



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia da Qualidade 4.0
Certificado Black Belt



POLYANNA RAYMUNDO SIMÕES VICENTIN

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA REDUÇÃO DA
GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONCRETO EM UMA CENTRAL DE CONCRETO
USINADO: ESTUDO DE CASO**

**CURITIBA
2026**

POLYANNA RAYMUNDO SIMÕES VICENTIN

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA REDUÇÃO DA
GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONCRETO EM UMA CENTRAL DE CONCRETO
USINADO: ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Qualidade 4.0 - Certificado Black Belt. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA
2026**

RESUMO

A geração de resíduos de concreto representa um desafio ambiental e operacional relevante, especialmente em centrais de concreto usinado, onde perdas de material podem ocorrer em diferentes etapas do processo produtivo. Apesar da importância do tema, ainda são limitados os estudos que aplicam ferramentas estruturadas de melhoria da qualidade para análise sistemática das causas de geração de resíduos em centrais de concreto. Com base nisso, o presente trabalho tem como objetivo aplicar ferramentas da qualidade e a metodologia DMAIC, associada ao Lean Six Sigma, para analisar e propor ações voltadas à redução da geração de resíduos de concreto em uma central de concreto usinado. A pesquisa foi conduzida por meio de um estudo de caso, utilizando ferramentas como mapeamento de processo, gráficos de Pareto e diagrama de Ishikawa para identificar e priorizar as principais causas de geração de resíduos no processo produtivo. Os resultados indicaram que as maiores contribuições para a geração de resíduos de concreto estão associadas a retornos de concreto, resíduos provenientes da lavagem de equipamentos, lama de bate-lastro e erros operacionais de dosagem ou carregamento, evidenciando oportunidades de melhoria relacionadas à padronização de procedimentos, controle operacional e otimização do processo produtivo. Conclui-se que a aplicação estruturada de ferramentas da qualidade permite identificar causas críticas de geração de resíduos e direcionar ações de melhoria com potencial para aumentar a eficiência operacional e reduzir impactos ambientais em centrais de concreto usinado.

Palavras-chave: Lean Six Sigma; resíduos da construção civil; concreto usinado; ferramentas da qualidade; melhoria de processos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DA CENTRAL.....	13
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO CARREGAMENTO E ENTREGA DE CONCRETO	15
FIGURA 3 - PARETO PERDAS CANCELAMENTO CE 2025	28
FIGURA 4 - GRÁFICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	33
FIGURA 5 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA: GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS... ..	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – INDICADORES RESÍDUOS	25
TABELA 2 – PERDA DE MATERIAL E CUSTO MÉDIO (R\$500/M³).....	28
TABELA 3 – LOCALIZAÇÃO DAS QUEBRAS (100% EQUIPAMENTO PRÓPRIO).....	31
TABELA 4 – FONTE DO RESÍDUO	32
TABELA 5 – PRIORIZAÇÃO RPN	29
TABELA 6 – PLANO DE AÇÃO 5W2H.....	39

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	6
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	7
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	8
1.3. JUSTIFICATIVA.....	8
1.4. HIPÓTESE.....	9
1.5. OBJETIVO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE DEFINIR	11
2.2. PRODUÇÃO DE CONCRETO USINADO	12
2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
2.3.1. Classificação dos resíduos da construção civil.....	17
2.3.2. Gerenciamento dos resíduos da construção civil.....	19
2.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	20
2.4.1. Indústria 4.0 e Qualidade 40.....	21
3. METODOLOGIA.....	22
3.1. FASE DEFINIR	22
3.1.1. Requisitos do Projeto.....	Erro! Indicador não definido.
3.2. FASE MEDIR.....	2624
3.3. FASE ANALISAR.....	2625
3.4. FASE MELHORAR	2626
3.5. FASE CONTROLAR	2626
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO MAPA DE RACIOCÍNIO.....	2727
4.1. Quantificação das perdas por cancelamento	Erro! Indicador não definido.
4.2. Análise detalhada das principais falhas operacionais.....	29
4.2.1. Quebra de bomba de concreto na obra	Erro! Indicador não definido.
4.2.2. Alteração do slump do concreto	29
4.2.2. Obstrução da tubulação de bombeamento	30
4.3. Localização das falhas operacionais.....	30
4.4. Análise da controlabilidade das perdas	31
4.5. Geração de Resíduos Operacionais	31
4.6. Diagrama de Ishikawa (6M)	33
4.6.1. Análise de Causas Raiz	36

5. PROPOSTA DE MELHORIAS	36
5.1. Implantação de manutenção preditiva nas bombas de concreto	36
5.2. Padronização do controle de slump e treinamento operacional.....	36
5.3. Procedimentos operacionais para prevenção de obstrução da tubulação...	37
5.4. Implementação de checklist operacional para caminhões betoneira	37
5.5. Monitoramento de indicadores de perdas operacionais.....	38
6. CONCLUSÕES	40
6.1. Sugestões de trabalhos futuros	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A crescente competitividade industrial, associada às exigências regulatórias e ambientais, tem levado organizações a adotar metodologias estruturadas de melhoria contínua para reduzir desperdícios e melhorar o desempenho operacional (SANTOS; RAMOS, 2024).

No setor de concreto usinado, a geração de resíduos sólidos, especialmente os retornos de concreto, representa perdas econômicas e ambientais significativas, frequentemente associadas a falhas de planejamento e de execução (ARAÚJO JUNIOR; SILVA, 2022). Diante disso, a construção civil destaca-se como um dos setores que mais contribuem para a geração de resíduos sólidos, o que exige práticas eficientes de gerenciamento para minimizar impactos ambientais e promover maior sustentabilidade nas atividades produtivas (SANTOS, 2019), assim, a adoção de práticas Lean podem reduzir perdas de concreto retornado por meio de planejamento aprimorado e aproveitamento de materiais, alcançando ganhos de produtividade e sustentabilidade.

Os conceitos da Engenharia da Qualidade, integrados à metodologia Lean Six Sigma, utilizam ferramentas como o diagrama de causa e efeito, o gráfico de Pareto e o 5W2H para identificar causas raízes e propor ações de melhoria (SANTOS; RAMOS, 2024). Em contextos de construção civil, a aplicação de tais ferramentas tem demonstrado eficácia na minimização de perdas de materiais e na otimização de processos (GONÇALVES; POZNYAKOV, 2021), destacando que a implantação de Lean Construction promove vantagens como redução de custos operacionais, melhoria na gestão de insumos e maior foco no valor agregado ao cliente, especialmente em cenários de alta variabilidade.

1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO

No contexto da construção civil, a aplicação dos princípios da produção enxuta busca melhorar o fluxo das atividades e reduzir desperdícios ao longo do processo produtivo, promovendo maior eficiência na utilização de recursos e na organização das etapas de trabalho (FORMOSO, 2009). Esses princípios contribuem para a melhoria do desempenho dos processos produtivos, favorecendo a redução de perdas de materiais e a otimização das operações nas diferentes fases da produção.

O KAIZEN INSTITUTE ([s.d.]) apresenta o Lean Manufacturing como uma abordagem sistêmica para eliminação de desperdícios por meio de cinco princípios fundamentais: definição do valor sob a perspectiva do cliente, mapeamento da cadeia de valor, criação de fluxo contínuo, estabelecimento de sistema pull e busca incessante pela perfeição, promovendo uma produção mais ágil e alinhada às reais necessidades do mercado. Complementarmente, Ishikawa (1986) destaca a importância do diagrama de causa e efeito como ferramenta essencial para análise de causas raízes, estruturando o raciocínio por meio dos 6Ms (método, mão de obra, material, máquina, meio ambiente e medida), o que facilita a identificação sistemática dos fatores que contribuem para variações indesejadas nos processos produtivos.

No âmbito das centrais de concreto usinado, os retornos de concreto representam, tipicamente, entre 2% e 5% do volume produzido diariamente, conforme observado em estudos aplicados que identificam falhas de planejamento de demanda, erros de dosagem e problemas logísticos como principais causas dessas perdas (ARAÚJO JUNIOR; SILVA, 2022). Santos e Ramos (2024) demonstram, por meio da aplicação prática do Lean Construction, que o controle rigoroso de insumos pode elevar significativamente a eficiência operacional, reduzindo perdas materiais e otimizando o fluxo de produção em canteiros de obra e plantas industriais.

Gonçalves, Poznyakov (2021), reforçam que a implantação de práticas de Lean Construction gera vantagens competitivas, incluindo a redução de custos operacionais, melhoria na gestão de estoques de materiais e maior alinhamento entre as expectativas dos clientes e a entrega efetiva do produto, especialmente em cenários caracterizados por alta variabilidade de pedidos e prazos apertados. Por sua vez, Milhan (2021) apresenta a adaptação do Sistema Toyota de Produção para o contexto da construção enxuta, enfatizando pilares como eliminação sistemática de desperdícios, criação de fluxo contínuo ao longo das etapas do processo e padronização das atividades

operacionais, aspectos que podem ser aplicados à gestão de resíduos em processos de dosagem, mistura e transporte de concreto usinado.

No contexto do estudo de caso analisado, dados operacionais preliminares indicam que a central de concreto usinado apresenta uma geração anual estimada de aproximadamente 16.800 m³ de resíduos, provenientes principalmente de processos de lavagem e limpeza dos equipamentos, além de retornos de concreto e materiais não conforme. Esse volume representa uma parcela relevante da produção total e evidencia a necessidade de uma análise sistemática das causas associadas à geração desses resíduos, de modo a identificar oportunidades de melhoria operacional e redução de desperdícios.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Diante do contexto apresentado e considerando os desafios recorrentes de geração de resíduos sólidos nas centrais de concreto usinado, formula-se a seguinte questão de pesquisa:

Como identificar e priorizar as principais causas da geração de resíduos sólidos — incluindo retornos de concreto, lama de bate-lastro, resíduos de lavagem, concretos não conforme e erros de dosagem ou carregamento — em uma central de concreto usinado por meio da aplicação sistemática de ferramentas da qualidade no framework DMAIC?

Esta questão central orienta todo o desenvolvimento do presente estudo de caso, buscando identificar as causas raízes e propor soluções práticas e mensuráveis para um problema recorrente no setor que impacta diretamente os custos operacionais, a eficiência produtiva e a sustentabilidade ambiental.

1.3. JUSTIFICATIVA

Este estudo justifica-se pela relevância acadêmica e profissional associada à gestão de resíduos sólidos em centrais de concreto usinado, especialmente diante dos desafios operacionais e ambientais enfrentados pelo setor da construção civil. A crescente busca por eficiência produtiva e redução de desperdícios tem impulsionado a adoção de metodologias de melhoria contínua e ferramentas da qualidade como

suporte à análise de processos e à tomada de decisão nas organizações industriais. Ademais, a aplicação de ferramentas como o gráfico de Pareto, o diagrama de Ishikawa e o plano de ação 5W2H, estruturadas no framework DMAIC, contribui para a identificação sistemática de causas raízes e para o desenvolvimento de ações de melhoria baseadas em dados, fortalecendo a aplicação prática de metodologias associadas ao Lean Construction e à melhoria contínua (KAIZEN INSTITUTE, [s.d.]; GONÇALVES; POZNYAKOV, 2021).

Do ponto de vista profissional, a relevância deste estudo está relacionada à identificação das principais causas de perdas operacionais em centrais de concreto usinado, incluindo retornos de concreto, geração de lama de bate-lastro, resíduos provenientes de processos de lavagem, não conformidades no produto e erros de dosagem ou carregamento. A compreensão desses fatores possibilita propor mecanismos práticos de melhoria capazes de reduzir custos operacionais associados ao consumo de insumos, descarte e reprocessamento de materiais, contribuindo para maior eficiência produtiva nas operações. Adicionalmente, a adoção de práticas de melhoria contínua e de gestão enxuta pode favorecer a redução de desperdícios e o aprimoramento dos processos produtivos no setor da construção civil (SANTOS; RAMOS, 2024; ARAÚJO JUNIOR; SILVA, 2022).

Além dos aspectos operacionais, o estudo apresenta relevância ambiental ao contribuir para a gestão mais eficiente de resíduos sólidos gerados na produção de concreto usinado. A implementação de práticas de controle e melhoria de processos pode auxiliar na redução de impactos ambientais associados à geração e destinação desses resíduos, favorecendo o atendimento a diretrizes e normas relacionadas à classificação e ao manejo de resíduos sólidos, como a NBR 10004, contribuindo para práticas mais sustentáveis na construção civil (MILHAN, 2021).

Kibert (2005) propõe princípios de construção sustentável que priorizam a redução de resíduos na fonte, alinhando-se à gestão de RSS em centrais de concreto e justificando a aplicação de ferramentas Lean Six Sigma.

1.4. HIPÓTESE

A hipótese deste estudo parte do pressuposto de que a aplicação estruturada de ferramentas da qualidade no framework DMAIC, associada aos princípios do Lean

Six Sigma, pode contribuir para a identificação das principais causas da geração de resíduos sólidos em centrais de concreto usinado. Consequentemente, ferramentas como o gráfico de Pareto, o diagrama de Ishikawa e o plano de ação 5W2H têm sido amplamente utilizadas em estudos de melhoria contínua para priorizar problemas, identificar causas raízes e estruturar ações corretivas em processos produtivos (GONÇALVES; POZNYAKOV, 2021; KAIZEN INSTITUTE, s.d.).

Assim, admite-se como hipótese que a aplicação integrada das ferramentas poderá apoiar a identificação e priorização das causas associadas à geração de resíduos — como retornos de concreto, lama de bate-lastro, resíduos de lavagem, concretos não conformes e erros de dosagem ou carregamento —, possibilitando a proposição de ações de melhoria com potencial de reduzir esses resíduos e aumentar a eficiência operacional na central de concreto analisada.

1.5.OBJETIVO

Analisar as causas da geração de resíduos sólidos em uma central de concreto usinado por meio da aplicação de ferramentas da qualidade no framework DMAIC/Lean Six Sigma, propondo ações para sua redução.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica que fundamenta teoricamente o presente estudo. São abordados conceitos relacionados à produção de concreto usinado, à gestão de resíduos na construção civil, às ferramentas da qualidade utilizadas na análise de processos e à metodologia Lean Six Sigma, com ênfase no framework DMAIC. Esses temas fornecem a base conceitual necessária para a compreensão do problema de pesquisa e para a análise dos resultados obtidos no estudo de caso.

2.1.INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE

A indústria da construção civil ocupa papel central na economia, seja pela participação no Produto Interno Bruto (PIB), seja pela capacidade de gerar empregos diretos e indiretos em diferentes cadeias produtivas. No entanto, essa atividade vem acompanhada de forte pressão sobre o meio ambiente, em função do consumo de matérias-primas, utilização de energia e geração de resíduos em todas as etapas da obra. Marques, Simões e Braga Júnior (2025) ressaltam que, devido aos impactos ambientais associados às atividades da construção civil, torna-se necessário integrar eficiência produtiva e sustentabilidade aos processos construtivos. Sob essa perspectiva, os resíduos da construção civil deixam de ser vistos apenas como “sobras inevitáveis” e passam a expressar o modelo de produção vigente, frequentemente baseado em fluxos lineares de extração, uso e descarte. Marques e Benini (2026) destacam que, embora instrumentos normativos como a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Resolução CONAMA nº 307/2002 representem avanços importantes, a gestão de resíduos da construção civil ainda enfrenta limitações quando não há mudanças estruturais no planejamento e na organização das atividades do setor.

A problemática dos resíduos da construção civil deve ser compreendida sob uma abordagem sistêmica de gestão, considerando as características do modelo contemporâneo de produção, frequentemente baseado em processos lineares e intensivos no consumo de recursos, e não apenas como resultado de falhas operacionais ou desvios pontuais. Pode-se observar que os resíduos funcionam como indicadores materiais de um sistema que intensifica o consumo de recursos e externaliza impactos ambientais e sociais.

Embora o Brasil possua avanços normativos na gestão de resíduos da construção civil, a efetividade de tais políticas ainda enfrenta limitações quando as ações se restringem a medidas corretivas ou pontuais. Para os autores, a superação desse cenário exige mudanças estruturais nas práticas produtivas do setor e maior integração entre planejamento, gestão ambiental e responsabilidade compartilhada entre os diferentes atores envolvidos (MARQUES E BENINI, 2026).

Na produção de concreto usinado, a geração de resíduos pode ocorrer em diferentes etapas do processo produtivo, incluindo falhas de dosagem, retornos de concreto provenientes das obras e resíduos resultantes das atividades de lavagem e limpeza de equipamentos. Esses materiais, quando não adequadamente gerenciados, representam perdas econômicas e impactos ambientais relevantes. Portanto, torna-se fundamental adotar estratégias de gestão que permitam identificar as principais causas das perdas identificadas e implementar ações voltadas à redução de desperdícios (VIEIRA, 2020).

Além da redução das perdas, a adoção de práticas sustentáveis na construção civil envolve também o reaproveitamento e a reciclagem de materiais gerados durante o processo produtivo. Somado a isso, os resíduos da construção civil podem ser reciclados e reutilizados como agregados em novos materiais, contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e para a diminuição dos impactos ambientais associados à atividade construtiva (ANGULO; ULSEN, 2020).

2.2. PRODUÇÃO DE CONCRETO USINADO

A produção de concreto usinado em centrais dosadoras envolve uma sequência estruturada de etapas operacionais que compreendem o recebimento dos pedidos, o planejamento da produção, a dosagem dos materiais constituintes do concreto e o transporte do material até o local de aplicação. Essas etapas são organizadas de forma a garantir que o concreto seja produzido de acordo com as especificações técnicas estabelecidas e entregue dentro dos prazos previstos para execução das atividades nas obras.

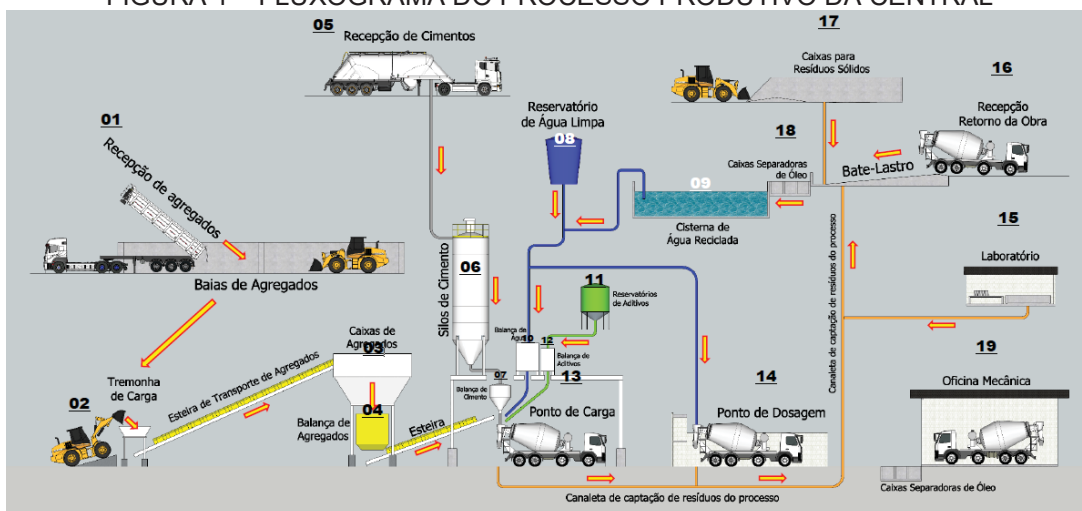
De modo geral, o processo produtivo inicia-se com o recebimento dos pedidos de concretagem realizados pelos clientes. Esses pedidos contêm informações relacionadas ao volume solicitado, às características técnicas do concreto, ao local de

entrega e ao horário programado para a concretagem. Após a confirmação das informações, os pedidos são encaminhados ao setor de programação, responsável pelo planejamento operacional das cargas a serem produzidas e expedidas pela central.

O planejamento considera diferentes fatores operacionais, entre os quais se as especificações técnicas solicitadas pelos clientes, a capacidade produtiva da central de concreto e a disponibilidade da frota de caminhões betoneira utilizada para o transporte do material até as obras. Após a confirmação dos dados, são organizadas as sequências de produção e despacho das cargas, buscando assegurar a continuidade do fornecimento de concreto e a adequada coordenação entre a produção na central e as atividades de lançamento do material no canteiro de obras.

A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado das principais etapas do processo produtivo de uma central de concreto usinado, ilustrando de forma esquemática a sequência das atividades envolvidas desde o recebimento do pedido até o transporte do concreto para o local de aplicação.

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DA CENTRAL



FONTE: AUTORA (2026)

Após a confirmação da programação, que normalmente deve ocorrer no dia anterior às concretagens, as informações referentes às obras, à liberação de crédito, aos volumes solicitados e aos horários de atendimento são encaminhadas ao setor de balança, responsável pelo controle e registro do carregamento das cargas. A sequência de produção passa então a seguir a programação previamente estabelecida, buscando garantir o atendimento às especificações técnicas do concreto solicitado, bem como às condições comerciais e contratuais definidas com o cliente.

O carregamento dos caminhões betoneira é realizado por meio de um sistema automatizado de pesagem, no qual os agregados são dosados conforme as proporções estabelecidas nas cartas de traço definidas pelo departamento técnico da central. Durante essa etapa, os materiais são descarregados diretamente no balão dos caminhões betoneira, que normalmente apresentam capacidade aproximada de 8 m³ por carga. Após o carregamento inicial dos materiais, o concreto é ajustado pelos motoristas ainda dentro da central, conforme os procedimentos operacionais adotados pela empresa, sendo posteriormente transportado até o local de aplicação.

Ao chegar à obra, a carga passa por um processo de verificação e aceite realizado pela equipe responsável pela obra. Após essa conferência, pode ocorrer um novo ajuste de dosagem, quando necessário, antes da descarga final do concreto. Todo o processo de dosagem e eventuais ajustes segue as especificações técnicas previamente estabelecidas pelo setor técnico da central, as quais são definidas a partir das solicitações encaminhadas pelo departamento comercial no momento da contratação do serviço.

Em determinadas situações podem ocorrer falhas durante o processo de dosagem ou durante o transporte do concreto até a obra, exigindo a intervenção do departamento técnico para avaliação das condições da carga. Dependendo do diagnóstico realizado, podem ser aplicadas correções na mistura a fim de adequar o concreto às especificações técnicas estabelecidas. Em casos específicos, quando não é possível realizar ajustes que garantam a conformidade do material, pode ser orientado o descarte da carga na própria usina.

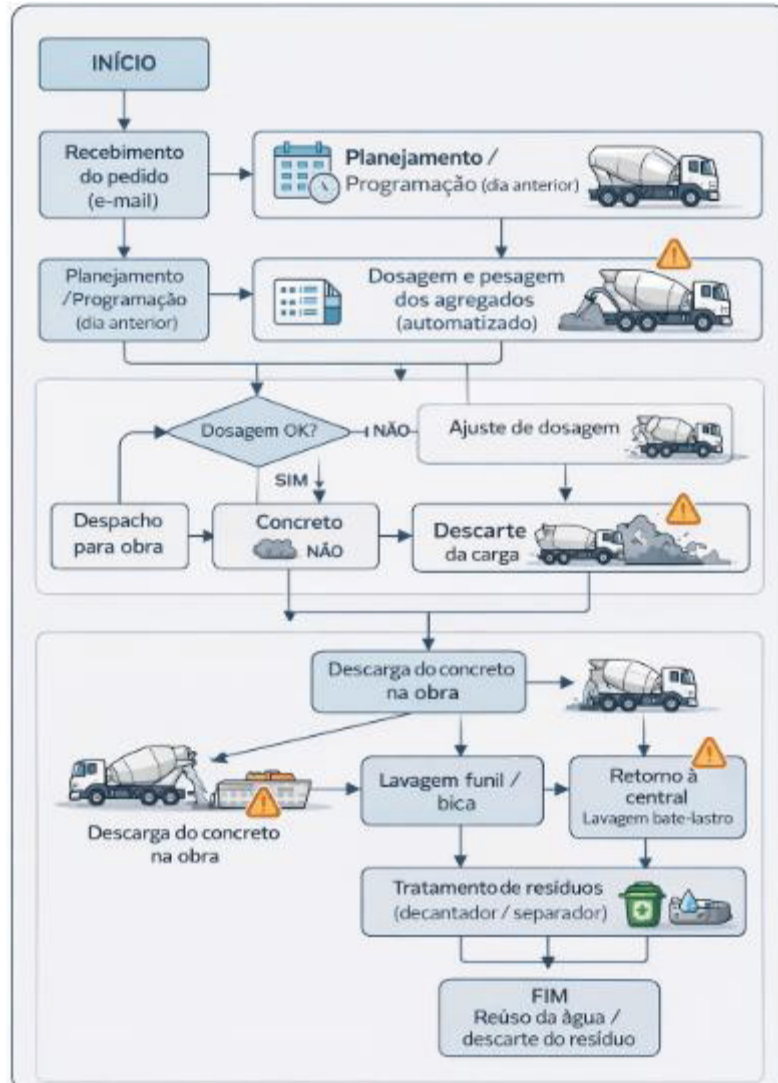
Após a descarga do concreto na obra, os caminhões betoneira realizam a lavagem do funil e da bica, adicionando água ao interior do balão antes de retornar à central. Ao chegar novamente à unidade produtiva, o equipamento passa por um processo de lavagem em áreas específicas denominadas bate-lastro. Nessa etapa são gerados resíduos provenientes da limpeza dos equipamentos, os quais são direcionados para sistemas de decantação e separação, compostos por caixas separadoras de areia e óleo.

A água resultante desse processo pode ser parcialmente reaproveitada no sistema produtivo da central, enquanto os resíduos sólidos provenientes da decantação são removidos e encaminhados para áreas destinadas ao armazenamento de materiais não conformes. Nos casos em que ocorre o descarte de cargas de concreto, o material é depositado em áreas específicas dentro da central. Após o endurecimento, esses

resíduos são removidos e encaminhados para áreas de armazenamento temporário, denominadas caixas secas, sendo posteriormente destinados para descarte final conforme os procedimentos operacionais adotados pela empresa.

A Figura 2 apresenta um fluxograma simplificado do processo de carregamento, transporte e entrega do concreto usinado.

FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO CARREGAMENTO E ENTREGA DE CONCRETO



FONTE: AUTORA (2026)

Considerando as características do processo produtivo de uma central de concreto usinado, algumas etapas apresentam maior relevância para o controle operacional e para a prevenção da geração de resíduos ao longo das atividades de produção e entrega do material. Esses pontos estão diretamente relacionados à qualidade dos insumos utilizados, ao controle das etapas de dosagem e às condições de execução das atividades operacionais.

Portanto, destacam-se alguns pontos críticos de controle do processo, cuja adequada gestão contribui para a redução de perdas de material e para a melhoria da eficiência operacional da central. Entre os principais pontos críticos podem ser mencionados:

- controle da umidade dos agregados utilizados na dosagem;
- recebimento e armazenamento dos agregados;
- carregamento das cargas na central;
- dosagem do concreto na central;
- ajustes de dosagem realizados na obra.

A identificação desses pontos críticos é fundamental para a análise das causas associadas à geração de resíduos no processo produtivo, servindo como base para a aplicação de ferramentas de qualidade voltadas à identificação de causas raiz e à proposição de ações de melhoria.

2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é reconhecida como uma das atividades que mais consomem recursos naturais e geram resíduos sólidos, em grande parte devido à diversidade de materiais empregados, às perdas inerentes às etapas construtivas e à fragmentação da cadeia produtiva. Araújo Junior e Silva (2022) ressaltam que processos como fabricação e aplicação de concreto, transporte de insumos e execução de serviços em obra podem resultar em perdas significativas quando não há planejamento adequado, coordenação entre os agentes e padronização dos procedimentos. Nas centrais dosadoras de concreto, esse cenário se traduz em resíduos provenientes de falhas de dosagem, retornos de concreto não utilizado nas obras e materiais gerados em operações de lavagem e limpeza de equipamentos, que incluem desde concreto endurecido e agregados até águas residuais com partículas cimentícias. Se não forem devidamente gerenciados, esses resíduos representam tanto um desperdício econômico quanto um potencial de impacto ambiental relevante, reforçando a necessidade de estratégias de gestão específicas para esse tipo de operação.

A gestão de resíduos na construção civil tem se tornado um tema relevante tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Em centrais dosadoras de concreto, a geração de resíduos pode ocorrer em diferentes etapas do processo produtivo, como na dosagem dos materiais, no retorno de concreto não utilizado, na

lavagem de caminhões betoneira e na limpeza de equipamentos. Esses resíduos podem incluir concreto endurecido, agregados e águas residuais contendo partículas cimentícias, exigindo práticas adequadas de gerenciamento para minimizar impactos ambientais e favorecer o reaproveitamento de materiais (VIEIRA, 2020).

A adoção de práticas adequadas de gestão de resíduos contribui para a redução de desperdícios e para o aumento da eficiência produtiva no setor da construção. Reforçando que a gestão dos resíduos da construção e demolição é essencial para minimizar impactos ambientais e promover o uso mais eficiente de recursos ao longo da cadeia produtiva (ANGULO; ULSEN, 2020). Adicionalmente, estratégias de reaproveitamento e reciclagem têm sido incentivadas como alternativas para reduzir o consumo de recursos naturais e a destinação de resíduos a aterros.

No caso específico das centrais de concreto usinado, a implementação de práticas de gestão de resíduos é fundamental para garantir maior eficiência operacional e sustentabilidade do processo produtivo. Conforme observado por Araújo Junior e Silva (2022), a aplicação de conceitos de melhoria contínua e controle de processos, como os princípios da filosofia Lean Construction, pode contribuir significativamente para a redução de perdas de concreto e para o melhor aproveitamento dos materiais utilizados na produção.

A gestão adequada dos resíduos gerados na construção civil é um fator essencial para reduzir impactos ambientais e melhorar a eficiência no uso de recursos no setor.

2.3.1. Classificação dos resíduos da construção civil

No Brasil, a gestão dos resíduos da construção civil é regulamentada principalmente pela Resolução CONAMA nº 307/2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para o gerenciamento desses materiais. Essa norma define os resíduos da construção civil como aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo também os resíduos resultantes da preparação e escavação de terrenos.

Somado a isso, a política nacional de gestão de resíduos é reforçada pela Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e estabelece princípios como a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos. Nesse cenário,

os resíduos de concreto devem ser gerenciados de forma a priorizar sua reutilização e reciclagem, reduzindo impactos ambientais e o consumo de recursos naturais.

De acordo com a classificação estabelecida pela Resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos da construção civil são divididos em quatro classes principais:

- Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como concreto, argamassa, tijolos, blocos cerâmicos, telhas e materiais provenientes de demolições ou escavações.
- Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidro e madeira.
- Classe C: resíduos para os quais ainda não existem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação.
- Classe D: resíduos perigosos oriundos do processo construtivo, como tintas, solventes, óleos, amianto e outros materiais contaminados.

Essa classificação é fundamental para orientar as etapas de segregação, armazenamento, transporte e destinação final dos resíduos gerados nas atividades da construção civil, permitindo a adoção de práticas de gestão mais eficientes e ambientalmente adequadas. Assim, o correto enquadramento dos resíduos de concreto contribui para a redução de impactos ambientais, para o aumento das taxas de reciclagem no setor e para o atendimento às diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

No caso das centrais de concreto usinado, parte dos resíduos gerados apresenta características semelhantes aos resíduos da construção civil classificados como Classe A, especialmente aqueles provenientes de concreto endurecido e agregados. A reciclagem dos resíduos da construção civil apresenta potencial significativo para reaproveitamento como agregado na produção de argamassas e concretos, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para o uso mais eficiente de recursos naturais (LEVY, 1997).

Entretanto, outros materiais, como águas residuais e lamas cimentícias provenientes de processos de lavagem, podem exigir formas específicas de manejo e tratamento.

2.3.2. Gerenciamento dos resíduos da construção civil

O gerenciamento dos resíduos da construção civil deve observar as normas estabelecidas pela legislação brasileira, especialmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e a Resolução CONAMA nº 307/2002. Essas normas definem que os resíduos devem ser tratados de forma a reduzir impactos ambientais, garantindo a responsabilidade compartilhada entre geradores, transportadores e poder público.

A legislação estabelece que os resíduos devem ser segregados conforme sua classe, permitindo que materiais reutilizáveis ou recicláveis sejam separados dos resíduos perigosos ou não recicláveis. O armazenamento deve ocorrer em local adequado, protegido e sinalizado, de modo a evitar contaminações e acidentes, conforme definido pelas diretrizes da Resolução CONAMA nº 307/2002.

O transporte dos resíduos deve ser realizado por empresas licenciadas e com veículos apropriados, garantindo rastreabilidade e segurança ambiental. Quanto à reciclagem e disposição final, a legislação brasileira orienta que os resíduos das classes A e B sejam encaminhados preferencialmente para processos de reutilização ou reciclagem, enquanto os resíduos das classes C e D devem receber destinação final ambientalmente adequada, respeitando critérios técnicos estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes. Diante disso, a base normativa garante que a gestão dos resíduos da construção civil seja realizada ao longo de todo o seu ciclo de forma organizada, segura e ambientalmente responsável.

No contexto das centrais de concreto usinado, torna-se fundamental para garantir o manejo adequado dos resíduos gerados durante as etapas de produção, transporte e limpeza dos equipamentos, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a melhoria do desempenho operacional das unidades produtivas.

2.4.FERRAMENTAS DA QUALIDADE

A utilização de ferramentas estatísticas possibilita analisar dados de processos produtivos e identificar variações que podem comprometer a qualidade. Pois, o uso das ferramentas auxilia na identificação de causas de problemas e no monitoramento das melhorias implementadas (WERKEMA, 1995).

As ferramentas da qualidade são instrumentos utilizados para analisar processos, identificar problemas e propor melhorias, contribuindo para a eficiência

operacional, redução de desperdícios e padronização de atividades. Dentre as ferramentas clássicas, destaca-se o diagrama de Ishikawa, ou espinha de peixe, que permite identificar, de forma estruturada, as possíveis causas de problemas, considerando categorias como materiais, métodos, mão de obra, máquinas e meio ambiente (ISHIKAWA, 1985).

O gráfico de Pareto auxilia na priorização das causas mais relevantes de falhas ou desperdícios, evidenciando os fatores que demandam atenção imediata. Os fluxogramas são úteis para mapear o fluxo de processos, tornando visíveis etapas críticas e possíveis gargalos, enquanto os histogramas permitem analisar a distribuição de dados quantitativos, identificar variações e monitorar o desempenho em relação a padrões de qualidade (MONTGOMERY, 2013).

A aplicação das ferramentas da qualidade no setor da construção civil possibilita não apenas o controle dos processos, mas também a integração com metodologias, como Lean Six Sigma e Qualidade 4.0, promovendo eficiência, redução de desperdícios, otimização de recursos e práticas sustentáveis, especialmente na gestão de resíduos e na produção de concreto usinado.

No setor da construção civil, caracterizado por processos complexos e variabilidade de materiais, as ferramentas da qualidade são fundamentais para a gestão eficiente de resíduos e recursos, especialmente nas usinas de concreto.

No setor da construção civil, caracterizado por processos complexos e elevada variabilidade de materiais e condições operacionais, as ferramentas da qualidade desempenham papel fundamental na análise e melhoria dos processos. Formoso (2009) destaca a aplicação da metodologia de benchmarking para quantificar perdas na produção de concreto usinado, incluindo retornos e lastro, demonstrando a relevância da utilização de ferramentas como Pareto e Ishikawa para análise de causas e priorização de ações de melhoria dentro de abordagens estruturadas, como o ciclo DMAIC.

2.4.1. Indústria 4.0 e Qualidade 4.0

A Indústria 4.0 refere-se à atual fase de transformação tecnológica dos sistemas produtivos, caracterizada pela integração entre tecnologias digitais, automação avançada e conectividade entre máquinas, equipamentos e sistemas industriais. Esse paradigma produtivo envolve o uso de tecnologias como Internet das

Coisas (IoT), análise de grandes volumes de dados (Big Data) e sistemas ciberfísicos, permitindo maior integração entre o ambiente físico e o digital nas operações industriais. Essas tecnologias ampliam a capacidade de monitoramento e controle dos processos produtivos, contribuindo para maior eficiência operacional, redução de falhas e melhor utilização dos recursos disponíveis (XU; DAVID; KIM, 2018).

Sob esse enfoque, surge o conceito de Qualidade 4.0, que representa a evolução da gestão da qualidade tradicional por meio da incorporação de tecnologias digitais e da análise de dados em larga escala nos processos produtivos. A Qualidade 4.0 busca ampliar a capacidade das organizações de monitorar seus processos, identificar desvios com maior rapidez e apoiar a tomada de decisão baseada em dados, contribuindo para melhorias contínuas nos sistemas produtivos (LEE; BAGHERI; KAO, 2015).

A integração entre tecnologias e metodologias de melhoria contínua pode fortalecer as práticas de gestão da qualidade, contribuindo para a redução de desperdícios e para o aumento da eficiência operacional. Nesse contexto, a maior disponibilidade de dados operacionais permite compreender melhor o desempenho dos processos produtivos, facilitando a identificação de problemas, a análise de suas causas e a implementação de ações de melhoria de forma mais estruturada.

A adoção dos conceitos de Qualidade 4.0 possibilita às organizações integrar dados, tecnologias digitais e métodos de gestão da qualidade, fortalecendo a eficiência e a competitividade dos processos produtivos (LEMOS, 2021).

No caso da produção de concreto usinado, o uso de dados operacionais e ferramentas de análise pode contribuir para melhorar o controle dos processos de dosagem, transporte e descarregamento do concreto, favorecendo a identificação de causas associadas à geração de resíduos sólidos, como retornos de concreto, resíduos de lavagem e não conformidades no produto.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho está enquadrado na abordagem Lean Six Sigma, utilizando o ciclo DMAIC como estrutura para conduzir as etapas de investigação e melhoria. Miyake (2002) destaca a sinergia entre Six Sigma e Lean para eliminar desperdícios e variabilidade, fundamentando a escolha do DMAIC para atacar perdas recorrentes como retornos e lastro na central analisada. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos diretamente dos registros operacionais da central de concreto analisada, sendo tratados e organizados pela autora para fins de análise. Trad e Maximiano (2009) destacam que o sucesso na implantação do Seis Sigma depende de fatores críticos, como liderança comprometida, seleção adequada de projetos, treinamento estruturado e aplicação disciplinada de métodos e ferramentas.

O ciclo DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) organiza sistematicamente todas as etapas da pesquisa, funcionando como um roteiro lógico que garante a progressão desde a identificação do problema até a institucionalização das soluções. Em experiências bem-sucedidas da metodologia, destacam-se como fatores críticos de sucesso a liderança executiva engajada, a escolha criteriosa de projetos com alto impacto financeiro, o treinamento intensivo das equipes “cinturão” e, principalmente, a aplicação disciplinada de ferramentas analíticas capazes de converter dados em ações concretas (TRAD; MAXIMIANO, 2009).

A relevância de decisões baseadas em dados e do uso de técnicas estatísticas para a avaliação da qualidade de produtos e serviços fundamenta a fase de medição deste estudo, permitindo o cálculo de indicadores como o percentual de resíduos em relação ao volume total produzido (m^3 de resíduos/ m^3 de concreto), reforçando a importância do controle estatístico na análise de dados (VIEIRA, 1999).

Neste estudo, a aplicação do DMAIC segue as cinco fases clássicas, adaptadas ao contexto da central de concreto usinado e à problemática da geração de resíduos sólidos, garantindo a análise sistemática e a proposição de melhorias sustentáveis nos processos produtivos.

3.1. FASE DEFINIR

A fase Define estabelece as bases conceituais e operacionais do projeto de melhoria, delimitando o problema, o escopo de intervenção, os objetivos mensuráveis e as partes interessadas envolvidas. No contexto deste estudo, o problema central

identificado foi a elevada geração de resíduos de concreto no processo produtivo de uma central dosadora de concreto usinado, correspondendo a aproximadamente 10% do volume total produzido.

Esses resíduos manifestam-se principalmente nas seguintes formas:

- Retornos de concreto: concretos devolvidos pelos clientes em função de atrasos na aplicação ou inadequação às especificações solicitadas;
- Lama de bate-lastro: resíduos gerados durante a limpeza e descarga das betoneiras;
- Resíduos de lavagem: materiais sólidos e águas provenientes da limpeza diária de equipamentos e pátios operacionais;
- Concreto não conforme: produtos que não atendem às especificações técnicas de resistência, consistência ou trabalhabilidade;
- Erros de dosagem ou carregamento: desvios na proporção de agregados, cimento ou aditivos durante o processo de produção.

Esses desperdícios geram impactos relevantes sob os aspectos financeiro, operacional e ambiental, reforçando a necessidade de maior controle dos processos produtivos. Diante dessa perspectiva, foram definidos Critical to Quality (CTQs) e Key Performance Indicators (KPIs) para monitorar o desempenho do processo, destacando-se: taxa de geração de resíduos (m^3 de resíduo/ m^3 de concreto produzido), frequência de retornos de concreto, percentual de reaproveitamento de materiais reciclados e custos associados à perda de material (Montgomery, 2013).

Mariano et al. (2019) demonstraram a eficácia do método DMAIC na priorização de perdas em processos construtivos, situação semelhante à geração de resíduos em centrais de concreto usinado, reforçando a relevância da fase *Define* para o alinhamento dos CTQs operacionais.

Para delimitar as fronteiras do processo e identificar os principais agentes envolvidos, foram aplicadas ferramentas de mapeamento inicial, como o SIPOC, permitindo identificar fornecedores, entradas, etapas do processo, saídas e clientes, bem como os principais stakeholders, incluindo operadores da central, fornecedores de insumos, clientes e órgãos ambientais.

3.1.1. Requisitos de projeto

Neste tópico, são definidos os requisitos essenciais que o projeto de melhoria deve atender, servindo como critérios de sucesso para o gerenciamento de Resíduos de Concreto na central de concreto. Entre os principais requisitos destacam-se:

- Redução do volume de resíduos: diminuição mensurável de retornos de concreto, lama de bate-lastro, resíduos de lavagem e concretos não conformes;
- Conformidade técnica: manutenção das especificações de resistência e trabalhabilidade do concreto;
- Viabilidade operacional: soluções compatíveis com os recursos existentes, incluindo equipamentos, mão de obra e infraestrutura;
- Sustentabilidade e gestão ambiental: adequação às normas ambientais vigentes, como PNRS e Resolução CONAMA 307/2002;
- Mensurabilidade: definição de indicadores (CTQs e KPIs) claros, como taxa de geração de resíduos, percentual de aproveitamento de reciclados e custo associado, que permitam acompanhar os resultados do projeto.

Esses requisitos orientam o planejamento das ações de melhoria, servindo como referência para as fases subsequentes do DMAIC, garantindo que as soluções propostas sejam eficazes, sustentáveis e alinhadas aos objetivos do projeto.

3.2. FASE MEDIR

A fase Measure consistiu na coleta sistemática, organização e análise preliminar dos dados operacionais da central de concreto, permitindo estabelecer uma linha de base (baseline) confiável para a geração de resíduos do processo. Os dados foram segmentados por tipo de resíduo, turno operacional e período temporal, possibilitando a consolidação de indicadores como volume total de resíduos gerados, percentual por categoria, frequência de ocorrências e custo estimado por metro cúbico desperdiçado.

Com base nessas informações, foram aplicadas técnicas de estatística descritiva, incluindo tabelas de frequência e histogramas, com o objetivo de caracterizar a variabilidade do processo e identificar possíveis padrões ou anomalias nos dados analisados. A utilização de tais ferramentas permite compreender o comportamento inicial do processo e fornecer subsídios para as etapas posteriores de análise das

causas de geração de resíduos (Vieira, 1999). Os principais indicadores utilizados para avaliação do desempenho do processo são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – INDICADORES RESÍDUOS

Indicador	Forma de cálculo	Unidade
Taxa de geração de resíduos	Volume de resíduos gerados / volume total produzido	%
Volume de retorno de concreto	Soma dos volumes de concreto retornado	m ³
Percentual de resíduos por tipo	Volume do tipo de resíduo / volume total de resíduos	%
Custo estimado do resíduo	Volume de resíduo × custo médio do concreto	R\$

FONTE: AUTORA (2026)

3.3.FASE ANALISAR

A fase Análise teve como objetivo investigar as causas-raiz da geração de resíduos no processo produtivo, utilizando ferramentas de análise da qualidade que possibilitam identificar e priorizar fatores críticos associados ao problema.

Para essa finalidade, foram empregados os seguintes instrumentos analíticos:

- Gráficos de Pareto: utilizados para priorizar as categorias de resíduos que geram maior impacto no processo, com base no princípio 80/20, permitindo concentrar esforços nas causas mais relevantes;
- Diagramas de Ishikawa: aplicados para estruturar as possíveis causas do problema segundo as categorias dos 6Ms (Método, Mão de obra, Material, Máquina, Meio ambiente e Medição), possibilitando a organização sistemática dos fatores que influenciam a geração de resíduos (Ishikawa, 1985).

A aplicação de ferramentas permitiu identificar padrões de ocorrência e compreender relações de causa-efeito presentes no processo produtivo, fornecendo subsídios para o planejamento de ações de melhoria direcionadas à redução da geração de resíduos.

3.3.1 Desenho e modelamento

Nesta etapa foi realizado o desenho e modelamento dos processos associados à geração de resíduos, com o objetivo de representar graficamente o fluxo de atividades e identificar pontos críticos do processo produtivo. O modelamento considerou os seguintes aspectos:

- Mapeamento do fluxo de processos: identificação das etapas operacionais associadas à maior ocorrência de resíduos;

- Representação das relações de causa e efeito: integração das causas identificadas nos diagramas de Ishikawa com o fluxo de processo, permitindo visualizar em quais etapas operacionais os fatores dos 6Ms exercem maior influência;
- Suporte à análise de melhorias: o modelo do processo serviu como base para avaliar cenários de redução de resíduos e analisar os possíveis impactos de alterações operacionais, contribuindo para a tomada de decisão fundamentada.

3.4.FASE MELHORAR

Na fase Improve, foram planejadas e avaliadas soluções direcionadas às causas-raiz previamente identificadas, com foco na redução da geração de resíduos no processo produtivo. Entre as principais ações consideradas destacam-se a padronização dos procedimentos de limpeza dos equipamentos, medida que contribui para maior controle operacional e redução de perdas no processo.

O enfoque adotado está alinhado aos princípios de melhoria contínua e Lean Construction, que enfatizam a integração entre processos, pessoas e ferramentas com o objetivo de reduzir desperdícios e aumentar a eficiência das operações produtivas (FORMOSO, 2009).

3.5.FASE CONTROLAR

Na fase Control, prevê-se o estabelecimento de monitoramento contínuo dos processos, por meio de indicadores previamente definidos e cartas de controle estatístico. Essa abordagem permitirá acompanhar a estabilidade do processo ao longo do tempo, identificar desvios e atuar preventivamente, garantindo que os resultados obtidos na fase melhoria possam ser mantidos de forma consistente (VIEIRA, 1999).

Adicionalmente, planeja-se a implementação de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) e a realização de auditorias periódicas, visando reforçar a padronização das práticas e assegurar a conformidade com os requisitos técnicos e de qualidade. O acompanhamento sistemático aliado à padronização tem potencial para assegurar ajustes contínuos e sustentáveis, consolidando melhorias de forma duradoura (HELENE, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO MAPA DE RACIOCÍNIO

A análise dos dados operacionais da filial de concreto permitiu identificar os principais fatores associados à geração de resíduos e perdas operacionais durante o processo produtivo e de entrega do concreto. A unidade analisada apresenta uma produção média mensal de aproximadamente 15.000 m³, totalizando cerca de 180.000 m³ por ano.

A geração de resíduos de concreto é de aproximadamente 16.800 m³/ano correspondam a resíduos gerados nas operações da central, incluindo processos de limpeza de equipamentos, lavagem de caminhões betoneira, descarte de concreto e cancelamentos de carga.

Dentro deste volume, uma parcela específica corresponde às perdas associadas ao cancelamento de Comprovantes de Entrega (CE), que representam concreto produzido, mas não utilizado pelo cliente, sendo posteriormente descartado.

Para compreender melhor a contribuição de cada tipo de ocorrência na geração desses resíduos, foi realizada a quantificação específica das perdas associadas ao cancelamento de Comprovantes de Entrega (CE), apresentada na seção seguinte.

4.1. Quantificação das perdas por cancelamento

A análise da planilha operacional “CANCELAMENTO-DE-CE-2025”, contendo registros de ocorrências de cancelamento de entregas, permitiu identificar um volume total de aproximadamente 750 m³ de concreto descartado ao longo do ano.

Esse volume representa cerca de:

- 4,5% do total de resíduos gerados pela operação
- 0,42% do volume total de concreto produzido pela unidade

Apesar de representar uma parcela relativamente pequena da produção total, esse tipo de perda apresenta impacto econômico significativo, pois corresponde a concreto produzido com valor comercial médio estimado em R\$ 500,00 por metro cúbico.

Todavia, o impacto financeiro anual estimado associado às perdas por cancelamento de Comprovantes de Entrega (CE) é de aproximadamente R\$ 375.000,00.

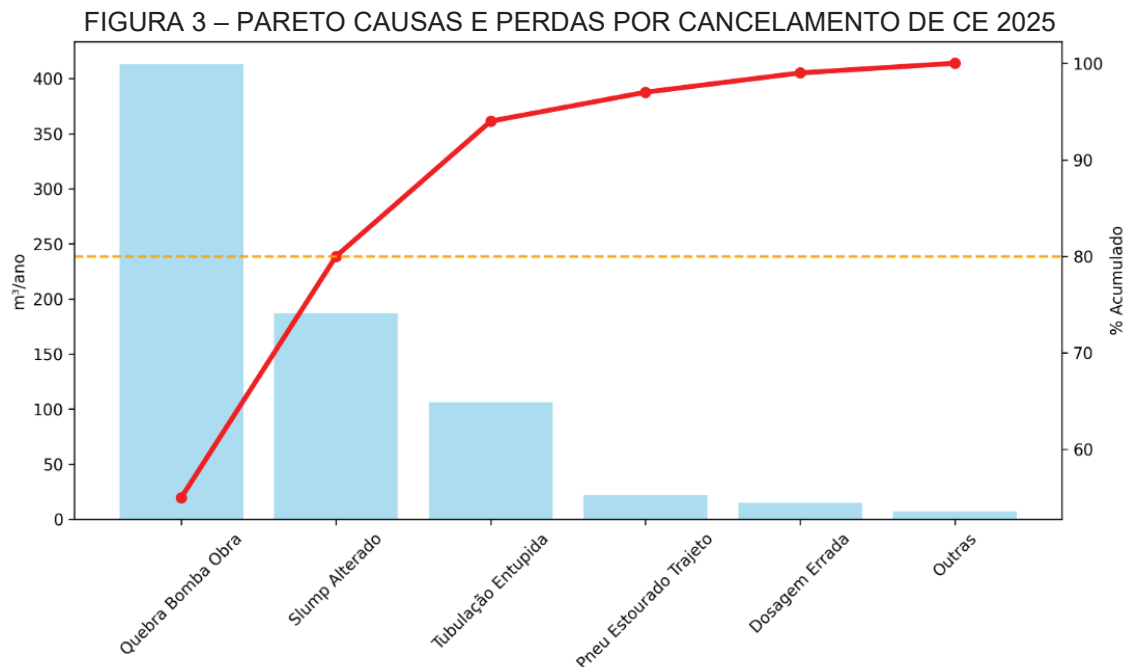
A Tabela 2 apresenta a distribuição das perdas de concreto por tipo de ocorrência, bem como o impacto financeiro estimado associado a cada causa.

TABELA 2 – PERDA DE MATERIAL E CUSTO MÉDIO (R\$500/M³)

Causa	m ³ /ano	% Total	Custo Estimado (R\$/ano)*
Quebra Bomba (Obra)	413	55%	R\$ 206.500
Slump Alterado	187	25%	R\$ 93.500
Tubulação Entupida	106	14%	R\$ 53.000
Pneu Estourado	22	3%	R\$ 11.000
Dosagem Errada	15	2%	R\$ 7.500
Outras	7	1%	R\$ 3.500
Total	750	100%	R\$ 375.000

*Custo médio m³ concreto R\$500,00 (preço venda 2025).

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, foi elaborado o gráfico de Pareto apresentado na Figura 3, que permite visualizar a concentração das perdas nas principais causas identificadas, evidenciando aquelas que possuem maior contribuição para a geração de desperdícios no processo.



FONTE: AUTORA (2026)

A análise de Pareto demonstra que aproximadamente 97% das perdas estão concentradas em quatro causas principais, indicando que ações corretivas

direcionadas a esses fatores possuem alto potencial de redução das perdas operacionais.

4.2. Análise detalhada das principais falhas operacionais

A avaliação dos registros permitiu identificar 22 ocorrências de cancelamento ao longo do período analisado, com média aproximada de 1,8 incidentes por mês.

Esses eventos estão associados principalmente a falhas operacionais relacionadas ao funcionamento de equipamentos, parâmetros técnicos do concreto e condições operacionais durante o transporte ou bombeamento.

As principais causas identificadas são descritas a seguir.

4.2.1. Quebra de bomba de concreto na obra

A quebra de bombas de concreto utilizadas nas obras representa a principal causa de perdas operacionais, correspondendo a aproximadamente 55% do volume total descartado, equivalente a 413 m³/ano.

Foram registrados 12 incidentes associados a esse tipo de falha, com média aproximada de 34,4 m³ de concreto descartado por ocorrência.

Exemplos observados nos registros operacionais incluem:

- quebra de componentes mecânicos da bomba durante o bombeamento;
- falhas estruturais no equipamento;
- interrupção do bombeamento devido a defeitos mecânicos.

Essas ocorrências resultam no retorno da carga à central ou no descarte do concreto na obra.

4.2.2. Alteração do slump do concreto

A alteração do slump, parâmetro que indica a consistência do concreto fresco, foi responsável por aproximadamente 25% das perdas identificadas, totalizando 187 m³ descartados no período analisado.

Foram registrados 8 incidentes, com média aproximada de 23,4 m³ por ocorrência.

Em alguns casos observados, o concreto produzido com especificação de slump 10 ± 2 cm apresentou valores significativamente superiores no momento da aplicação, chegando a 17 cm, o que resultou na recusa da carga pelo cliente.

Essa variação pode estar associada a fatores como:

- adição excessiva de água;
- falhas no controle de dosagem;
- falta de padronização no processo de conferência técnica.

4.2.3. Obstrução da tubulação de bombeamento

A obstrução da tubulação utilizada no bombeamento do concreto foi responsável por aproximadamente 14% das perdas, totalizando 106 m^3 de concreto descartado.

Foram identificados 5 incidentes desse tipo, com média aproximada de $21,2 \text{ m}^3$ por ocorrência.

Esse tipo de falha geralmente ocorre devido a:

- inadequação da mistura para bombeamento;
- falhas no preparo da tubulação;
- interrupções no processo de bombeamento.

Nesses casos, o concreto frequentemente retorna à central ou precisa ser descartado devido à perda de trabalhabilidade.

4.3. Localização das falhas operacionais

A análise dos registros também permitiu identificar o local de ocorrência das falhas, classificando os incidentes conforme o ponto do processo produtivo onde ocorreram, conforme dados da Tabela 3.

TABELA 3 – LOCALIZAÇÃO DAS QUEBRAS (100% EQUIPAMENTO PRÓPRIO)

Local	% Perdas	m³/ano	Nº Casos	Controlabilidade
Obra	55%	413	12	Manutenção Bomba
Trajeto	20%	150	4	Manutenção CB/Pneus
CDC	25%	187	6	Checklist
TOTAL	100%	750	22	100% Interna

FONTES: AUTORA (2026)

4.4. Análise da controlabilidade das perdas

Os resultados indicam que 100% das falhas identificadas estão associadas a fatores internos da operação, relacionados principalmente à manutenção de equipamentos, controle operacional e padronização de processos.

As principais oportunidades de melhoria identificadas incluem:

- implementação de rotinas de manutenção preventiva e preditiva em bombas de concreto;
- revisão dos procedimentos de controle de slump e dosagem;
- criação de checklists operacionais para caminhões betoneira e equipamentos da central;
- padronização dos processos de inspeção antes da liberação das cargas.

Considerando o custo médio do concreto produzido, estima-se que a redução de perdas por cancelamento de CE possa representar uma economia potencial de até R\$375.000 por ano, bem como, benefícios adicionais relacionados à melhoria da eficiência operacional e à redução da geração de resíduos.

4.5. Geração de Resíduos Operacionais

A geração de resíduos de concreto na central centrais de concreto usinado está associada às atividades operacionais de lavagem e limpeza dos caminhões betoneira após o descarregamento do concreto. Com o objetivo de identificar as principais fontes de geração de resíduos, foi elaborado um gráfico de Pareto, ferramenta amplamente utilizada em estudos de melhoria contínua para priorização de problemas, conforme apresentado na Tabela 4.

TABELA 4 – FONTE DO RESÍDUO

Fonte de resíduo	Volume (m³/ano) %	
Lavagem / limpeza sistema	16.050	95,5%
Cargas perdidas	750	4,5%

FONTE: AUTORA (2026)

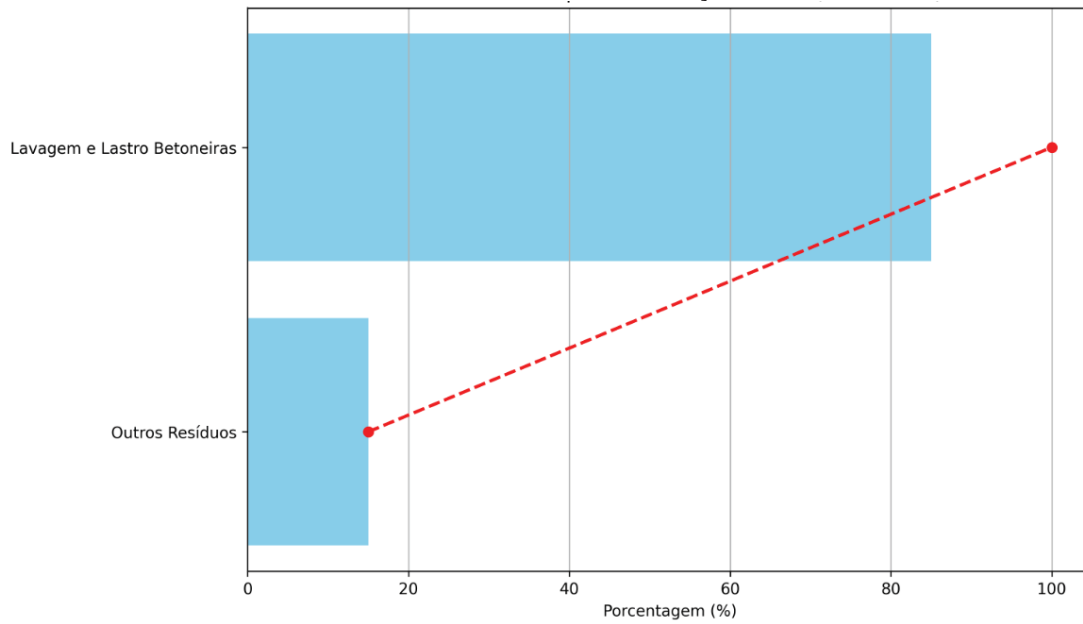
Os resultados indicam que aproximadamente 95,5% do volume total de resíduos gerados está associado às atividades de lavagem de caminhões betoneira e limpeza do sistema produtivo, enquanto cerca de 4,5% correspondem a perdas de concreto decorrentes de cargas parciais ou totais não descarregados.

A análise reforça que os esforços de melhoria devem concentrar-se prioritariamente nos processos de lavagem e limpeza operacional, os quais representam a maior parcela da geração de resíduos na central analisada.

De acordo com Vieira (2020), após o descarregamento do concreto ainda permanece material aderido ao interior do tambor das betoneiras, sendo necessária a lavagem do equipamento com volumes significativos de água. Esse processo gera uma lama residual composta principalmente por partículas de cimento, areia e agregados finos.

Considerando esse cenário, a etapa de lavagem das betoneiras configura-se como uma das principais fontes de geração de resíduos em centrais de concreto, contribuindo de forma expressiva para o volume total de resíduos sólidos produzidos durante a operação. A distribuição estimada desses resíduos na central analisada é apresentada no gráfico da Figura 04, o qual evidencia a predominância dos resíduos provenientes das atividades de lavagem das betoneiras.

FIGURA 04 - GRÁFICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS



FONTE: ADAPTADO VIEIRA (2020).

4.6. Diagrama de Ishikawa (6M)

Para identificação das possíveis causas associadas à geração de resíduos operacionais, foi aplicado o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe. A ferramenta foi estruturada segundo a abordagem 6M (Máquina, Método, Mão de obra, Material, Medição e Meio Ambiente), permitindo a organização sistemática das causas potenciais do problema analisado. A Figura 05 apresenta o Diagrama de Ishikawa elaborado para a análise das causas da geração de resíduos sólidos na central de concreto.

FIGURA 05 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA: GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS



FONTE: AUTORA (2026)

A análise permitiu identificar 20 causas potenciais, distribuídas entre as seis categorias avaliadas. Para priorizar as causas identificadas, foi utilizada uma matriz baseada no conceito de Número de Prioridade de Risco (RPN), obtido a partir da multiplicação entre os critérios de impacto, frequência e detectabilidade. As pontuações atribuídas a cada critério foram definidas com base na avaliação dos registros operacionais da central e na análise técnica das ocorrências identificadas.

Os resultados demonstraram que aproximadamente 85% da geração de resíduos está associada ao processo de lavagem do lastro das betoneiras, sendo essa a principal fonte de geração de resíduos operacionais na central de concreto. A Tabela 5 apresenta a priorização das principais causas identificadas na análise.

TABELA 5 - PRIORIZAÇÃO RPN

Categoria (M)	Causa Principal	Impacto	Frequência	Detectabilidade	RPN	Prioridade
Método	Lavagem excessiva 800L	9	9	6	486	1^a
Mão de obra	Treinamento insuficiente	8	8	5	320	2^a
Material	Concreto viscoso	7	7	6	294	3^a
Medição	Sem controle lastro	6	6	8	288	4^a
Meio Ambiente	Clima chuvoso	5	5	7	175	5^a

FONTES: AUTORA (2026)

4.6.1. Análise de Causas Raiz

Considerando uma produção média mensal de aproximadamente 15.000 m³ de concreto e uma geração estimada de 1.400 m³ de resíduos sólidos, observa-se uma taxa de geração de cerca de 9,3% do volume produzido. Em termos proporcionais, isso equivale a aproximadamente 1 m³ de resíduo para cada 10,7 m³ de concreto produzido, indicando um nível significativo de perdas no processo produtivo.

Essas ferramentas fazem parte da metodologia DMAIC, amplamente utilizada em programas de melhoria contínua e gestão de processos.

Os resultados indicaram que as principais causas do problema estão associadas à falta de padronização dos procedimentos de lavagem das betoneiras,

bem como à ausência de controle e monitoramento do volume de água utilizado no processo de limpeza.

Identificou-se que fatores relacionados ao treinamento operacional da equipe também influenciam diretamente na geração de resíduos, uma vez que práticas inadequadas de lavagem podem resultar no uso excessivo de água e no aumento do volume de lama gerada.

Consequentemente, conclui-se que os principais fatores responsáveis pela geração de resíduos estão relacionados a aspectos operacionais internos, os quais podem ser mitigados por meio da implementação de procedimentos padronizados, treinamento da equipe e controle sistemático do processo de lavagem das betoneiras.

A partir da relação entre o volume total produzido e o volume de resíduos gerados, foi possível estimar o desempenho do processo sob a ótica da metodologia Six Sigma. Considerando uma produção anual de aproximadamente 180.000 m³ de concreto e uma geração de 16.800 m³ de resíduos, observa-se uma taxa de defeito equivalente a 9,3% da produção.

Esses resultados reforçam a necessidade de implementação de ações de melhoria contínua, com foco na redução da variabilidade do processo e na diminuição da geração de resíduos.

5. PROPOSTA DE MELHORIAS

5.1. Implantação de manutenção preventiva e preditiva nas bombas de concreto

A análise realizada no Capítulo 4 demonstrou que 55% das perdas de concreto estão associadas a falhas nas bombas de concreto durante a execução das obras, representando aproximadamente 413 m³ descartados anualmente.

Em função disso, recomenda-se a implantação de um programa estruturado de manutenção preventiva e preditiva para os equipamentos de bombeamento utilizados pela empresa.

Entre as ações sugeridas destacam-se:

- elaboração de plano de manutenção preventiva periódica para bombas de concreto;
- registro sistemático das intervenções realizadas nos equipamentos;
- inspeção preventiva de componentes críticos, como garfos, mangotes e sistemas hidráulicos;
- acompanhamento das horas de operação dos equipamentos.

A adoção de tais práticas podem reduzir significativamente a ocorrência de falhas durante o bombeamento, contribuindo para a diminuição das perdas operacionais e aumento da confiabilidade do processo produtivo.

5.2. Padronização do controle de slump e treinamento operacional

A segunda principal causa de perdas identificada foi a alteração do slump do concreto, responsável por aproximadamente 25% das perdas registradas.

Para reduzir esse tipo de ocorrência, recomenda-se a padronização dos procedimentos de controle tecnológico do concreto, bem como a realização de treinamentos periódicos com motoristas e operadores da central.

As principais ações propostas incluem:

- padronização do procedimento de verificação do slump antes da saída da central;
- reforço na orientação quanto à adição de água nas obras, evitando alterações não autorizadas na mistura;
- participação do departamento técnico na orientação de clientes e equipes operacionais;

- capacitação periódica dos motoristas quanto aos parâmetros de controle de qualidade do concreto.

Essas medidas visam reduzir variações indesejadas nas propriedades do concreto e evitar a recusa de cargas pelos clientes.

5.3.Procedimentos operacionais para prevenção de obstrução da tubulação

A obstrução da tubulação utilizada no bombeamento do concreto foi responsável por aproximadamente 14% das perdas identificadas.

Para minimizar esse problema, recomenda-se a implementação de procedimentos operacionais padronizados para preparação e limpeza das tubulações de bombeamento.

Entre as ações sugeridas destacam-se:

- verificação prévia das condições da tubulação antes do início do bombeamento;
- utilização adequada de argamassa de partida para lubrificação inicial da linha de bombeamento;
- inspeção periódica das mangueiras e conexões;
- treinamento das equipes de obra quanto às boas práticas de operação do sistema de bombeamento.

A adoção desses procedimentos contribui para a redução de interrupções no processo e diminuição das perdas de concreto.

5.4.Implementação de checklist operacional para caminhões betoneira

Parte das ocorrências identificadas está associada a falhas mecânicas em caminhões betoneira durante o transporte do concreto.

Como medida preventiva, recomenda-se a implementação de um checklist operacional diário para os veículos utilizados na operação.

Esse checklist pode incluir a verificação de itens como:

- condições dos pneus;
- funcionamento do sistema hidráulico do tambor;
- nível de combustível;
- funcionamento do sistema de giro do tambor;

- condições gerais do veículo.

A utilização desse procedimento permite identificar possíveis problemas antes do início da operação, reduzindo o risco de interrupções durante o transporte do concreto.

5.5. Monitoramento de indicadores de perdas operacionais

Por fim, recomenda-se a criação de indicadores de desempenho operacional para monitorar continuamente as perdas de concreto na unidade.

Entre os indicadores sugeridos destacam-se:

Indicador de perdas por cancelamento

$$IP = \frac{\text{Volume de perdas}}{\text{Volume total produzido}}$$

Considerando os dados analisados:

$$IP = \frac{750}{180000} = 0,42\%$$

Recomenda-se também o acompanhamento de:

- número de cancelamentos por mês;
- volume de concreto descartado mensalmente;
- custo financeiro das perdas.

O monitoramento sistemático desses indicadores permite avaliar a eficácia das ações implementadas e apoiar a tomada de decisões gerenciais.

A **Tabela 6** apresenta o plano de ação proposto para o monitoramento de indicadores de perdas operacionais na central de concreto. Como parte das ações de controle e melhoria contínua, recomenda-se a implementação de indicadores de desempenho que permitam acompanhar de forma sistemática as perdas de concreto associadas a cancelamentos de pedidos. Entre os indicadores sugeridos destaca-se o **Indicador de Perdas por Cancelamento (IP)**, calculado pela razão entre o volume de perdas registradas e o volume total produzido no período analisado. Com base nos dados levantados neste estudo, verificou-se um índice de perdas de **0,42%**, obtido a partir da relação entre 750 m³ de perdas e 180.000 m³ de produção total. Como

complemento ao indicador apresentado, recomenda-se também o monitoramento do número de cancelamentos mensais, do volume de concreto descartado e do impacto financeiro decorrente dessas perdas. O monitoramento sistemático desses indicadores possibilita avaliar a efetividade das ações implementadas e fornece subsídios para a tomada de decisões gerenciais voltadas à redução de desperdícios e à melhoria do desempenho operacional da unidade.

TABELA 6 – PLANO DE AÇÃO

Causa	Ação proposta	Responsável	Impacto esperado
Quebra bomba	Manutenção preventiva	Manutenção	Redução de falhas
Slump alterado	Treinamento e controle	Técnico	Redução de recusas
Tubulação entupida	Procedimento operacional	Operação	Menos interrupções
Falha caminhão	Checklist diário	Motoristas	Menos quebras

FONTE: AUTORA (2026)

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar as perdas de concreto associadas ao cancelamento de Comprovantes de Entrega (CE) em uma filial de uma empresa do setor de concreto usinado, buscando identificar as principais causas das ocorrências e propor melhorias operacionais para redução dos desperdícios.

A partir da análise dos dados operacionais da unidade, verificou-se que a produção anual de concreto é de aproximadamente 180.000 m³, com geração total estimada de 16.800 m³ de resíduos operacionais. Dentro desse volume, as perdas relacionadas ao cancelamento de cargas representam cerca de 750 m³ por ano, correspondendo a 4,7% dos resíduos gerados e aproximadamente 0,42% da produção total da unidade.

Embora esse percentual seja relativamente pequeno em relação ao volume total produzido, o impacto econômico dessas perdas é significativo, considerando o custo médio do concreto estimado em R\$500,00 por metro cúbico, resultando em um custo aproximado de R\$375.000,00 por ano.

A análise das causas por meio do princípio de Pareto evidenciou que 97% das perdas estão concentradas em quatro fatores principais: quebra de bombas de concreto nas obras, alteração do slump do concreto, obstrução da tubulação de bombeamento e falhas mecânicas em caminhões betoneira durante o transporte. Entre essas causas, a quebra de bombas de concreto apresentou maior representatividade, correspondendo a aproximadamente 55% do volume total descartado.

Os resultados também indicaram que todas as falhas identificadas estão associadas a fatores operacionais internos, relacionados principalmente à manutenção de equipamentos, controle de qualidade do concreto e procedimentos operacionais durante transporte e bombeamento.

Com base nos resultados, foram propostas melhorias voltadas à redução de perdas, incluindo a implementação de programas de manutenção preventiva para bombas de concreto, padronização dos procedimentos de controle de slump, adoção de práticas operacionais para prevenção de obstruções nas tubulações de bombeamento e utilização de checklists operacionais para caminhões betoneira.

Também recomenda o monitoramento contínuo de indicadores de desempenho relacionados às perdas operacionais, a fim de monitorar a evolução dos resultados e fornecer subsídios para a tomada de decisões gerenciais.

Portanto a aplicação de ferramentas de análise de dados e gestão operacional pode contribuir significativamente para a identificação das principais causas de desperdício na produção de concreto usinado, possibilitando a implementação de ações corretivas capazes de melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e minimizar a geração de resíduos no processo produtivo.

Por fim, destaca-se que estudos futuros podem aprofundar a análise de outras fontes de geração de resíduos na operação da central de concreto, especialmente aquelas relacionadas aos processos de limpeza de equipamentos e lavagem de caminhões betoneira, que representam a maior parcela do volume total de resíduos gerados pela unidade.

6.1. Sugestões de trabalhos futuros

Apesar dos resultados obtidos contribuírem para a compreensão das perdas de concreto associadas ao cancelamento de cargas na operação analisada, algumas limitações devem ser consideradas.

Primeiramente, o estudo foi desenvolvido com base em dados operacionais de uma única filial de uma empresa do setor de concreto usinado, o que pode limitar a generalização dos resultados para outras unidades ou empresas com características operacionais distintas.

Ademais a análise concentrou-se especificamente nas perdas relacionadas ao cancelamento de Comprovantes de Entrega (CE), que representam apenas uma parcela do volume total de resíduos gerados na operação. Outras fontes relevantes de geração de resíduos, como os processos de lavagem de caminhões betoneira, limpeza de equipamentos e descarte de sobras de concreto, não foram analisadas em profundidade neste estudo.

Outro aspecto que pode ser explorado em pesquisas futuras refere-se à avaliação da eficácia das ações de melhoria propostas, por meio do acompanhamento de indicadores operacionais ao longo do tempo após a implementação das medidas sugeridas.

Logo, recomenda-se que estudos futuros ampliem a análise para outras etapas do processo produtivo da central de concreto, bem como avaliem estratégias de reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos gerados, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na indústria do concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, Sergio Cirelli; ULSEN, Carina. **Resíduos de construção e demolição: fundamentos sobre gestão e reciclagem**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/991>. Acesso em: 07 mar. 2026.

ARAÚJO JUNIOR, C. A.; SILVA, R. F. **Filosofia lean construction para redução de perdas de concreto usinado aplicada em uma obra na cidade de Paulista – PE**. Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/943>. Acesso em: 24 fev. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jul. 2002.

CORDEIRO GONÇALVES, Igor Marques; POZNYAKOV, Karolina. **Lean Construction: Vantagens da sua implantação na atualidade**. Boletim do Gerenciamento, [S.l.], n. 26, p. 13-23, set. 2021. ISSN 2595- 6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/583>. Acesso em: 24 fev. 2026.

FORMOSO, Carlos Torres. **Lean construction: princípios básicos e exemplos**. *Lean Construction na Prática*, 19 jan. 2009. Disponível em: <https://leanconstruction.wordpress.com/2009/01/19/lean-construction-principios-basicos-e-exemplos/>. Acesso em: 06/03/2026

ISHIKAWA, K. **Guia para controle de qualidade**. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.

KAIZEN INSTITUTE. **Compreender o Lean Manufacturing: guia Kaizen.** [S.l.]: Kaizen Institute, 2025. Disponível em: <https://kaizen.com/pt/insights-pt/compreender-lean-manufacturing-guia/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

KAIZEN INSTITUTE. **Desenvolver a capacidade de resolução de problemas com Lean Six Sigma.** Disponível em: <https://kaizen.com/pt/insights-pt/resolucao-problemas-lean-six-sigma/>. Acesso em: 23 fev. 2026.

KAIZEN INSTITUTE. **Melhoria contínua com DMAIC: a base do Six Sigma.** Disponível em: <https://kaizen.com/pt/insights-pt/melhoria-continua-dmaic-six-sigma/>. Acesso em: 23 fev. 2026.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. **A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems.** Manufacturing Letters, v. 3, p. 18- 23, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221384631400025X> Acesso em: 23/02/2026

LEMOS, Esdras Miranda – QUALIDADE 4.0: uma abordagem sobre o novo papel da qualidade na quarta revolução industrial. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2021. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/entities/publication/b910cd01-883a-4bec-bf7e-88c6799f0fbf> Acesso em: 03/03/2026.

LEVY, Salomon Mony. **Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos.** 1997. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/dissertacao_salomon.pdf Acesso em: 24/02/2026.

MARIANO, Fernando Barbosa; GONÇALVES, Filipe Prates Ferreira e Maia; SILVA, Riany Mara Pereira; REIS, Roberts Vinicius de Melo. **Estudo de caso da aplicação da ferramenta DMAIC em uma empresa do ramo da construção civil.** Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2019. Disponível em:

<https://bib.pucminas.br/pergamumweb/vinculos/0000ae/0000aef6.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2026.

MARQUES, Mauricio Dias; SIMÕES, Rebeca Delatore; BRAGA JUNIOR, Sérgio Silva. **Sustentabilidade Na Construção Civil: Possibilidades e Dificuldades**. *ARACÊ*, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 11087– 11111, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3707>. Acesso em: 2 mar. 2026.

MARQUES, Maurício Dias; BENINI, Sandra Medina. **Resíduos da construção civil e as contradições da sustentabilidade**. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S. l.], v. 14, n. 91, p. e2534, 2026. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/6236. Acesso em: 8 mar. 2026.

MILHAN, Henrique Honma. **Construção enxuta: estudo da aplicação do sistema Toyota de produção a engenharia civil em estudo de caso no município de Pereira Barreto**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32535>. Acesso em: 24 fev. 2026.

MIYAKE, Dario I. Melhorando o processo: Seis Sigma e Sistema de Produção Lean. In: Roberto G. Rotondaro et al. **Seis Sigma: estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 7. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

SANTOS, Amós Almeida da Silva; RAMOS, Maria Eduarda. **Aplicação do Lean Construction no controle de perdas de insumos**. *Revista FT: Revista Científica de Alto Impacto*, v. 28, n. 139, p. 1– 15, out. 2024 Disponível em: <https://revistaft.com.br/aplicacao-do-lean-construction-no-controle-de-perdas-de-insumos/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SANTOS, Rebeca Amorim dos. **Meio ambiente e a problemática dos resíduos da construção civil: gerenciamento na cidade de Brasília**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/14002/1/21505881.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2026.

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. **Seis Sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação**. Revista de Administração Contemporânea, v. 13, n. 4, p. 616–637, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-65552009000400008> Acesso em: 3 mar. 2024.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

VIEIRA, Luiz de Brito Prado. **Analysis of technologies for recycling the waste generated in concrete production in ready mixed concrete plants**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: [10.11606/T.3.2020.tde-07042022-134106](https://repositorio.usp.br/handle/11363-4/507042022-134106). Acesso em: 05/03/2026.

XU, Min; DAVID, Jeanne M.; KIM, Suk Hi. **The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges**. *International Journal of Financial Research*, v. 9, n. 2, p. 90- 95, 2018. Disponível em: <https://www.sciedupress.com/journal/index.php/ijfr/article/view/13194/8136> Acesso em: 23/02/2026

WERKEMA, Maria Cristina Cammarota. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.