacional. Entre os principais benefícios observados destacam-se a redução dos estoques intermediários, a diminuição do consumo energético devido ao aproveitamento do calor residual dos tarugos, a redução do tempo total de processamento e o aumento da produtividade da planta. A Figura 4 apresenta o Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) aplicado à identificação de desperdícios em aciarias semi-integradas.

Figura 4 – Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) aplicado à identificação de desperdícios em aciarias semi-integradas.



Fonte**:** Elaborado pelos autores (2026).

3.3 Modelo conceitual proposto

Com base na análise comparativa da literatura, foi elaborado um modelo conceitual que reúne as principais estratégias de integração identificadas durante a pesquisa. O modelo evidencia que a sincronização entre os processos produtivos, associada ao planejamento integrado e à aplicação de ferramentas de melhoria contínua, favorece a redução de desperdícios, o aumento da eficiência energética e a melhoria do desempenho operacional das aciarias semi-integradas. O modelo apresentado na Figura 5 representa a principal síntese dos resultados obtidos neste estudo e servirá como base para a discussão das contribuições da integração dos processos para a competitividade da indústria siderúrgica.

Figura 5 – Modelo conceitual para integração dos processos em aciarias semi-integradas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Discussão

Os resultados obtidos evidenciam que a eficiência operacional das aciarias semi-integradas depende da integração entre as etapas de aciaria, lingotamento contínuo e laminação, e não apenas da otimização isolada de cada processo. A literatura analisada demonstra que estratégias como o *Hot Charging* reduzem significativamente as perdas térmicas ao eliminar ou minimizar a necessidade de reaquecimento dos tarugos, contribuindo para a redução do consumo energético, do tempo de processamento e dos custos operacionais. Esses achados corroboram as recomendações da World Steel Association (2024), que destaca o aproveitamento térmico como uma das principais estratégias para aumentar a competitividade da indústria siderúrgica, bem como os estudos de Biswas et al. (2016), que demonstram os benefícios energéticos da integração entre lingotamento contínuo e laminação. A Figura 6 sintetiza as principais diretrizes para a implementação da integração dos processos em aciarias semi-integradas.

Figura 6 – Diretrizes para implementação da integração dos processos em aciarias semi-integradas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Além dos aspectos energéticos, a análise dos estudos evidencia que a adoção de ferramentas de gestão, como o Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) e o ciclo PDCA, desempenha papel fundamental na identificação de gargalos, na redução dos tempos de espera e na melhoria do fluxo

produtivo. O VSM possibilita visualizar desperdícios ao longo da cadeia produtiva, enquanto o PDCA favorece a padronização das operações e o aprimoramento contínuo dos processos. Dessa forma, a integração entre tecnologias de processo e práticas de gestão amplia a capacidade das organizações de reduzir perdas operacionais e aumentar a estabilidade do sistema produtivo, em consonância com os princípios da produção enxuta descritos por Womack e Jones (2004) e por Hines, Holweg e Rich (2004).

Por fim, o modelo conceitual desenvolvido neste trabalho representa uma síntese das principais estratégias identificadas na literatura, reunindo aspectos operacionais, energéticos e gerenciais em uma única estrutura de análise. Embora tenha sido elaborado com base em dados secundários, o modelo sugere que a eficiência das aciarias semi-integradas depende da atuação conjunta entre sincronização dos processos, aproveitamento térmico e gestão da produção. Assim, além de consolidar conhecimentos já estabelecidos, o estudo oferece uma visão integrada que pode servir como referência para futuras pesquisas e para a implementação de ações voltadas ao aumento da produtividade e da eficiência energética em plantas siderúrgicas.

Conclusão

A análise permitiu verificar que a integração entre aciaria, lingotamento contínuo e laminação constitui uma estratégia eficaz para aumentar a eficiência operacional de aciarias semi-integradas. Os estudos analisados demonstraram que a sincronização do fluxo produtivo, o aproveitamento térmico por meio do *Hot Charging* e a aplicação de ferramentas de melhoria contínua contribuem para a redução das perdas operacionais, do consumo energético e dos estoques intermediários.

Além de reunir e analisar as principais estratégias, este trabalho apresentou diretrizes para a implementação da integração dos processos, evidenciando que a melhoria do desempenho industrial depende da atuação conjunta entre planejamento da produção, gestão da manutenção e otimização do fluxo produtivo.

Como continuidade desta pesquisa, recomenda-se a validação das diretrizes propostas em ambiente industrial, por meio da aplicação de indicadores de desempenho que permitam avaliar os impactos da integração dos processos sobre a produtividade, o consumo energético e a competitividade das aciarias semi-integradas.

Referências

BISWAS, D. et al. Energy efficiency improvement in steel reheating furnaces through hot charging practices. **Ironmaking & Steelmaking**, v. 43, n. 9, p. 698–705, 2016.

FRUEHAN, R. J. **The Making, Shaping and Treating of Steel**. 11. ed. Pittsburgh: AISE Steel Foundation, 1998.

HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 10, p. 994–1011, 2004.

KIM, S. et al. Energy efficiency analysis of integrated steel production systems. **Applied Energy**, v. 195, p. 1065–1075, 2017.

LI, X. et al. Integrated production scheduling optimization for steelmaking and continuous casting process: a review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 118, p. 485–499, 2018.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World Steel in Figures 2024**. Brussels: World Steel Association, 2024.