PRODUÇÃO ONLINE
REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ISSN 1676-1901

GESTÃO POR PROCESSOS E ENGENHARIA DE MÉTODOS PARA REDUÇÃO DE PERDAS DE TEMPO NO TRANSPORTE DE METAL LÍQUIDO EM UMA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO

PROCESS MANAGEMENT AND METHODS ENGINEERING FOR REDUCING TIME LOSSES IN THE TRANSPORT OF LIQUID METAL IN A PRIMARY ALUMINUM INDUSTRY

Marcos Gabriel Vieira de Vilhena* E-mail:marcos.vilhena@itec.ufpa.br
Harlenn dos Santos Lopes* E-mail: harlenn@ufpa.br
*Universidade Federal do Pará (UFPA), Abaetetuba, PA, Brasil.

Resumo: O transporte de metal líquido é o elo entre as áreas de redução e fundição em uma indústria de alumínio primário e, por não admitir a formação de estoques intermediários, converte todo tempo não produtivo do ciclo em perda direta de capacidade. Este artigo tem por objetivo reduzir as perdas de tempo decorrentes de esperas e movimentações desnecessárias nessa atividade, mediante a integração entre o mapeamento de processos em notação BPMN e o estudo de tempos e movimentos. Adotou-se a estratégia de estudo de caso único, de abordagem quali-quantitativa, em uma planta localizada em Barcarena, Pará. A atividade foi mapeada em sua situação atual, decomposta em 26 elementos e cronometrada pelo método de leitura repetitiva, junto a quatro operadores, ao longo de duas semanas; determinaram-se os tempos padrão dos dois ciclos existentes (fundição e para o cliente externo) e confrontaram-se os resultados com o *takt time* da operação. As perdas concentraram-se na espera em fila e no deslocamento para análise química. A implantação de uma segunda plataforma de escumagem eliminou a fila, reduzindo em 5 minutos e 26 segundos o tempo de ciclo e elevando em 15,5% a produtividade do transporte para a fundição, ao passo que a realocação da análise química para um laboratório adjacente reduziu, em teste, mais 1 minuto e 38 segundos no ciclo destinado ao cliente. As melhorias foram consolidadas em um mapeamento do processo redesenhado

Palavras-chave: Perdas de tempo. Cronoanálise. Mapeamento de processos. Alumínio primário.

Abstract: Liquid metal transport is the link between the reduction and casting areas in a primary aluminum plant and, since it allows no intermediate inventory, any non-productive time within the cycle translates directly into lost capacity. This paper aims to reduce the time losses arising from waiting and unnecessary movement in this activity, by integrating BPMN process mapping with time and motion study. A single case study with a qualitative-quantitative approach was conducted at a plant located in Barcarena, Pará, Brazil. The activity was mapped in its current state, broken down into 26 elements and timed using the repetitive reading method, with four operators over a two-week period; standard times were determined for both existing cycles — to the casting area and to an external customer — and compared against the operation's takt time. Losses were concentrated in queue waiting and in the travel required for chemical analysis. Installing a second skimming platform eliminated the queue, cutting 5 minutes and 26 seconds from the cycle and raising productivity of the transport to the casting area by 15.5%, while relocating the chemical analysis to an adjacent laboratory reduced a further 1 minute and 38 seconds in the customer cycle, as verified in testing. The improvements were consolidated into a redesigned process map.

Keywords: Time losses. Chronoanalysis. Process mapping. Primary aluminum.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de alumínio primário opera em regime de produção contínua e intensiva em energia, no qual o metal é obtido em estado líquido nas cubas eletrolíticas e precisa ser transportado, ainda fundido, até os fornos de espera da fundição ou até clientes externos. O transporte de metal líquido constitui o elo entre a redução e a fundição, e seu desempenho condiciona diretamente a capacidade produtiva das etapas subsequentes. Diferentemente de operações de manufatura discreta, em que um atraso pontual pode ser absorvido por estoques intermediários, o transporte de metal líquido não admite acúmulo: o material precisa ser movimentado dentro de uma janela restrita de tempo e temperatura, de modo que todo tempo não produtivo no ciclo se converte em perda direta de capacidade.

Entende-se aqui por perdas, de acordo com a filosofia da produção enxuto, as atividades que consomem recursos sem agregar valor ao produto, neste caso as esperas e as movimentações desnecessárias (Oliveira; Galo; Costa Júnior, 2023), que são perdas de tempo que, embora não apareçam como refugo ou retrabalho, reduzem o número de ciclos de transporte executáveis por turno e comprometem o cumprimento das metas de produção. Na operação analisada, a formação de filas em um único ponto do fluxo era de 5 minutos e 26 segundos por ciclo, o que, considerada a meta de 129 ciclos diários, equivale a aproximadamente 11,7 horas de tempo improdutivo por dia.

Para a identificação e o tratamento dessas perdas, duas abordagens se mostram complementares: a Gestão por Processos, apoiada em notações de modelagem como o BPMN, oferece a visão sistêmica do fluxo de trabalho e torna explícitas as interfaces entre áreas, permitindo localizar onde as perdas se originam (Iovanella, 2024; Justa; Silva, 2026) e a Cronoanálise, a qual fornece a base quantitativa para dimensionar essas perdas, estabelecer tempos padrão e avaliar objetivamente o efeito das melhorias propostas (Corrêa, 2023). A literatura recente registra aplicações consolidadas de ambas as abordagens, porém majoritariamente de forma isolada e em contextos de manufatura discreta e serviços (Nabi; Mahmud; Islam, 2015; Wagenaar et al., 2016; Sousa; Correia; Gonçalves, 2021), sendo escassos os estudos integrados em indústrias de processo contínuo, e em particular em operações de movimentação de material a alta temperatura.

Neste contexto, encontra-se a seguinte questão de pesquisa: como reduzir as perdas de tempo decorrentes de esperas e movimentações desnecessárias no ciclo de transporte de metal líquido de uma indústria de alumínio primário?

Assim, o objetivo geral deste artigo é reduzir as perdas de tempo decorrentes de esperas e movimentações desnecessárias no ciclo de transporte de metal líquido de uma indústria de alumínio primário, mediante a integração entre o mapeamento de processos em notação BPMN e o estudo de tempos e movimentos. Como objetivos específicos, definem-se: (i) mapear o fluxo atual da atividade (*as-is*) e decompô-la em elementos passíveis de cronometragem; (ii) quantificar as perdas existentes, determinando os tempos padrão dos dois ciclos de transporte e confrontando-os com o *takt time* da operação; (iii) localizar os elementos do ciclo que concentram as perdas; e (iv) implementar e validar melhorias, mensurando a redução de tempo obtida e consolidando o processo redesenhado em novo mapeamento (*to-be*).

A pesquisa justifica-se pela particularidade da atividade analisada, cujo desempenho é acompanhado diariamente como indicador-chave pela organização e com reflexos alcançando as áreas de fundição, planejamento da produção e atendimento a clientes. Além disto, o trabalho contribui ao demonstrar que a interface entre a gestão por processos e a engenharia de métodos não é meramente somativa: o mapeamento revela perdas cuja origem está nas interfaces entre áreas. Do ponto de vista aplicado, os procedimentos aqui descritos são replicáveis em outras operações logísticas internas de indústrias de processo.

Este artigo está organizado em seis seções. Após esta introdução, a seção 2 apresenta o referencial teórico sobre gestão por processos, engenharia de métodos, estudo de tempos e movimentos e cronoanálise. A seção 3 detalha os procedimentos metodológicos adotados. A seção 4 descreve o caso estudado e o mapeamento da situação atual. A seção 5 apresenta o cálculo dos parâmetros, os resultados obtidos e as melhorias avaliadas. A seção 6 traz as conclusões, as limitações do estudo e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

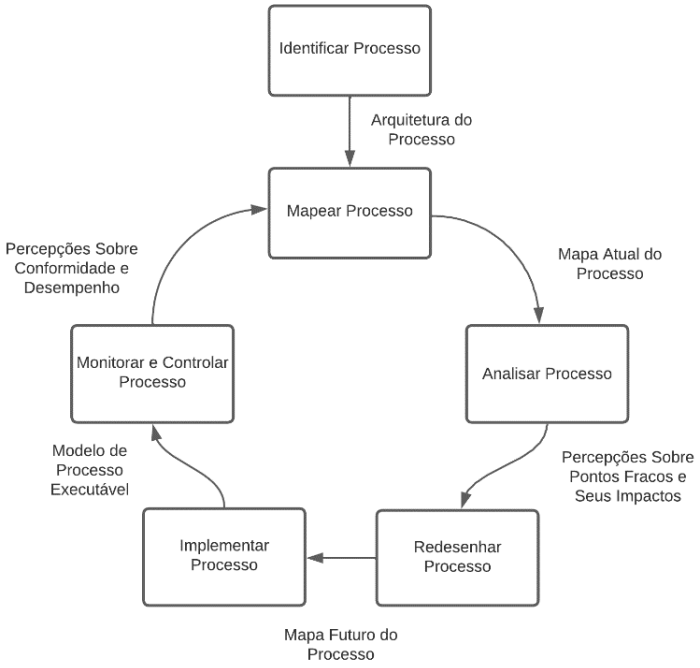
2.1 Gestão por processos

No núcleo de qualquer organização, encontramos os processos organizacionais, atuando como a engrenagem central. Surge, então, o conceito de gestão por processos que, segundo Sordi (2012), possui uma abordagem administrativa, com foco e desenvolvimento do processo de negócio. Nesse contexto, o mapeamento de processos é uma ferramenta de suporte à tomada de decisões, a partir do gerenciamento de processos.

Diante da necessidade de se gerenciar e mapear processos, o BPM (*Business Process Management*) aparece como uma filosofia de gestão baseada nos processos de uma organização, o que significa estruturar informações sobre a forma com que processos são realizados dentro de uma organização, de forma a otimizar a sua execução. Como cita Iovanella (2024), o BPM é baseado no princípio de que uma abordagem com foco no processo leva a melhorias relevantes tanto no desempenho quanto na conformidade de um sistema.

Para a aplicação do BPM é interessante o uso de uma linguagem de modelagem de processos de negócio, a exemplo do BPMN (*Business Process Model and Notation*). Além disso, para uma gestão eficiente dos processos, é crucial seguir um ciclo de etapas interligadas, de forma cíclica, como ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Ciclo de vida do BPM



Fonte: Dumas *et al.* (2013).

2.2 Engenharia de métodos

A engenharia de métodos estuda o trabalho de forma sistêmica onde Barnes (1986) comenta que a engenharia de métodos busca melhorar a eficiência dos processos produtivos. Neste sentido, a melhoria da produtividade pode ser feita simplificando o método e otimizando sistema (Moktadir *et al.*, 2017). Cai, Tseng e Huang (2017) complementam que a engenharia de métodos, por meio do estudo de tempos e movimentos, é uma ferramenta que permite identificar gargalos na produção, melhorar a produtividade do sistema, evitar desperdícios.

Noor *et al.* (2014) complementam que o estudo de método é o registro sistemático e exame crítico das formas existentes e propostas de fazer o trabalho, como meio de desenvolver e aplicar formas mais fáceis e métodos mais eficazes e redução de custos. Neste sentido, a orientação para a melhor maneira de realizar uma operação, simplificando ou modificando o método de operação para reduzir trabalho desnecessário ou desperdício de recursos evidencia a relação entre a Engenharia de Métodos e a produtividade, como observado por Ochoa *et al.* (2017).

2.3 Tempos e movimentos

Barnes (1986) cita que o estudo de tempos e movimentos pode ser descrito como o estudo dos sistemas de trabalho, sendo uma análise detalhada dos processos de trabalho para identificar oportunidades de melhoria e padronizar os procedimentos mais eficientes. A aplicação deste método permite identificar gargalos e promover melhorias de processo, com ganhos de eficiência e produtividade (Nandakumar; Saaleeshya; Harikumar, 2020)

Esta prática reduz desperdícios de processos, proporciona economia de tempo, recursos e energia (Peinado; Graeml, 2007). Assim, a aplicação do estudo de tempos e movimentos pode ser observada em diversos setores de produção e serviços, como explorado por Wagenaar *et al.* (2016), Coelho e Gonçalves (2025) e Sousa, Correia e Gonçalves (2021).

De acordo com Wu *et al*. (2016), a necessidade de controlar o tempo e melhorar a eficiência produtiva levou ao desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias na indústria. Dentro desse contexto, Novoa e Mendez (2009) pontuam que, um estudo de tempos pode ser demorado e complexo, por isso é importante dividir o trabalho em tarefas ou elementos básicos mais fáceis de analisar e medir.

2.4 Cronoanálise

Para Mundel (1966), a cronoanálise é um processo que consiste em estudar, medir e determinar os tempos padrão das atividades de um processo, utilizando um cronômetro. Justa, Lago Neto e Silva (2025) demonstram que a cronoanálise, associada ao mapeamento do fluxo de valor, permite ir além da definição do tempo padrão, subsidiando o balanceamento das atividades e o aumento da capacidade produtiva.

Dentro do campo de estudo da cronoanálise, Freivalds e Niebel (2013) explicam que um estudo de tempos completo envolve duas etapas principais: a avaliação do ritmo do operador e a determinação de tolerâncias. Essas etapas são subjetivas e devem ser realizadas por especialistas na operação, preferencialmente

com a participação dos trabalhadores para garantir a aceitação dos parâmetros do estudo.

Dessa forma, o cronoanalista deve se voltar principalmente para atividades que não agregam valor, pois ali está o principal ponto de melhoria (Barnes, 1986). Para o cálculo dos parâmetros envolvidos na cronoanálise, como número de ciclos a serem cronometrados, fator de ritmo, fator de tolerância, tempo normal e tempo padrão, são usadas equações específicas, que podem ser vistas no Quadro 1.

Quadro 1 – Equações dos parâmetros calculados na cronoanálise

Parâmetro Calculado	Equação	
Nº de ciclos a serem cronometrados	$N = \left(\frac{Z\ x\ R}{E_T\ x\ D_2\ x\ \bar{X}}\right)$	(1)
Fator de ritmo	$V = 1 + \sum A$	(2)
Fator de tolerância	$FT = \frac{1}{1-P}$	(3)
Tempo normal	$TN = TC\ x\ V$	(4)
Tempo padrão	$TP = TN\ x\ FT$	(5)

Fonte: Barnes (1986) e Martins e Laugeni (2005). **Onde:** N = número de cronometragens necessárias; Z = coeficiente da distribuição normal padrão; R = amplitude da amostra; Er = erro relativo admitido; d_2 = coeficiente tabelado em função do número de cronometragens iniciais; $\bar{x}$ = média dos tempos cronometrados; V = fator de ritmo; ΣA = somatório dosvalores atribuídos às quatro dimensões do sistema *Westinghouse*; FT = fator de tolerância; P = proporção da jornada destinada a interrupções previstas, em fração decimal; TN = tempo normal; TC = tempo cronometrado; TP = tempo padrão.

2.4.1 Número de ciclos a serem cronometrados

Martins e Laugeni (2005) definem que para se determinar o tempo padrão de produção de uma peça ou de realização de uma operação, devem ser realizadas de 10 a 20 cronometragens do processo em análise. No que se refere à confiabilidade das medições, Barnes (1986) aponta que ao cronometrar um número maior de ciclos, é possível obter uma amostra mais abrangente, o que torna os resultados mais representativos e confiáveis.

2.4.2 Fator de ritmo

Este fator é utilizado para calcular o tempo normal de um elemento cronometrado. Para este trabalho, o fator de ritmo será definido utilizando-se o sistema *Westinghouse*. Este sistema analisa e define, numericamente, quatro dimensões que influenciam no ritmo do operador: habilidade, esforço, condições e

consistência, como mostra o Quadro 2. A habilidade refere-se à destreza do operador na execução do método; o esforço, à disposição com que ele o aplica; as condições, ao ambiente de trabalho que o afeta; e a consistência, à regularidade dos tempos observados entre ciclos. A cada dimensão corresponde uma classe, à qual se associa um valor numérico positivo ou negativo, cuja soma algébrica, acrescida da unidade, resulta no fator de ritmo.

Quadro 2 – Tabela do sistema *Westinghouse*

Habilidade			**Esforço**		
0,15	A1	Super-hábil	0,13	A1	Super-hábil
0,13	A2		0,12	A2	
0,11	B1	Excelente	0,10	B1	Excelente
0,08	B2		0,08	B2	
0,06	C1	Bom	0,05	C1	Bom
0,03	C2		0,02	C2	
0,00	D	Médio	0,00	D	Médio
-0,05	E1	Regular	-0,04	E1	Regular
-0,10	E2		-0,08	E2	
-0,16	F1	Fraco	-0,12	F1	Fraco
-0,22	F2		-0,17	F2	
Condições			**Consistência**		
0,06	A	Ideal	0,04	A	Perfeita
0,04	B	Excelente	0,03	B	Excelente
0,02	C	Boa	0,01	C	Boa
0,00	D	Média	0,00	D	Média
-0,03	E	Regular	-0,02	E	Regular
-0,07	F	Fraca	-0,04	F	Fraca

Fonte: Barnes (1986).

2.4.3 Fator de tolerância

Barnes (1986) comenta, quanto às tolerâncias, que durante a jornada de trabalho o operador pode gastar algum tempo com necessidades pessoais, descanso ou acontecimentos fora do seu controle. Martins e Laugeni (2005) acrescentam que para trabalhos em unidades industriais, o fator de tolerância considerado pode variar entre 10% (1,10) e 20% (1,20).

2.4.4 Tempo normal e tempo padrão

Tal como definido por Barnes (1986), o tempo normal é o tempo que um operador qualificado e experiente, trabalhando a um ritmo regular, levaria para

completar um ciclo de operação. O tempo normal (TN) é obtido pela multiplicação da média dos tempos cronometrados pelo fator de ritmo (V).

O tempo padrão, de acordo com Peinado e Graeml (2007), é um valor que considera as tolerâncias de tempo, permitindo identificar o tempo ideal para a execução de uma atividade. Nabi, Mahmud e Islam (2015) acrescentam que as tolerâncias estão relacionadas a diversos fatores e são inevitáveis, interferindo no tempo padrão de uma atividade analisada.

2.4.5 Takt time

Para Tapping e Shuker (2010), o tempo *takt* é calculado dividindo-se o tempo disponível para produção pela quantidade total de unidades a serem produzidas. Luciano *et al*. (2023) citam que o tempo *takt* é uma função que determina a rapidez com que um processo deve ocorrer para atender a demanda do cliente. Dessa forma, o tempo *takt* é definido de acordo com a Equação 6.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ operacional\ líquido\ disponível}{Quantidade\ total\ a\ ser\ produzida} \quad (6)$$

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

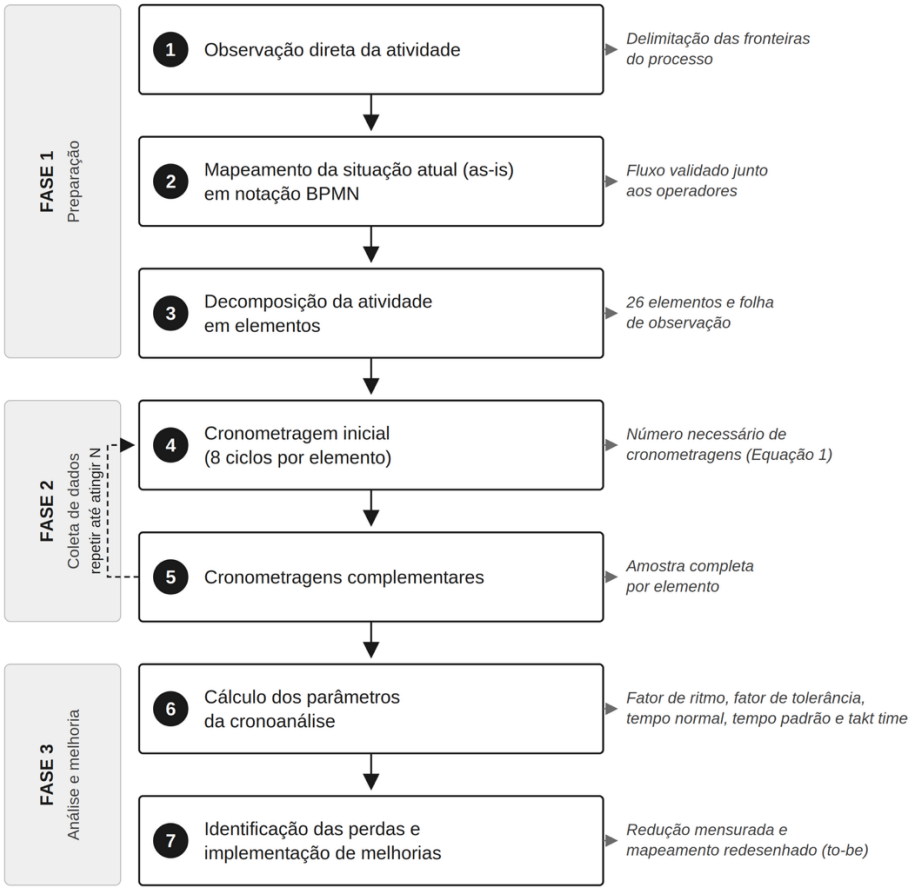
Quanto à natureza, esta pesquisa é aplicada, por dirigir-se à solução de um problema concreto em contexto organizacional específico. Quanto aos objetivos, classifica-se simultaneamente como exploratória e descritiva: exploratória por proporcionar maior familiaridade com um processo até então não formalizado na organização, e descritiva por caracterizar o fenômeno e estabelecer relações entre variáveis mediante técnicas sistemáticas de coleta de dados (Gil, 2008). Quanto à abordagem, é considerada quali-quantitativa. A dimensão qualitativa compreende a observação direta da operação, o mapeamento do fluxo de trabalho e a validação do modelo junto aos operadores e a dimensão quantitativa compreende a cronometragem, o cálculo dos parâmetros da cronoanálise e a análise de produtividade.

Quanto ao procedimento técnico, adotou-se o estudo de caso único, entendido como o estudo aprofundado e intensivo de uma única organização (Bruyne; Herman; Schoutheete, 1991). A unidade de análise é a atividade de transporte de metal líquido; a unidade de observação são os ciclos de transporte executados pelos motoristas da operação.

3.2 Delineamento do estudo

O estudo foi conduzido em sete etapas encadeadas, divididas em três fases, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Os autores (2026).

3.3 Objeto e sujeitos da pesquisa

A atividade selecionada foi o transporte de metal líquido, executado tanto internamente, da área de redução para os fornos de espera da fundição, quanto externamente, para um cliente localizado nas proximidades da planta. O critério de seleção foi a centralidade da operação para os indicadores de produtividade, qualidade e planejamento da produção, e sua interface com as demais áreas da empresa.

Foram acompanhados quatro motoristas, ao longo de duas semanas. Optou-se pelos motoristas designados internamente como “de apoio”, e não pelos motoristas fixos, por um motivo metodológico: cada turno conta com quatro motoristas fixos, um por área de redução, e um motorista de apoio, que atende a todas as reduções conforme a demanda. O acompanhamento dos motoristas de apoio permite, portanto, observar ciclos de transporte originados em todas as áreas de redução, resultando em amostra mais representativa da variabilidade real da operação do que o acompanhamento de um motorista restrito a uma única área.

3.4 Instrumentos e procedimento de coleta

A coleta empregou dois instrumentos: cronômetro digital, para a medição dos tempos, e folha de observação estruturada, desenvolvida especificamente para este estudo, contendo os 26 elementos do ciclo e campos para registro dos tempos de cada cronometragem (Anexo B).

Adotou-se o método de leitura repetitiva, no qual o cronômetro é zerado ao início de cada elemento e o tempo correspondente é registrado individualmente, em oposição ao método de leitura contínua. A escolha justifica-se pela necessidade de obter o tempo isolado de cada elemento, condição para identificar quais deles concentram perdas.

A decomposição da atividade em 26 elementos (Quadro 3) seguiu o critério de identificação de pontos inicial e final observáveis e inequívocos para cada elemento, de modo a assegurar consistência entre medições e entre observações de operadores distintos. Os elementos 15 a 21 são exclusivos do ciclo de transporte para o cliente

externo; no ciclo destinado à área de fundição, a sequência prossegue do elemento 14 diretamente para o elemento 22.

3.5 Parâmetros e procedimentos de cálculo

Os parâmetros da cronoanálise foram calculados conforme as Equações 1 a 6 (seção 2.4). Os valores e critérios adotados neste estudo foram os seguintes:

- Número de cronometragens (Equação 1): amostra inicial de oito ciclos por elemento, com Z = 1,96 (nível de confiança de 95%), Er = 5% e d_2 = 2,847, valor tabelado para oito medições. Sempre que N resultou superior a oito, realizaram-se cronometragens complementares no elemento correspondente até atingir o valor calculado.
- Fator de ritmo (Equação 2): sistema Westinghouse, avaliado por observação direta da operação e complementado pela percepção dos operadores acompanhados, conforme recomendam Freivalds e Niebel (2013).
- Fator de tolerância (Equação 3): jornada de 480 minutos, dos quais 60 minutos de intervalo para refeição e 5 minutos para necessidades pessoais, resultando em P = 13,54%.
- Tempo normal e tempo padrão (Equações 4 e 5): o tempo cronometrado (TC) de cada ciclo corresponde à soma das médias dos tempos de todos os elementos que o compõem.
- *Takt time* (Equação 6): tempo operacional líquido de 415 minutos por turno (480 − 65) e meta de 43 ciclos por turno.

3.6 Procedimentos de análise

Os tempos padrão obtidos foram confrontados com o *takt time* da operação, a fim de verificar a aderência da capacidade instalada à meta estabelecida. Em seguida, os elementos foram ordenados por participação relativa no tempo total do ciclo, classificando-se cada um como atividade que agrega ou que não agrega valor, de modo a identificar os elementos concentradores de perdas.

As melhorias propostas foram avaliadas mediante nova cronometragem dos elementos afetados, recálculo dos tempos normal e padrão e comparação do número de ciclos executáveis por turno antes e depois da intervenção. O ganho de produtividade foi calculado pela razão entre os tempos padrão anterior e posterior à melhoria, e o processo redesenhado foi consolidado em novo mapeamento BPMN (*to-be*).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Local da pesquisa

A empresa onde o estudo ocorreu, foi fundada em 1985, no município de Barcarena, no estado do Pará. Atualmente, a empresa possui, aproximadamente, 2400 funcionários, diretos e indiretos. Em algumas áreas, a empresa trabalha em formato de turno, sendo que os turnos são das 7:00 às 15:00, de 15:00 às 23:00 e de 23:00 às 7:00. Outros setores trabalham em horário administrativo, das 8:00 às 17:00. O local tem como principal atividade a fabricação de alumínio primário, em formato de lingotes, que são dispostos em pilhas com vários lingotes, antes de sua expedição.

A empresa também fabrica ligas de alumínio específicas para atender à demanda de diversos clientes nacionais e internacionais. Além dos lingotes, sejam de alumínio primário ou de ligas específicas, a empresa realiza o transporte de alumínio, em forma líquida, para um cliente da região.

4.2 Descrição e mapeamento do processo atual

A atividade de transporte de metal líquido envolve, basicamente, 3 áreas de empresa: “Reduções”, “Fundição” e “Transporte de Metal”. O primeiro momento da fabricação do alumínio, começa em áreas conhecidas como “Reduções”.

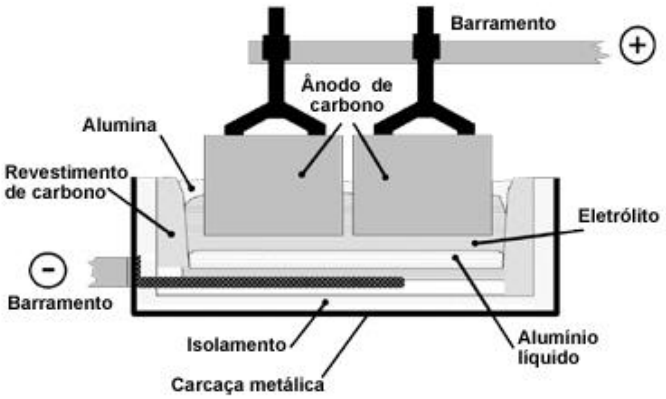
Figura 3 – Layout das reduções no local



Fonte: Autores.

Nesta área é recebido um composto químico conhecido como alumina – óxido de alumínio. A alumina é transportada por caminhões, de uma refinaria próxima até a empresa onde o alumínio é fabricado. A alumina é inserida em cubas eletrolíticas, conhecidas no local como fornos. Por meio da reação química de eletrólise – na presença de banho eletrolítico - ocorre a redução da alumina em alumínio primário, consistindo na dissociação eletrolítica da alumina, que se decompõe em oxigênio e em alumínio líquido, que se deposita no fundo da cuba eletrolítica.

Figura 4 – Desenho esquemático de uma cuba eletrolítica



Fonte: ABAL (2019).

A retirada do alumínio líquido da cuba eletrolítica é feita por meio de um equipamento conhecido como cadinho. Na empresa, existem 3 tipos de cadinhos, mostrados na Figura 5, que possuem diferentes funções:

- cadinho de corrida de banho (CCB): basicamente, esse tipo de cadinho é utilizado para inserção ou retirada de banho eletrolítico das cubas da área de redução;
- cadinho de corrida de metal (CCM): é utilizado para retirar o alumínio líquido da cuba eletrolítica e depositá-lo em um outro tipo de cadinho, conhecido com CTM (cadinho de transporte de metal);
- cadinho de transporte de metal (CTM): é usado para transportar alumínio líquido até os fornos de espera. Este tipo de cadinho é acoplado em um trailer transportador que é puxado por um caminhão.

Figura 5 – Da esquerda para a direita os cadinhos CCB, CCM e CTM



Fonte: Autores.

Após a retirada do alumínio líquido da cuba eletrolítica pelo cadinho de corrida de metal e disposição do material dentro do cadinho de transporte de metal, caminhões fazem o transporte do CTM para área de fundição ou para um cliente externo. Os CTM são transportados em *trailers*, que, dentro da empresa, são conhecidos como "*Metal Trailers*". Um exemplo desse conjunto de veículo mais *trailer* pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Conjunto caminhão-*trailer*



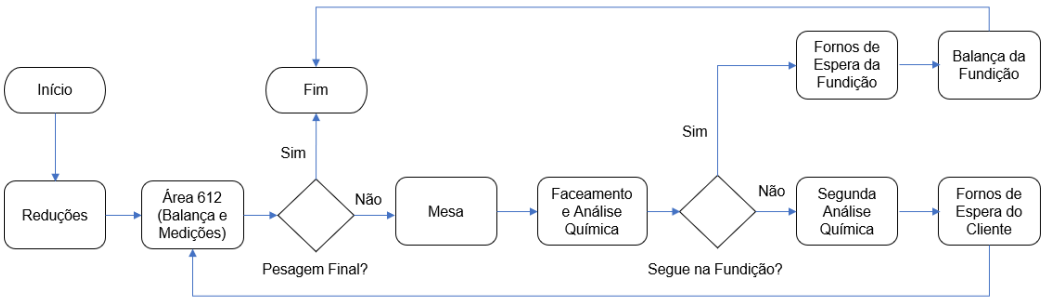
Fonte: Autores.

O ciclo de transporte de metal líquido deve acontecer 129 vezes por dia, sendo o número de ciclos de transporte uma meta de produtividade e um KPI que é acompanhado todos os dias para análise de produtividade. Como a empresa possui 3 turnos, é esperado que em cada turno sejam realizados 43 ciclos de transporte de metal líquido.

O transporte do alumínio líquido passa por diversas etapas até ser finalizado com o derramamento da carga dentro de fornos de espera e com a volta do caminhão de transporte para a área de redução. Nesse contexto, o transporte de metal líquido pode seguir 2 fluxos, um para os fornos de espera na área de fundição da empresa e outro para um cliente externo localizado próximo à planta da empresa. Dentro desses fluxos, a maioria dos processos são compartilhados, sendo que, no fluxo de transporte ao cliente, existem alguns processos exclusivos.

Num primeiro momento, foi realizado o mapeamento dos processos da atividade, em notação BPMN (*Business Process Model and Notation*), com validação do fluxo de atividades junto aos operadores – modelo *as-is*. O mapeamento pode ser visto no Anexo A deste trabalho. A Figura 7 mostra um fluxograma resumido do ciclo de transporte para a área de fundição e para o cliente.

Figura 7 – Fluxograma resumido dos possíveis caminhos de um ciclo de transporte



Fonte: Autores.

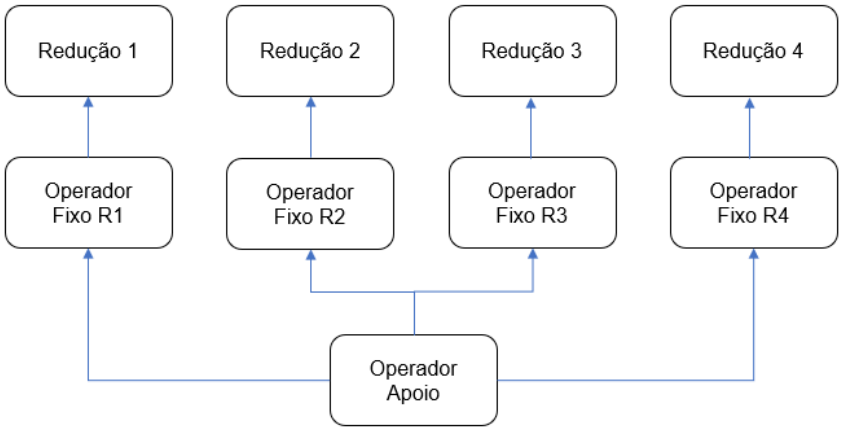
4.3 Realização de cronometragens

Após a realização do mapeamento de processos *as-is*, foi iniciada a realização das cronometragens. Para as tomadas de tempo, a leitura repetitiva foi o método de cronometragem escolhido, onde o cronômetro é zerado ao se iniciar um novo elemento do processo e o tempo de cada elemento é registrado em uma folha de observação.

Foram observados 4 operadores na atividade de transporte de metal líquido. Os motoristas selecionados para acompanhamento são os conhecidos como “apoio”. Estes operadores realizam ciclos de transporte de metal líquido de todas as reduções, levando a um retrato mais fiel da realidade da operação. Os operadores trabalham em regime de turno. Em cada um dos 3 turnos da empresa, existem 4 motoristas fixos (1 motorista por redução) e 1 motorista de apoio.

Os motoristas de apoio realizam transporte de CTM de todas as reduções, a depender da demanda de transporte de metal. Neste sentido, quando há alta prioridade de transporte de metal líquido de uma redução e o motorista fixo desta redução não suporta a demanda, o motorista de apoio realiza essa função. A Figura 8 ilustra a dinâmica de trabalho dos motoristas em cada turno.

Figura 8 – Modelo esquemático de atendimento de reduções por motoristas



Fonte: Autores.

4.3.1 Divisão da operação em elementos

Para facilitar a análise de todo o processo e identificar quais das atividades possuem gargalos e podem ser otimizadas, o ciclo de transporte dividido em pequenas partes para que pudessem ser cronometrados os tempos de operação dessas partes do processo. Foram definidos, então, 26 elementos, incluindo as atividades envolvidas no ciclo de transporte para a área de fundição e para o cliente externo, como ilustra o Quadro 3.

Quadro 3 – Elementos da atividade

Elemento	Atividade	Descrição	Elemento	Atividade	Descrição
1	Balança para redução	Tempo gasto da balança de 2ª pesagem até a redução	**14**	Espera por ordens do operador da mesa	Tempo gasto na espera por direcionamento da carga de metal
2	Espera na redução	Tempo gasto procurando CTM cheio na redução	**15**	Análise de metal (cliente)	Tempo gasto na realização de nova análise da amostra de metal,
3	Desatrelamento	Atividade de desacoplar um CTM vazio do conjunto	**16**	Deslocamento para o cliente	Tempo gasto em movimentação da segunda análise química até a portaria do cliente
4	Atrelamento	Atividade de acoplar um CTM cheio no conjunto	**17**	Parada na portaria	Tempo de espera por liberação de entrada na portaria do cliente

5	Redução para 612	Tempo gasto de transporte da redução até a área 612	**18**	Deslocamento portaria/fornos	Tempo gasto pelo operador na movimentação da portaria do cliente até a área dos fornos
6	Fila/espera	Tempo de espera em fila, na área 612	**19**	Espera pelo direcionamento ao forno	Tempo que o motorista espera para saber qual forno deve bascular
7	Tempo de preparo	Tempo gasto pelo operador para ajustar caixa de escória e vestir EPI's	**20**	Basculamento no cliente	Tempo gasto pelo operador na atividade de basculamento na planta do cliente
8	Escumagem	Tempo gasto na retirada de escória do metal líquido	**21**	Deslocamento cliente/balança	Tempo gasto para deslocamento do cliente até a balança da área 612 para 2ª pesagem
9	Retirada de amostra e temperatura	Tempo gasto para retirada de amostra de metal e medição de temperatura	**22**	Deslocamento para o forno	Tempo para movimentação do conjunto da área mesa até o forno de espera da fundição
10	Movimentação do operador ao *metal trailer*	Tempo gasto pelo operador na movimentação até o caminhão	**23**	Basculamento	Tempo gasto na atividade de basculamento na área de fundição
11	612 para Mesa	Tempo de movimentação do conjunto até a área "Mesa"	**24**	Direcionamento para 2ª pesagem	Tempo gasto para movimentação até a chegada na balança de 2ª pesagem
12	Faceamento	Tempo gasto pelo operador na atividade	**25**	Fila/espera	Tempo gasto em espera em fila para realização de 2ª pesagem
13	Análise de metal	Tempo gasto pelo operador na atividade	**26**	Pesagem final	Tempo gasto do início ao final da 2ª pesagem do conjunto caminhão-*trailer*

Fonte: Aurores.

É importante ressaltar que, do 15º elemento até o 21º elemento, as atividades correspondem, exclusivamente, ao ciclo de transporte de metal líquido para o cliente. Para o ciclo de transporte da área de redução para a área de fundição, considera-se que após o 14º elemento o ciclo continua no 22º elemento. Foi construído, então, um modelo de folha de observação, com todos os processos existentes em um ciclo de transporte, que pode ser vista no Anexo B.

5 CÁLCULO DE PARÂMETROS

5.1 Número de ciclos a serem cronometrados

5.1.1 Ciclo de transporte para área de fundição

Para o cálculo inicial do número de ciclos a serem cronometrados, inicialmente, foram obtidos os tempos de cada uma das atividades de 8 ciclos de transporte de metal líquido, para fornos de espera da área de fundição. A Tabela 1 mostra as 8 medições realizadas para o ciclo de transporte para a área de fundição e a Tabela 2 mostra o número de ciclos a serem cronometrados, obtido após o cálculo realizado. Para os cálculos foram utilizados os seguintes valores:

- coeficiente de distribuição normal (Z) igual a 1,96 - grau de confiabilidade de 95%;
- erro relativo (Er) igual a 5% ou 0,05;
- coeficiente d_2 igual a 2,847 - valor tabelado para 8 medições iniciais.

Tabela 1 – Medições iniciais nos ciclos de transporte para a área de fundição

Elemento	Ciclos Cronometrados							
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª
1	02:39	02:25	02:31	02:49	02:25	02:54	03:07	03:04
2	04:31	04:21	04:19	03:45	03:57	04:26	04:53	04:36
3	00:57	00:52	00:58	00:50	00:51	00:50	00:48	00:59
4	02:13	02:20	02:35	02:10	02:10	02:15	02:13	02:25
5	04:51	04:24	04:48	04:32	04:05	03:36	03:58	04:16
6	08:03	08:38	07:57	07:24	09:19	06:58	09:08	07:12
7	01:26	01:19	01:18	01:21	01:28	01:32	01:24	01:39
8	01:37	01:55	02:00	01:57	01:54	01:57	01:34	01:43
9	01:27	01:05	01:06	01:20	01:10	01:15	01:22	01:25
10	02:02	01:49	01:47	01:45	01:46	01:29	01:41	01:58
11	01:02	01:07	01:18	01:15	01:07	01:14	01:02	01:04
12	00:48	00:42	00:44	00:40	00:47	00:49	00:41	00:40
13	01:55	01:59	01:47	01:45	01:39	01:47	01:41	01:38
14	01:37	01:32	01:39	01:27	01:14	01:29	01:42	01:41
22	01:35	01:43	01:38	01:34	01:27	01:37	01:19	01:20
23	05:39	04:57	05:17	04:19	05:20	04:22	04:17	05:21
24	00:45	00:49	00:43	00:45	00:41	00:42	00:41	00:40
25	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
26	00:18	00:19	00:18	00:16	00:15	00:19	00:17	00:16

Fonte: Autores.

Tabela 2 – Número de ciclos a serem cronometrados para a área de fundição

Elemento	Nº de Medições Totais Necessárias	Medições Adicionais Necessárias
1	13	5
2	13	5
3	9	1
4	7	0
5	16	8
6	17	9
7	12	4
8	11	3
9	16	8
10	18	10
11	11	3
12	8	0
13	8	0
14	18	10
22	14	6
23	15	7
24	9	1
25	0	0
26	11	3

Fonte: Autores.

Em seguida, foram realizadas novas medições, até se atingir o número ideal de ciclos cronometrados. A Tabela 3 mostra os tempos obtidos após as medições complementares nos elementos que necessitaram novas cronometragens.

Tabela 3 – Ciclos complementares cronometrados

Elemento	Ciclos Complementares Cronometrados											
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
1	03:07	03:45	02:33	02:25	04:20	03:48	03:42	02:42	03:39			
2	04:36	05:14	04:05	04:48	04:58							
3	00:54											
5	05:37	03:50	03:57	04:36	04:18	04:26	04:01	04:50	05:08			
6	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
7	01:27	01:42	01:18	01:27	01:36							
8	01:34	01:43	02:02	02:00	02:46	02:35	02:17					
9	02:04	01:42	01:57	01:39	01:50	02:07	01:58	01:46				
10	01:52	01:41	01:59	01:47	01:40	01:36	01:55	01:43	01:39	01:47		
11	01:02	00:57	01:00									
14	02:56	02:32	03:14	01:37	02:12	00:42	01:46	02:18	00:49	01:33		
22	01:19	00:55	00:31	01:34	01:22	01:41	01:14					

23	04:17	05:21	05:09	07:07	04:27	05:09	05:59	06:14	05:21	04:36	06:46	04:50
24	00:51	00:45	00:38	00:49	00:35	00:37	00:41	00:48	00:43			
26	00:16	00:19	00:14	00:17	00:16	00:18	00:16					

Fonte: Autores.

Para alguns dos processos, não foram necessárias novas medições, então optou-se por realizar medições complementares, de forma individualizada, nos processos que necessitaram o registro de novas medições. Em seguida, calculou-se a média dos tempos de cada uma das atividades e realizou-se o somatório das médias, para se chegar ao tempo médio de um ciclo, cujo valor encontrado foi de 40 minutos e 23 segundos. Este tempo será o adotado como tempo cronometrado (TC).

5.1.2 Ciclo de transporte para a empresa cliente

No segundo momento, foram cronometrados apenas os tempos das atividades específicas do ciclo de transporte de metal líquido, mas que seriam direcionados para o cliente externo. Para o cálculo do número de ciclos a serem cronometrados, adotaram-se os mesmos valores para o coeficiente de distribuição normal, coeficiente D_2 e erro relativo utilizados para o cálculo do número de ciclos a serem cronometrados no ciclo de transporte para a área de fundição. A Tabela 4 mostra as 8 cronometragens iniciais realizadas.

Tabela 4 – Cronometragens iniciais do ciclo de transporte para a empresa cliente

Elemento	**Ciclos Cronometrados**							
	1º	**2º**	**3º**	**4º**	**5º**	**6º**	**7º**	**8º**
15	07:15	06:46	08:20	07:08	07:12	07:53	07:49	07:02
16	07:16	06:36	08:00	07:23	07:19	07:47	07:12	07:33
17	01:37	01:48	01:44	01:37	01:42	01:39	01:52	01:34
18	02:53	02:38	02:34	02:34	02:48	02:27	02:36	02:39
19	01:55	02:06	02:19	02:13	02:03	02:12	02:04	02:14
20	04:12	03:53	04:10	03:58	04:45	04:29	03:52	04:27
21	04:12	04:15	05:08	05:05	04:53	04:49	04:41	04:47

Fonte: Autores

A Tabela 5 mostra o número de ciclos a serem cronometrados, no ciclo de transporte para a empresa cliente. A Tabela 6 mostra as cronometragens complementares obtidas nos elementos que necessitaram novas medições.

Tabela 5 - Número de ciclos a serem cronometrados no transporte para o cliente

Elemento	Nº de Medições Totais Necessárias	Medições Adicionais Necessárias
15	9	1
16	7	0
17	6	0
18	6	0
19	7	0
20	9	1
21	8	0

Fonte: Autores

Tabela 6 – Ciclos complementares cronometrados para o cliente externo

Elemento	Ciclos Cronometrados
	1º
15	07:15
20	07:16

Fonte: Autores.

Como a maioria das atividades de um ciclo de transporte são compartilhadas entre o ciclo de transporte para a área de fundição e para o cliente, os tempos relativos às atividades envolvidas, exclusivamente, no transporte para o cliente, foram incorporados aos tempos registrados anteriormente para as outras atividades, excluindo-se as que não fazem parte do ciclo de transporte para o cliente, sendo possível obter o tempo cronometrado deste ciclo. Assim, para o ciclo de transporte ao cliente externo, o tempo cronometrado obtido foi de 63 minutos e 17 segundos.

5.2 Avaliação do fator de ritmo

De acordo com as observações feitas durante a operação e com base na percepção dos operadores em relação à atividade, foi utilizado o sistema *Westinghouse*. Os valores definidos podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Atribuição dos valores do fator de ritmo

Fator de Ritmo	Classe	Valor Numérico
Habilidade	C1	0,06
Esforço	C2	0,02
Condições	D	0,00
Consistência	C	0,01
Total	**∑A**	**0,09**

Fonte: Autores

Sendo assim, de acordo com os valores atribuídos, utilizando os critérios do sistema *Westinghouse*, o fator de ritmo possui um valor de 1,09.

5.3 Cálculo do tempo normal

Primeiramente calculou-se o tempo normal para o ciclo de transporte de metal líquido para a área de fundição. Para tornar o cálculo do tempo normal mais prático, o tempo cronometrado foi transformado em segundos.

$$TN = TC\ x\ V$$
$$TN = 2423\ x\ 1{,}09$$
$$TN = 2641\ s = 44\ min$$

Em seguida, calculou-se o tempo normal para o ciclo de transporte para o cliente, realizando, novamente, a conversão do tempo cronometrado para segundos.

$$TN = TC\ x\ V$$
$$TN = 3797\ x\ 1{,}09$$
$$TN = 4138{,}73\ s = 68\ \text{min}\ 58\ s$$

Realizando a conversão do resultado obtido em segundo, o tempo normal obtido, para o ciclo de transporte para o cliente, foi de, aproximadamente, 68 minutos e 58 segundos.

5.4 Cálculo do fator de tolerância

O turno de trabalho da empresa possui 8 horas de duração, sendo que nessas horas está incluída 1 hora de intervalo para almoço. Além deste tempo, com base na percepção dos operadores acompanhados, definiu-se que há um gasto de cerca de 5 minutos no turno, para necessidades pessoais. Portanto, para um turno de 8 horas, foi considerada 1 hora e 5 minutos como tempo ocioso. Este valor, que será considerado como P, equivale a 13,54% do tempo total disponível no turno.

$$FT = \frac{1}{1 - P}$$

$$FT = \frac{1}{1 - 0{,}1354}$$

$$FT = \frac{1}{0{,}8646}$$

$$FT = 1{,}1566$$

5.5 Cálculo do tempo padrão

Tal como o cálculo do tempo normal, o tempo padrão foi calculado para cada um dos ciclos de transporte de metal líquido. Primeiramente, foi calculado o tempo padrão do ciclo de transporte para a área de fundição, usando-se a Equação 5. O tempo normal foi utilizado em segundos.

$$TP = TN\ x\ FT$$

$$TP = 2641\ x\ 1{,}1566$$

$$TP = 3054{,}58\ s = 50\ \text{min}\ 54\ s$$

Em seguida, foi calculado o tempo padrão do ciclo de transporte para o cliente. O tempo normal para este caso também foi utilizado em segundos.

$$TP = TN\ x\ FT$$

$$TP = 4138{,}73\ x\ 1{,}1566$$

$$TP = 4786{,}85\ s = 79\ min\ 46\ s$$

5.6 Impacto operacional e de produtividade

Do ponto de vista da produtividade, sabe-se que a meta definida para o número de ciclos de transporte de metal, por turno, é de 43 ciclos. Esse valor inclui tanto os ciclos de transporte para a área de fundição quanto os ciclos de transporte para o cliente. Baseado na meta do número de ciclos por turno, calculou-se o *takt time* do processo.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ operacional\ líquido\ disponível}{Quantidade\ total\ a\ ser\ produzida}$$

$$Takt\ Time = \frac{415\ minutos}{43}$$

$$Takt\ Time = 9{,}65\ minutos\ por\ ciclo\ de\ transporte$$

De acordo com o *takt time* obtido, espera-se que, com base no tempo *takt* da atividade, a operação deve concluir um ciclo de transporte a cada 9,65 minutos para atender à meta de 43 ciclos por turno. Sabendo os tempos padrão dos dois ciclos de transporte, é possível realizar uma análise de produtividade, vista na Tabela 8.

Dividindo-se o tempo útil em cada turno - excluindo-se os tempos de intervalo para almoço e tempo gasto para necessidades pessoais – pelos tempos padrão de cada ciclo, observou-se que, num turno hipotético, com ciclos de transporte apenas da redução para a fundição, são possíveis, aproximadamente, 8 ciclos de transporte.

Já para um turno hipotético apenas com ciclos de transporte para o cliente, são possíveis, aproximadamente, 5 ciclos. Aqui vale observar que, num turno real, acontecem ciclos de transporte tanto fundição quanto para o cliente, de forma conjunta. Dessa forma, a montagem dos cenários hipotéticos, onde um turno comporta viagens, exclusivamente para determinado ciclo de transporte, foi feita apenas para fins de análise de produtividade.

Tabela 8 – Análise de produtividade por ciclo de transporte

Ciclo de Transporte	Tempo Padrão (s)	Tempo Útil/Turno (s)	Nº de Ciclos Possíveis
Redução-Fundição	3054,58	24900	8,2
Redução-Cliente	4786,85	24900	5,2

Fonte: Autores.

5.7 Melhorias no processo

No que diz respeito às melhorias, foi construída uma nova plataforma de realização de escumagem e retirada de amostra de metal e temperatura. Antes da melhoria ser testada, existia apenas uma plataforma para realização das atividades citadas anteriormente, assim, um conjunto caminhão-*trailer*, poderia adentrar a área da balança por vez, para pesagem, escumagem e retirada de amostras de metal e temperatura, o que formava filas de espera, como mostra a Figura 9. Além disso, as filas de espera possuíam tempo cronometrado de 5 minutos e 26 segundos.

Figura 9 – Formação de fila antes da área 612



Fonte: Autores.

Após a implantação da nova plataforma, enquanto um caminhão está na balança realizando escumagem e retirada de amostras de metal e temperatura, outro caminhão, ao invés de esperar na fila, pode realizar, também, o processo de escumagem e retirada de amostras de metal e temperatura. A Figura 10 mostra a plataforma existente antes da implantação da estrutura adicional.

Figura 10 – Plataforma de escumagem



Fonte: Autores.

A Figura 11 mostra a nova plataforma de escumagem e retirada de amostra e temperatura do metal líquido.

Figura 11 – Nova plataforma de escumagem



Fonte: Autores.

Durante o processo de instalação da nova plataforma, foram feitas 12 tomadas de tempo, a fim de se identificarem os tempos de espera dos caminhões em fila e, com o uso da nova plataforma, não houve geração de fila e o tempo de espera foi reduzido a zero.

Uma outra oportunidade de melhoria identificada, que poderia reduzir o tempo gasto com movimentações, seria o uso de um laboratório ao lado da área “Mesa”, para se realizar a análise química adicional, da amostra de metal, no ciclo de transporte para o cliente. No atual ciclo de transporte para o cliente externo, a segunda análise química é realizada no laboratório central da empresa. De acordo com os dados obtidos, no ciclo atual, o tempo cronometrado de movimentação para o laboratório mais realização de análise química é igual a 7 minutos e 25 segundos. Foram feitas 5 tomadas de tempo, usando o laboratório ao lado da área “Mesa” como teste, para observar se haveria diminuição relevante no tempo cronometrado. Os dados podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9 – Tomadas de tempo teste para a segunda análise química

Atividade	Medição	Tempo
2ª análise química	1	00:05:44
	2	00:05:24
	3	00:06:18
	4	00:05:52
	5	00:05:39
	Média	**00:05:47**

Fonte: Autores.

Como pode ser observado na Tabela 9, notou-se diminuição de 1 minuto e 38 e segundos em relação ao tempo cronometrado usando-se o laboratório central, para realização de segunda análise química, no ciclo de transporte de metal para o cliente.

5.8 Síntese dos resultados

Após a realização do estudo e observação dos resultados das possíveis mudanças no processo, foi feito um novo mapeamento do processo – *to-be* - com as mudanças sugeridas, tanto relativo à nova plataforma de escumagem quanto à mudança de laboratório para realização da segunda análise química. Esse mapeamento permite observar a nova dinâmica dos processos após a otimização. O novo mapeamento pode ser visto no Anexo C.

Observou-se que a capacidade da operação realizar os ciclos de transporte, tanto para fundição, quanto para o cliente externo, de acordo com os tempos padrão calculados, não é o suficiente para, ao menos, igualar o *takt time*, com base na meta estabelecida pela empresa. É importante ressaltar que, para atingir metas de produção e entrega de cargas para o cliente, a empresa também costuma utilizar artifícios como horas extras, extensão do horário de trabalho e reforço de pessoal na equipe de motoristas. Esses artifícios não foram levados em consideração para este estudo.

O cenário poderia ser otimizado com melhorias no processo. O teste da nova plataforma de escumagem e retirada de amostra de metal e temperatura mostrou que essa é uma solução ótima para a redução do tempo de espera em fila antes da balança da área 612, reduzindo o tempo cronometrado no 6º elemento de 5 minutos e 26 segundos para zero. Nesse contexto, se a cada ciclo de transporte de metal fossem reduzidos, em média, 5 minutos e 26 segundos na fila de espera, a cada 10 ciclos de transportes seriam economizados 54 minutos e 20 segundos.

Considerando essa nova dinâmica, o tempo cronometrado do ciclo de transporte para a área de fundição seria de 34 minutos e 57 segundos e, no ciclo de transporte para o cliente, esse valor seria de 57 minutos e 51 segundos. Calculando novamente os tempos normal e padrão, obteve-se os valores mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Novos tempos normal e padrão

Ciclo de Transporte	Tempo Normal (s)	Tempo Padrão (s)
Redução-Fundição	2285,7	2643,6
Redução-Cliente Externo	3783,4	4375,8

Fonte: Autores.

Com base nos novos tempos, foi possível observar um ganho de produtividade gerado no ciclo de transporte, especialmente no transporte de metal para a área de fundição, havendo um aumento de produtividade de 15,5%, com o número de ciclos de transportes possíveis por turno passando de 8,2 ciclos para 9,4 ciclos. Como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Novos valores de ciclos possíveis por turno

Ciclo de Transporte	Tempo Padrão (s)	Tempo Útil/Turno (s)	Nº de Ciclos Possíveis
Redução-Fundição	2643,6	24900	9,4
Redução-Cliente	4375,8	24900	5,7

Fonte: Autores.

Para o ciclo de transporte ao cliente, seria recomendado, também, a implementação do processo de segunda análise química no laboratório próximo à área ‘Mesa”. Com a redução de 1 minuto e 38 segundos, no tempo cronometrado do ciclo para o cliente, como observado no teste realizado e apresentado na Tabela 9. Dessa forma, os valores de tempo normal e tempo cronometrado poderiam ser otimizados.

- tempo normal (ciclo de transporte ao cliente após mudança de laboratório):

$$TN = TC\ x\ V$$
$$TN = 3373\ x\ 1{,}09$$
$$TN = 3676{,}57\ s = 61\ min\ 16\ s$$

- tempo padrão (ciclo de transporte ao cliente após mudança de laboratório):

$$TP = TN\ x\ FT$$
$$TP = 3676{,}57\ x\ 1{,}1566$$
$$TP = 4252{,}32\ s$$

Com essa mudança, o número de ciclos de transporte, somente para o cliente, possíveis em um turno, seria de quase 6 ciclos, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 – Número de ciclos possíveis após mudança de laboratório

Ciclo de Transporte	Tempo Padrão (s)	Tempo Útil/Turno (s)	Nº de Ciclos Possíveis
Redução-Fundição	2643	24900	9,4
Redução-Cliente	4252	24900	5,9

Fonte: Autores.

Apesar de o ganho não parecer expressivo, este é um valor ótimo, uma vez que, de acordo com a supervisão, são realizados, em média, apenas 2 ciclos de transporte para o cliente. Esse valor varia, pois o ciclo de transporte para o cliente depende da demanda solicitada por turno. Assim, o restante dos ciclos é direcionado à área de fundição.

5.9 Limitações da pesquisa

Quanto às limitações deste estudo, é importante pontuar que no teste de mudança de laboratório, para cronometragem dos tempos de segunda análise química, no ciclo de transporte de metal para o cliente, foi possível a realização de apenas 5 tomadas de tempo, e não foi realizado o cálculo do número de ciclos a serem cronometrados, portanto a análise se baseou apenas no tempo cronometrado da atividade, onde foi utilizada a média dos valores obtidos. Isso aconteceu pela dinâmica de trabalho do local, que realiza análises laboratoriais de outra área da empresa e o direcionamento de demandas do transporte de metal líquido poderia sobrecarregar o laboratório.

6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo reduzir as perdas de tempo decorrentes de esperas e movimentações desnecessárias no transporte de metal líquido em uma indústria de alumínio primário localizada em Barcarena, Pará, por meio da integração entre o mapeamento de processos em notação BPMN e o estudo de tempos e movimentos. Os resultados demonstram que a aplicação conjunta dessas ferramentas

permitiu caracterizar o fluxo operacional, quantificar as perdas existentes, identificar os principais gargalos e avaliar melhorias direcionadas ao aumento da produtividade da operação.

Dada a importância do transporte de metal líquido para a cadeia produtiva do alumínio na empresa, é recomendado um foco maior na implementação de melhorias nas atividades que geram espera, sobretudo em áreas que fogem do controle da gerência de transporte de metal líquido, como, por exemplo na área de redução, onde há espera excessiva e perda de tempo ao ser procurarem cadinhos com metal líquido. Dessa forma, deve haver um trabalho colaborativo entre as áreas, com foco em potencializar possíveis soluções para esse problema, por meio de uma visão holística da cadeia produtiva da empresa.

Retomando a questão de pesquisa que orientou este trabalho — como reduzir as perdas de tempo decorrentes de esperas e movimentações desnecessárias no ciclo de transporte de metal líquido —, os resultados indicam que a integração entre o mapeamento de processos e o estudo de tempos e movimentos permitiu identificar e eliminar perdas que os indicadores usuais da operação não revelavam. A espera em fila antes da área 612, responsável por 5 minutos e 26 segundos por ciclo, foi eliminada com a implantação da segunda plataforma de escumagem, reduzindo o tempo padrão do ciclo destinado à área de fundição de 3.054,58 s para 2.643,60 s, o que corresponde a um ganho de produtividade de 15,5% e à ampliação da capacidade de 8,2 para 9,4 ciclos por turno.

No ciclo destinado ao cliente externo, a realocação da segunda análise química para o laboratório adjacente à área "Mesa" reduziu 1 minuto e 38 segundos adicionais, elevando a capacidade de 5,2 para 5,9 ciclos por turno. Considerada a meta de 129 ciclos diários, a eliminação da fila representa uma recuperação de capacidade equivalente a mais de 11 horas de operação por dia.

Cabe registrar, contudo, que mesmo após as melhorias implementadas a capacidade calculada permanece inferior ao *takt time* exigido pela meta de 43 ciclos por turno, o que indica que o problema não se esgota nas intervenções aqui avaliadas. As perdas remanescentes concentram-se em etapas que extrapolam a gerência de transporte de metal, sobretudo a espera na área de redução pela localização de

cadinhos com metal líquido, o que aponta para a necessidade de tratamento conjunto entre as áreas.

Do ponto de vista prático, o estudo oferece à organização um diagnóstico quantitativo dos principais pontos de perda e uma representação estruturada do processo antes e depois das melhorias propostas. A integração entre o mapeamento BPMN e a cronoanálise contribuiu para relacionar as causas das perdas às etapas específicas do fluxo, subsidiando decisões de melhoria com base em dados observados. A abordagem também pode ser adaptada a outras operações logísticas industriais que apresentem fluxos interdependentes, restrições de capacidade e necessidade de redução de tempos improdutivos.

Como limitação da pesquisa, destaca-se que o teste de mudança do laboratório para a segunda análise química foi realizado com apenas cinco tomadas de tempo, sem o cálculo prévio do número de medições necessárias para assegurar o nível de precisão adotado no estudo principal. Assim, os resultados dessa intervenção devem ser interpretados como indicativos de potencial de melhoria, e não como uma validação definitiva do novo método. Além disso, a investigação foi conduzida em uma única unidade industrial, com acompanhamento de quatro motoristas durante duas semanas, o que restringe a generalização dos resultados para outras operações e condições de trabalho.

Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o período de observação e o número de operadores e ciclos acompanhados, validar estatisticamente os ganhos obtidos após a implementação das melhorias e investigar as causas das esperas remanescentes nas áreas de redução. Sugere-se, ainda, avaliar a viabilidade operacional da mudança de laboratório, acompanhar os indicadores de produtividade após a consolidação das intervenções e investigar a aplicação integrada do mapeamento de processos e da cronoanálise em outras operações industriais. Dessa forma, será possível aprofundar a compreensão dos fatores que afetam a capacidade de transporte e identificar novas oportunidades de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Alumínio – Cadeia Primária**. Disponível em: https://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/. Acesso em: 20 jan. 2024.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blücher, 1986.

BRUYNE, P. de; HERMAN, J.; SCHOUTHEETE, M. de. **Dinâmica da pesquisa em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Francisco Alves Editora, 1991.

CAI, J. Y.; TSENG, C. Y.; HUANG, T. S. Work Study and Simulation Optimization of Supply-demand Balancing in the Moth Orchid Plant Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1966-1975, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.347

COELHO, L. L.; GONÇALVES, A. T. P. Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) aplicado à operação logística de uma distribuidora do Agreste Pernambucano. **Revista Produção Online**, v. 25, n. 1, e5284, 2025. DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i1.5284

CORRÊA, L. E. A. Estudo de tempos e movimentos. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 11, n. 19a, p. 22-42, 2023. DOI: https://doi.org/10.5380/relainep.v11i19a.88269

DUMAS, M.; LA ROSA, M.; MENDLING, J.; REIJERS, H. A. **Fundamentals of business process management**. Berlin: Springer, 2013.

FREIVALDS, A.; NIEBEL, B. **Niebel's** Methods, Standards, and Work Design. 13. ed. New York: McGraw-Hill, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

IOVANELLA, A. Exploiting network science in business process management: A conceptual framework. **Chaos, Solitons and Fractals**, v. 178, art. 114344, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.114344

JUSTA, M. A. O. da; LAGO NETO, J. C. do; SILVA, R. O. da. Aplicação das técnicas de cronoanálise e mapa de fluxo de valor para a melhoria da capacidade de produção de uma fábrica do setor automotivo na Zona Franca de Manaus. **Revista Produção Online**, v. 25, n. 3, e5353, 2025. DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i3.5353

JUSTA, M. A. O. da; SILVA, R. O. da. A aplicabilidade da metodologia Business Process Model and Notation (BPMN) para a melhoria dos processos de uma fábrica situada na Zona Franca de Manaus. **Revista Produção Online**, v. 26, n. 2, e5546, 2026. DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i2.5546

LUCIANO, E. L. L. et al. Mapeamento do fluxo de valor para caracterização do takt time como indicador de performance aplicado ao setor cafeeiro. **Revista Univap**, v. 29, n. 63, 2023. DOI: https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v29i63.4380

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MOKTADIR, M. A.; AHMED, S.; TUJ ZOHRA, F.; SULTANA, R. Productivity Improvement by Work Study Technique: A Case on Leather Products Industry of Bangladesh. **Industrial Engineering & Management**, v. 6, n. 1, p. 1-11, 2017. DOI: 10.4172/2169-0316.1000207

MUNDEL, M. E. **Estudo de movimentos e tempos – princípios e práticas**. São Paulo: Mestre Jou, 1966.

NABI, F.; MAHMUD, R.; ISLAM, M. Improving Sewing Section Efficiency through Utilization of Worker Capacity by Time Study Technique. **International Journal of Textile Science**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2015. DOI: 10.5923/j.textile.20150401.01

NANDAKUMAR, N.; SAALEESHYA, P. G.; HARIKUMAR, P. Bottleneck identification and process improvement by Lean Six Sigma DMAIC methodology. **Materials Today: Proceedings**, v. 24, p. 1217-1224, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436

NOOR, N. et al. Optimization Assembly Process base on Motion Time Study in Manufacturing: Study Case and Implementation. **Journal of Applied Science and Agriculture Industry**, v. 9, n. 21, p. 1-12, 2014. DOI: 10.13140/RG.2.1.4430.2888

NOVOA, C. M.; MENDEZ, F. Bootstrap methods for analyzing time studies and input data for simulations. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 58, n. 5, p. 460-479, 2009. DOI: https://doi.org/10.1108/17410400910965724

OCHOA, C.; MURCIA, H.; FUCINOS, R.; DOMÍNGUEZ, K. New implementation of Work Sampling Analysis for validating the Present Idle Time Indicator of Maintenance and Ship Repairing Business Line of Cotecmar. **Ship Science & Technology**, v. 10, n. 20, p. 9-18, 2017. DOI: https://doi.org/10.25043/19098642.145

OLIVEIRA, A. M.; GALO, N. R.; COSTA JÚNIOR, N. D. Mapeamento do fluxo de valor no setor de suprimentos de uma indústria de aço. **Revista Produção Online**, v. 23, n. 3, e4978, 2023. DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i3.4978

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção**. Curitiba: UnicenP, 2007.

SORDI, J. O. de. Gestão por processos: uma abordagem da moderna administração. 6. ed. [S. l.]: Alta Books, 2022.

SOUSA, M. J. de L.; CORREIA, A. M. M.; GONÇALVES, H. S. Estudo de tempos e movimentos: uma análise em uma distribuidora de alimentos. ***Revista Produção***

Online, *v. 21*, n. 1, p. 259-287, 2021. DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i1.4217

TAPPING, D.; SHUKER, T. **Lean Office: gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas – 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias lean nas áreas administrativas**. São Paulo: Editora Leopardo, 2010.

WAGENAAR, B. H. *et al.* Wait and consult times for primary healthcare services in central Mozambique: a time-motion study. **Global Health Action**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2016. DOI: https://doi.org/10.3402/gha.v9.31980

WU, S. *et al.* Incorporating motion analysis technology into modular arrangement of predetermined time standard (MODAPTS). **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 53, n. 1, p. 291-298, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.03.001

Biografia do(s) autor(es)

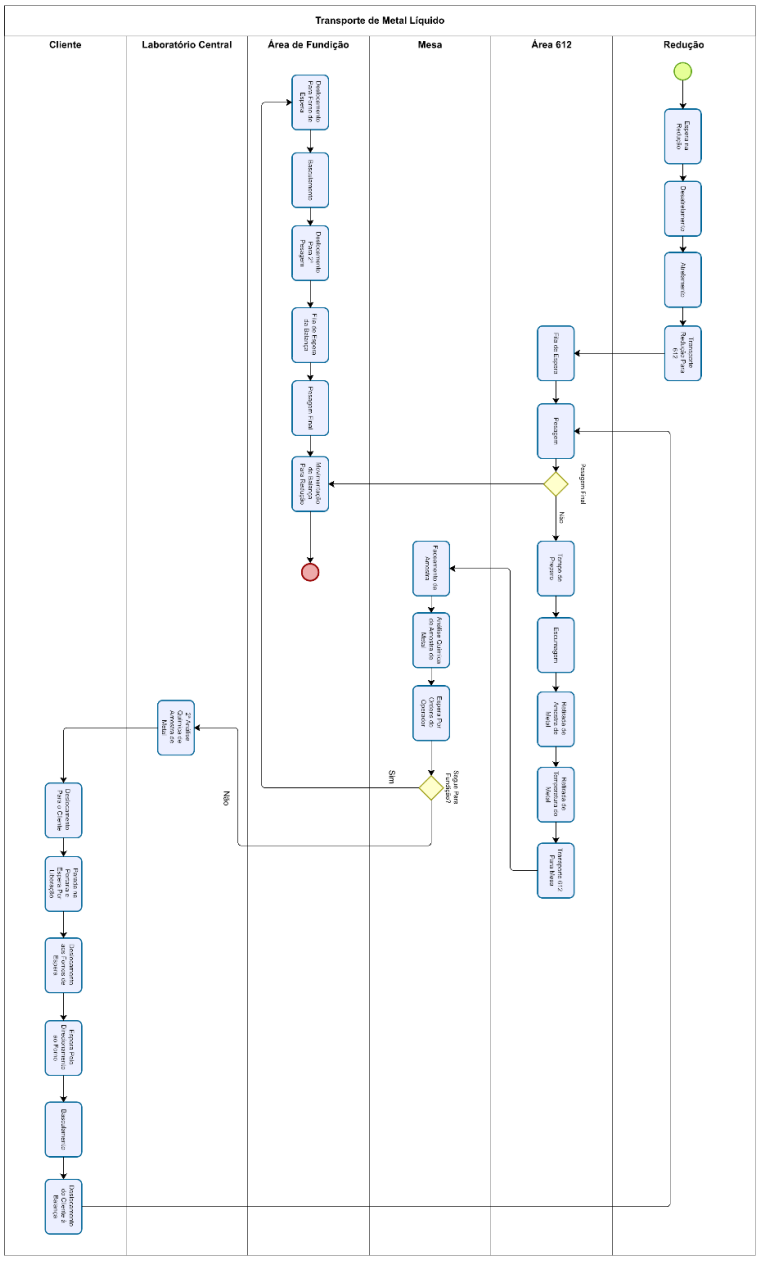
Marcos Gabriel Vieira de Vilhena
Possui graduação em Engenharia de Produção pela UFPA (2024). Mestrando em Engenharia Industrial pela UFPA. Especialista em Engenharia de Materiais e Processos de Fabricação (2024) pela PUC/MG e Ciência de Dados (2024) pela PUC/MG. Especialista em Engenharia de Manutenção pela UNAMA (2024) e em Gestão de Operações (2023) e Gestão de Projetos (2023) pela Estácio de Sá. Técnico em Informática pelo IFPA (2021). Possui experiência com gestão de produção e processos industriais, gestão da manutenção de ativos e refratários, logística industrial e implementação de ferramentas de Indústria 4.0.

Harlenn dos Santos Lopes
Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Pará, vinculado ao curso de Engenharia de Produção. Realiza Pós-doutorado na Universidade Federal de Itajubá (Bolsista PDS CNPQ), com Estágio em Cooperação Internacional na University of New Mexico - EUA. Possui ampla experiência em Engenharia de Produção, com ênfase em Logística e Gestão de Operações, atuando principalmente nos seguintes temas: logística, gestão de operações, modelagem e simulação, sustentabilidade e logística agrícola.Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará (2005), mestrado em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Ceará (2008) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (2017).

Artigo recebido em: 12/02/2024 e aceito para publicação em: 18/10/2026
DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i4.5167

ANEXOS

ANEXO A – Mapeamento *as-is* da atividade de transporte de metal, em notação BPMN



ANEXO B – Folha de observação desenvolvida para cronometragens

FOLHA DE OBSERVAÇÃO											
Nº	MOTORISTA						DATA				
	TAREFAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BALANÇA PARA REDUÇÃO										
2	ESPERA NA REDUÇÃO										
3	DESATRELAMENTO										
4	ATRELAMENTO										
5	REDUÇÃO PARA 612										
6	FILA/ESPERA										
7	TEMPO DE PREPARO										
8	ESCUMAGEM										
9	RETIRADA DE AMOSTRA/TEMPERATURA										
10	MOVIMENTAÇÃO DO OPERADOR AO METAL TRAILER										
11	612 PARA MESA										
12	FACEAMENTO										
13	ANÁLISE DE METAL										
14	ESPERA POR ORDENS DO OPERADOR DA MESA										
15	ANÁLISE DE METAL (CLIENTE)										
16	DESLOCAMENTO PARA O CLIENTE										
17	PARADA NA PORTARIA										
18	DESLOCAMENTO PORTARIA-FORNOS										
19	ESPERA PELO DIRECIONAMENTO AO FORNO										
20	BASCULAMENTO CLIENTE										
21	DESLOCAMENTO CLIENTE-BALANÇA										
22	DESLOCAMENTO PARA O FORNO										
23	BASCULAMENTO										
24	DIRECIONAMENTO PARA 2ª PESAGEM										
25	FILA/ESPERA										
26	PESAGEM FINAL										

ANEXO C - Mapeamento *to-be* da atividade de transporte de metal, em notação BPMN

