



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CAMPUS DE CRATEÚS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALINE KERLY CESAR DE SOUSA SARAIVA

**AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) DA OBRA DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DOS SERTÕES
DE CRATEÚS**

CRATEÚS

2026

ALINE KERLY CESAR DE SOUSA SARAIVA

AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) DA OBRA DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DOS SERTÕES DE
CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentada ao Programa de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil. Área de
concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Fernandes da
Silva.

Coorientadora: Prof. Sigrid Machado Binda.

CRATEÚS

ALINE KERLY CESAR DE SOUSA SARAIVA

AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO (RCD) DA OBRA DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DOS
SERTÕES DE CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentada ao Programa de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil. Área de
concentração: Construção Civil.

Aprovada em: 13/07/2026.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Thiago Fernandes da Silva

Orientador - Universidade Federal do Ceará – Campus de Crateús

Sigrid Machado Binda

Coorientadora - Universidade Federal do Ceará – Campus de Crateús

Dra. Luana Viana Costa e Silva

Examinadora interna - Universidade Federal do Ceará – Campus de Crateús

Me. Karina Albuquerque da Silva

Examinadora externa – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado
do Ceará - Campus de Crateús

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos não poderiam deixar de ser dirigidos para minha coorientadora da qual diante de todos os problemas e percalços que eu tinha passado aceitou me ajudar a realizar meu sonho de me formar me ajudando e orientado nesse trabalho e também agradecer ao Dr. Thiago, o qual aceitou me ajudar e me instruir.

Agradeço ao Dr. Fábio Santos de Sousa pela assistência técnica e mentoria essenciais ao longo do desenvolvimento do meu primeiro Trabalho de Conclusão de Curso, mesmo não tendo sido concluído com êxito. Destaco sua dedicação, preocupação e compromisso, que permaneceram mesmo diante da minha desistência do tema inicial, demonstrando um genuíno interesse pelo meu aprendizado. Mesmo à distância, sua orientação e apoio foram fundamentais para minha formação acadêmica e para o conhecimento adquirido ao longo dessa trajetória.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus colegas que estiveram ao meu lado durante toda a trajetória acadêmica. Agradeço pelo apoio constante, pelas palavras de incentivo nos momentos em que pensei em desistir e pela solidariedade demonstrada ao me auxiliarem nas disciplinas em que encontrei maior dificuldade. Em diversas ocasiões, foram verdadeiros pilares, compreendendo e respeitando os desafios impostos pela minha rotina intensa de trabalho, maternidade e responsabilidades domésticas. Seu companheirismo foi essencial para que eu pudesse concluir mais essa etapa da minha vida. Gostaria de externalizar também meu agradecimento a quem não me ajudou, dizendo que eu não era capaz, que não ia conseguir, menosprezou meu processo demorado de conclusão e por muita das vezes atrapalhou e tornou esse processo árduo e doloroso, pois foi por eles também que criei determinação de mostrar que eles estavam errados que eu iria conseguir.

Não poderia deixar de expressar minha sincera gratidão aos meus pais e aos meus sogros, que, em inúmeras ocasiões, cuidaram de minha filha e se disponibilizaram para buscá-la na escola, permitindo que eu pudesse assistir integralmente às aulas ou realizar provas com tranquilidade.

Agradeço, de forma profundamente especial, ao meu esposo, pelo apoio incondicional ao longo de toda esta trajetória, por compreender minhas ausências e, sobretudo, por dividir comigo a responsabilidade na criação de nossa filha. Sua paciência diante do meu cansaço e estresse foi essencial para que eu não desistisse deste

projeto — e, principalmente, de mim mesma. Esta caminhada foi marcada por momentos de dor, fragilidade e desafios que afetaram profundamente minha saúde emocional, e, em meio às crises e dificuldades que por vezes me fizeram questionar minha própria continuidade, foi a sua presença firme, acolhedora e constante que me sustentou. Ao lado de Deus, você foi minha base nos momentos mais difíceis, segurando minha mão quando me faltavam forças para seguir, e por isso sou imensamente grata por todo o amor, companheirismo e apoio, pois esta conquista também é sua.

Expresso minha especial e sincera gratidão à minha coorientadora, Sigrid Machado Binda, pelo apoio constante, dedicação, paciência e, principalmente, por toda a orientação efetiva ao longo deste trabalho. Sua disponibilidade, cuidado e comprometimento foram fundamentais em cada etapa, contribuindo de forma decisiva para a realização deste estudo e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço também ao orientador, Thiago Fernandes da Silva, pela participação e contribuição nesta etapa.

Aos professores participantes da banca examinadora agradeço pela disponibilidade, atenção e valiosas contribuições apresentadas, que certamente enriqueceram este trabalho.

“A medida definitiva de um homem não é onde ele se encontra em momentos de conforto e conveniência, mas onde ele se encontra em momentos de desafio e controvérsia.” Marthin Luther King

RESUMO

O gerenciamento de resíduos de construção e demolição (RCD) constitui um dos principais desafios para a sustentabilidade e conformidade ambiental na engenharia civil contemporânea. Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a gestão de RCD na obra de reforma e ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús (Hospital São Lucas), no estado do Ceará, com o objetivo de avaliar a conformidade normativa e a eficiência logística do empreendimento. A metodologia consistiu no monitoramento e análise comparativa entre as diretrizes do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) e os dados reais consolidados por meio de Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) e Certificados de Destinação Final (CDF) via sistema SINIR. Os resultados quantitativos apontaram a geração total de 4.096,81 toneladas de resíduos, com uma predominância de 99,90% de materiais da Classe A (concreto e alvenaria), impulsionada pelas demolições estruturais necessárias para adequação à RDC nº 50/2002 da ANVISA. Os resíduos da Classe B totalizaram 165,85 m³, com maior incidência no período inicial da obra devido à complexidade das novas redes de gases medicinais e sistemas elétricos. Evidenciou-se, ainda, a necessidade de manejo rigoroso e armazenamento estanque para os resíduos perigosos da Classe D, devido aos riscos de contaminação do solo em ambiente hospitalar ativo. Conclui-se que o gerenciamento de RCD no empreendimento atendeu com êxito às diretrizes da Resolução CONAMA nº 307/2002 e da Lei nº 12.305/2010 (PNRS), demonstrando que o uso do binômio PGRCC e MTR eletrônico assegura a melhor rastreabilidade da cadeia de custódia e desvia com sucesso os materiais de vazadouros clandestinos.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição (RCD). PGRCC. SINIR. Gestão Ambiental Hospitalar. Crateús-CE.

ABSTRACT

Construction and demolition waste (CDW) management represents a major challenge for sustainability and environmental compliance in contemporary civil engineering. This study presents a case study on CDW management during the renovation and expansion of the *Hospital Universitário dos Sertões de Crateús* (Hospital São Lucas) in the state of Ceará, aiming to evaluate the project's regulatory compliance and logistical efficiency. The methodology involved monitoring and comparing the guidelines of the Construction Waste Management Plan (PGRCC) with actual data consolidated via Waste Transport Manifests (MTR) and Final Disposal Certificates (CDF) through the SINIR system. Quantitative results indicated a total generation of 4,096.81 tonnes of waste, with Class A materials (concrete and masonry) predominating at 99.90%; this was driven by structural demolitions required to meet ANVISA Resolution RDC No. 50/2002. Class B waste totaled 165.85 m³, with the highest volumes occurring during the initial phase of the project due to the complexity of the new medical gas networks and electrical systems. The study also highlighted the need for rigorous handling and sealed storage for Class D hazardous waste, given the risk of soil contamination within an active hospital environment. It is concluded that CDW management for the project successfully met the guidelines of CONAMA Resolution No. 307/2002 and Law No. 12.305/2010 (PNRS), demonstrating that the combined use of the PGRCC and electronic MTR ensures superior chain-of-custody traceability and successfully diverts materials from illegal dumping sites.

Keywords: Construction and Demolition Waste (CDW). PGRCC. SINIR. Hospital Environmental Management. Crateús, Ceará.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma metodológico da pesquisa.....	31
Figura 3- Caçamba estacionária com entulho.....	41
Figura 4- Caçamba estacionária utilizada em obra.....	42
Figura 5- Avanço da Obra do Hospital Regional de Crateús (atualmente denominado Hospital Universitário dos Sertões de Crateús – Hospital São Lucas	43
Figura 6-Avanço físico da obra do Hospital Regional de Crateús (atualmente denominado Hospital Universitário dos Sertões de Crateús – Hospital São Lucas	43
Figura 7- Baía de Resíduos de Madeira.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço Comparativo entre os Volumes do PGRCC e a Modelagem Teórica	45
Tabela 2 - Distribuição de massa ponderal por classe de resíduo	45
Tabela 3 - Estimativa de Geração de Resíduos	47
Tabela 4 - Destinação de Resíduo	48
Tabela 5 - Fluxo logístico mensal de remoção volumétrica de RCD.	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Fluxo logístico mensal de remoção volumétrica de RCD	52
Gráfico 2	Comparativa da Realizado vs. Estimado no PGRCC.	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição.
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
ATT	Área de Transbordo e Triagem.
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente.
CDF	Certificado de Destinação Final .
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
EPI	Equipamento de Proteção Individual.
LO	Licenças de Operação.
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos.
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição.
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos.
RCC	Resíduos de Construção Civil.
RCD	Resíduos de Construção e Demolição.
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente.
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente.
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos.
SOP	Superintendência de Obras Públicas.

LISTA DE SÍMBOLOS

m^3	Metro cúbico.
m^2	Metro quadrado.
%	Porcentagem.
Σ	Somatório.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Generalidades	16
2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	18
2.1. Motivação	18
2.2. Objetivo Geral.....	19
2.3. Objetivos Específicos	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1. A Geração de resíduos como indicador de porte e escala metabólica dos canteiros de obras.....	20
3.2. Transporte externo e destinação final	21
3.3. Instrumentos de controle: O PGRCC como ferramenta de gestão	22
3.4. Auditoria documental e controle de fluxos: A atuação da empresa de transbordo na destinação dos resíduos.....	23
3.5. A importância da economia circular na gestão de resíduos da construção civil (RCC).....	24
3.6. Impactos socioambientais e a necessidade do gerenciamento de resíduos no setor construtivo	25
3.7. Fluxo operacional do gerenciamento de RCD conforme a resolução CONAMA 307/02.....	26
3.8. Caracterização e triagem na fonte.....	26
3.9. Segregação e acondicionamento por classes	27
3.10. O mecanismo regulatório multinível dos resíduos da construção civil: Das diretrizes nacionais às normas estaduais e municipais de resíduos.....	28
3.11. Diretrizes nacionais de resíduos: Uma análise da PNRS (Lei nº 12.305/2010) e sua regulamentação (Decreto nº 7.404/2010) no Gerenciamento de RCC.....	29
4. METODOLOGIA.....	31
4.1. Caracterização do Objeto de Estudo.....	32

4.2.	Abordagem e delineamento da pesquisa	32
4.3.	Levantamento bibliográfico e análise setorial	33
4.4.	Metodologia de Análise Quantitativa de Resíduos de Construção e Demolição(RCD)	33
4.5.	Tratamento, classificação e quantificação dos resíduos	34
4.6.	Logística de transbordo e destinação	34
4.7.	Confronto entre dados empíricos e referenciais normativos.....	35
4.7.1.	<i>Formulação Matemática e Memória de Cálculo do Modelo Teórico</i>	35
4.7.1.1.	<i>Fração Mineral da Demolição (Classe A)</i>	35
4.7.1.2.	<i>Fração Mineral da Obras de Ampliação (Classe A)</i>	36
4.7.1.3.	<i>Demais Frações de Resíduos (Classes B, C e D)</i>	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.	40
5.1.	Estudo de caso: Hospital Universitário dos Sertões de Crateús (Hospital São Lucas)	40
5.2.	Análise comparativa: Planejado (PGRCC) versus realizado (MTR/CDF)	44
5.2.1.	<i>O Cenário Consolidado em Massa: Balanço de Destinação (SINIR).</i>	44
5.2.2.	<i>O papel do SINIR como instrumento de rastreabilidade no gerenciamento de RCD.</i> 46	
5.2.3.	<i>Dimensões e índices do empreendimento.</i>	46
5.2.4.	<i>Diagnóstico quantitativo e qualitativo dos resíduos</i>	47
5.2.5.	<i>Análise comparativa entre a estimativa volumétrica do PGRCC e modelos teóricos da literatura</i>	49
5.2.6.	<i>O Monitoramento volumétrico cronológico (MTRs)</i>	50
5.3.	Confronto crítico: PGRCC técnico vs. indicadores reais	53
6.	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	58

1.INTRODUÇÃO

1.1.Generalidades

A construção civil é um dos setores mais relevantes para desenvolvimento econômico e social. Ela gera empregos, movimenta a economia e leva infraestrutura para onde as pessoas precisam. Mas, ao mesmo tempo, é um dos setores que mais agride o meio ambiente. Não dá para ignorar: cada obra, seja uma casa, uma ponte ou um hospital, consome toneladas de recursos naturais e produz uma quantidade imensa de entulho.

Os principais problemas causados pela construção civil são bem conhecidos. Primeiro, a extração de areia, cascalho e brita, compromete rios, aquíferos e ecossistemas inteiros. Depois, há o volume gigantesco de resíduos gerados. Quando esse entulho não tem destino certo, ele vai parar em terrenos baldios, margens de rios ou fundos de vale, entupindo bueiros, assoreando rios e poluindo o solo. Além disso, as obras emitem poeira e partículas que prejudicam a qualidade do ar e a saúde de quem mora perto. Por fim, a impermeabilização do solo, altera o jeito como a água da chuva escoar, piorando enchentes em muitas cidades.

Os resíduos de construção e demolição, os famosos RCD, são justamente o resultado dessas atividades. Eles incluem desde restos de concreto e tijolos até madeira, gesso, plásticos e até materiais perigosos, como tintas e solventes. A Resolução CONAMA nº 307/2002 e a Lei nº 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, deixam claro que esses resíduos têm regras próprias e não podem ser tratados como lixo comum.

O problema é que o Brasil vive um momento de crescimento urbano acelerado. A demanda por infraestrutura tem contribuído diretamente para a necessidade de maior atenção para a gestão destes resíduos, uma vez que, conforme alertam Pinto (1999) e Jonh (2000), a construção civil é responsável por parcela expressiva dos impactos ambientais urbanos, o que torna a gestão dos RCD um desafio para poder público para empresas do setor.

A maioria das prefeituras não tem estrutura para lidar com isso. Os planos de gestão de resíduos, quando existem, estão desatualizados. Falta gente para fiscalizar. Faltam aterros licenciados e usinas de reciclagem, principalmente no interior. E, para piorar, boa parte do transporte de entulho é feito de forma irregular, por empresas sem licença, que acabam despejando os resíduos em qualquer lugar. No fim, quem paga a conta é o poder público, e a população.

Esse cenário de tensionamento entre desenvolvimento urbano e preservação ambiental já havia sido antecipado por Capra (2002, p. 19), ao afirmar que "à medida que o novo século se desdobra, um dos nossos maiores desafios é o de construir e manter comunidades sustentáveis". Tal perspectiva alinha-se diretamente ao objeto deste estudo, uma vez que a obra do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús representa justamente esse duplo desafio: atender à demanda por infraestrutura de saúde de qualidade, ao mesmo tempo em que precisa compatibilizar suas operações com as exigências de sustentabilidade e conformidade ambiental impostas pela legislação vigente.

Com o intuito de minimizar esses impactos, foram estabelecidas diretrizes legais importantes, como a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que definem responsabilidades para geradores, transportadores e gestores públicos, além de incentivar práticas como redução, reutilização e reciclagem dos resíduos.

É exatamente isso que este trabalho se propõe a investigar: como está sendo feito o gerenciamento de resíduos em uma obra de grande porte, que é a reforma e ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús. Uma obra que envolve um hospital em pleno funcionamento, com restrições sanitárias severas impostas pela ANVISA, e que exige um controle ambiental rigoroso.

Do ponto de vista científico, este estudo se justifica porque há poucas pesquisas que analisem, de forma prática, o uso combinado do PGRCC (Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil) e do MTR (Manifesto de Transporte de Resíduos) em hospitais em operação no interior do Nordeste. A maioria dos estudos se concentra em obras de médio porte ou em grandes centros urbanos (PINTO, 1999; JOHN, 2000; NAGALLI, 2014). Fica uma lacuna quando o assunto é avaliar a gestão de RCD em um ambiente hospitalar ativo, onde o espaço é restrito, o risco de contaminação é alto e é preciso isolar as frentes de serviço das áreas de atendimento aos pacientes.

A obra analisada tem características que a tornam especial: uma taxa de geração de resíduos Classe A que ultrapassou 962 m³ só no período monitorado, por causa das demolições estruturais, uma localização em área urbana consolidada, que limita a circulação de caminhões; e a necessidade de usar o sistema SINIR para rastrear cada carga de resíduo, do início ao fim.

2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

2.1. Motivação

A indústria da construção civil é um dos setores fundamentais para o desenvolvimento socioeconómico do país, contudo, é também um dos maiores geradores de impactos ambientais negativos, devido ao elevado consumo de recursos naturais e à expressiva produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Neste contexto, a obra de reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús configura-se como um estudo de caso de elevada relevância para a análise do gerenciamento de resíduos de construção e demolição. Trata-se de uma infraestrutura pública de grande porte, cuja complexidade vai além do valor do investimento: envolve uma área de intervenção extensa, um volume significativo de entulho gerado e uma grande diversidade de tipologias de resíduos, desde materiais inertes da Classe A até resíduos perigosos da Classe D. Essa variedade exige um controle rigoroso em todas as etapas: segregação na fonte, acondicionamento, transporte e destinação final.

A motivação para a realização deste trabalho justifica-se, primeiramente, pela necessidade de garantir que as práticas de canteiro estejam alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e com as resoluções do CONAMA. Para além do cumprimento legal.

O diferencial prático desta pesquisa reside na oportunidade de auditar esse fluxo material e financeiro por meio de dados documentais reais. A análise minuciosa dos romaneios de entrega e coleta da Athos, emitidos ao longo dos anos de execução do empreendimento (com registros que atravessam os anos de execução, como em 2025), funcionará como o principal instrumento metodológico para quantificar as entradas de insumos e saídas de resíduos. Investigar esses registros permite mapear com precisão o desperdício, identificar gargalos logísticos e propor melhorias na rastreabilidade dos materiais.

Portanto, este estudo contribui academicamente para o fortalecimento das técnicas de gestão sustentável no interior do Ceará e oferece, à comunidade técnica e à construtora responsável, subsídios práticos para a redução de custos e a mitigação dos impactos ambientais, servindo como modelo para futuros empreendimentos de saúde e infraestrutura na região.

2.2. Objetivo Geral

Avaliar o gerenciamento de resíduos de construção e demolição da obra do Hospital Regional de Crateús, identificar oportunidades de reaproveitamento de materiais, promovendo a economia circular dentro da obra.

2.3. Objetivos Específicos

- Classificar os tipos de resíduos gerados na obra e quantificar o volume aproximado de cada classe (A, B, C e D).
- Mapear os procedimentos de segregação na fonte, acondicionamento, transporte interno e destinação final adotados pela construtora no Hospital de Crateús.
- Comparar as práticas no canteiro com as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e normas locais.
- Comparar as estimativas do PGRCC com os volumes efetivamente destinados, registrados nos MTRs e CDFs, validando a acurácia do plano e a rastreabilidade dos resíduos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O exercício da reciclagem no contexto da construção civil contemporânea transcende a simples gestão de descartes, configurando-se como uma estratégia vital de economia circular aplicada ao canteiro de obras, que busca eliminar o desperdício e a poluição desde o princípio, manter produtos e materiais em ciclos de uso pelo maior tempo possível e regenerar os sistemas naturais. Para um empreendimento gerados de grande porte, na reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús, a reciclagem atua como um mecanismo de transformação, onde materiais que seriam destinados a aterros sanitários são reinseridos na cadeia produtiva. Este processo inicia-se com a análise criteriosa das propriedades físicas e químicas dos resíduos Classe A, que, após passarem por processos de britagem e peneiramento, podem ser convertidos em agregados reciclados de alta utilidade técnica. A utilização desses subprodutos em camadas de sub-base, reforço de subleito ou como material de enchimento não apenas preserva as jazidas naturais de agregados virgens, mas também reduz drasticamente os custos logísticos associados ao transporte de bota-fora e à aquisição de novos insumos para a construtora.

3.1. A Geração de resíduos como indicador de porte e escala metabólica dos canteiros de obras

Historicamente, a classificação do porte de um empreendimento na engenharia civil pautou-se em critérios puramente bidimensionais ou financeiros, como a área construída em metros quadrados (m^2) ou o montante do orçamento estimado. Contudo, sob a égide da sustentabilidade urbana e da ecoeficiência, a literatura técnica e o arcabouço normativo contemporâneos passaram a adotar a "escala metabólica" do canteiro, no qual mensurada através da taxa de geração de resíduos, como a métrica definitiva para ditar a magnitude e a complexidade logística de uma obra (PINTO, 1999; SOUZA et al., 2021).

Essa mudança de paradigma encontra amparo metodológico na aplicação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), instrumento obrigatório instituído pela Resolução CONAMA nº 307/2002 e ratificado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). O PGRCC opera como um modelo preditivo e analítico: na fase de planejamento, ele estima a massa residual através de fatores de geração consolidados (como o consagrado índice de $150 \text{ kg}/m^2$ proposto por Pinto, 1999); na fase de execução,

confronta essa projeção com as saídas físicas efetivas controladas por ferramentas fiscais e operacionais.

Diante disso, a constatação do porte de um empreendimento deixa de ser uma estimativa abstrata de projeto e passa a ser uma comprovação factual baseada em dados empíricos de fluxo de massa. Conforme estabelece o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Crateús (Lei Municipal nº 569/2016), em estrita consonância com as diretrizes federais, o divisor de águas que desvincula o pequeno gerador (atendido pelo sistema público universal) do gerador privado de grande escala é essencialmente volumétrico.

Sob o prisma desse referencial, uma taxa de geração contínua superior a 7 m³ mensais atua como o principal indicador empírico de que a obra assumiu caráter de grande porte. A necessidade de fracionar e escoar esse volume substancial através de múltiplos Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) e caçambas estacionárias privadas comprova que a dinâmica do canteiro extrapolou as taxas de rotina.

A quantidade e a tipologia de resíduos gerados em canteiro ditam o tamanho da obra sob o ponto de vista da engenharia de produção e do impacto ambiental. Empreendimentos de grande escala, como a infraestrutura hospitalar supracitada, demandam uma taxa metabólica elevada de consumo de materiais e quebra de insumos. Logo, o monitoramento sistemático dessas perdas por meio do nexos PGRCC-MTR não apenas atesta a classificação de Grande Gerador, mas serve como ferramenta de diagnóstico para avaliar a eficiência construtiva e a viabilidade de inserção do canteiro no modelo de economia circular.

3.2. Transporte externo e destinação final

A etapa final do fluxo operacional é a retirada dos resíduos do canteiro para a destinação licenciada. Este processo é rigidamente controlado pela vinculação do PGRCC a empresas receptoras que possuem Licença de Operação (LO) válida. O transporte é efetuado por veículos adequados, garantindo que o ciclo de vida do resíduo se encerre em locais devidamente autorizados pelos órgãos ambientais, como aterros licenciados ou unidades de beneficiamento.

O processo de transporte externo e destinação final constitui a etapa de encerramento do ciclo de vida dos resíduos dentro do canteiro de obras, sendo fundamental para assegurar que o passivo ambiental gerado pela reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús seja mitigado de forma legal e técnica. Esta fase inicia-se com a contratação de empresas transportadoras devidamente licenciadas, que possuem a responsabilidade de realizar

o transbordo dos materiais das áreas de armazenamento temporário para as unidades de recebimento licenciadas. A conformidade nesta etapa é rigorosamente monitorada por meio do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), documento emitido via sistema SINIR que garante a rastreabilidade total de cada volume retirado, comprovando perante órgãos fiscalizadores como a SOP e a SEMACE que o destino dado aos resíduos está em plena consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

No que tange à destinação final, as diretrizes estabelecidas no PGRCC da obra priorizam o encaminhamento de materiais Classe A para aterros de inertes ou usinas de beneficiamento, onde possam ser processados e reintegrados à cadeia produtiva da construção civil como agregados reciclados. Já os resíduos de Classe B são direcionados a centros de triagem ou cooperativas de reciclagem, promovendo a reinserção de plásticos, papéis e metais no mercado. Especial atenção é dedicada aos resíduos Classe D, que, devido à sua natureza perigosa ou contaminante, demandam tratamento especializado, como incineração ou disposição em aterros industriais de Classe I. A seleção de receptores que detenham Licenças de Operação (LO) vigentes é, portanto, o pilar que sustenta a segurança jurídica e ambiental do empreendimento, evitando descartes irregulares que poderiam resultar em sanções administrativas e danos irreversíveis ao ecossistema local.

3.3. Instrumentos de controle: O PGRCC como ferramenta de gestão

O Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) atua como o principal instrumento de controle e governança ambiental dentro do canteiro de obras, transcendendo a mera formalidade documental exigida pelos órgãos licenciadores. Na execução do Hospital Regional de Crateús, o PGRCC funciona como uma ferramenta de gestão dinâmica que permite à equipe de engenharia prever o volume de descartes, organizar a logística de transbordo e garantir que cada resíduo gerado tenha sua destinação final devidamente rastreada e comprovada. Por ser um documento que estabelece metas de redução e diretrizes de segregação, ele se torna o parâmetro balizador para auditorias internas e fiscalizações externas da SOP, assegurando que o empreendimento opere em conformidade com os padrões de sustentabilidade e responsabilidade técnica.

Sob o prisma operacional, a eficácia do PGRCC como ferramenta de gestão está diretamente ligada à sua capacidade de integrar diferentes setores da obra, desde o almoxarifado até as frentes de demolição e acabamento. Através deste instrumento, é possível realizar o controle financeiro da gestão de resíduos, monitorando os custos com empresas transportadoras

e unidades receptoras licenciadas, além de possibilitar a identificação de desperdícios no uso de materiais. Ao vincular o plano ao uso de Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) e à exigência de Licenças de Operação (LO) e Autorização Ambiental das empresas parceiras, o PGRCC protege a construtora contra passivos jurídicos e ambientais, consolidando-se como um pilar de segurança estratégica que valida a eficiência e a transparência da gestão pública em obras de grande porte.

Além do controle burocrático, o PGRCC serve como um roteiro de educação ambiental continuada, transformando o canteiro de obras em um ambiente de conscientização técnica. A aplicação sistemática das revisões do plano, como a observada no PGRCC R01 da Athos Construções, permite o ajuste de rotas conforme o avanço das fases da obra, adaptando a logística de coleta às necessidades específicas de cada momento construtivo. Dessa forma, o plano deixa de ser um documento estático para se tornar um sistema de melhoria contínua, fundamental para que o Hospital Regional de Crateús atinja o objetivo de minimizar a geração de rejeitos e maximizar o potencial de reciclagem, elevando o patamar de eficiência da engenharia civil regional.

3.4. Auditoria documental e controle de fluxos: A atuação da empresa de transbordo na destinação dos resíduos

Para compreender a fundo a eficácia desse controle na obra do hospital, faz-se necessário estabelecer a distinção técnica entre o romaneio, o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) e o Certificado de Destinação Final (CDF), visto que, embora complementares, são documentos com naturezas jurídicas e operacionais distintas que atuam em diferentes etapas do fluxo logístico e da gestão ambiental. O romaneio funciona como um instrumento de controle estritamente operacional e comercial, emitido no canteiro para detalhar a listagem física, o peso bruto e as características volumétricas da carga acondicionada no veículo transportador (CHALOUB et al., 2021). Por sua vez, o MTR consolida-se como um documento declaratório obrigatório e de rastreabilidade legal que acompanha o resíduo durante todo o seu trânsito fático; instituído nacionalmente pela Portaria MMA nº 280/2020 e operacionalizado por plataformas como o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), o manifesto vincula juridicamente o gerador, o transportador e o receptor, garantindo que os materiais circulem amparados pelas licenças ambientais vigentes (BRASIL, 2020). Por fim, o ciclo de responsabilidade pós-recolhimento é encerrado com a emissão do CDF, um documento emitido exclusivamente pelo destinador final após o

recebimento, triagem e tratamento definitivo dos rejeitos ou recicláveis; o CDF atesta formalmente a regularidade jurídica do processo perante os órgãos fiscalizadores do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), servindo como salvaguarda legal contra penalidades decorrentes de crimes ambientais e garantindo a conformidade com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010 (SOUZA; LUNA, 2022).

3.5. A importância da economia circular na gestão de resíduos da construção civil (RCC)

A incorporação dos preceitos da Economia Circular no setor da construção civil representa uma ruptura necessária com o modelo econômico linear clássico de extração, transformação, uso e descarte. No âmbito do ambiente construído, essa transição assume um papel estratégico fundamental, uma vez que a cadeia produtiva da construção é historicamente reconhecida como uma das maiores consumidoras de recursos naturais finitos e, simultaneamente, uma das principais fontes geradoras de resíduos sólidos urbanos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2010).

A importância prática desse modelo para a gestão de RCC reside na redefinição do conceito de "entulho". Sob a ótica circular e os fundamentos do modelo *Cradle to Cradle* (Do Berço ao Berço), os resíduos deixam de ser encarados como um passivo ambiental destinado a aterros e passam a ser categorizados como valiosos "nutrientes técnicos" ou bancos de materiais (McDONOUGH; BRAUNGART, 2002). Essa abordagem ganha contornos de obrigatoriedade e relevância técnica ao ser confrontada com a Resolução CONAMA nº 307/2002, a qual impõe a triagem e a destinação correta das frações reutilizáveis e recicláveis (notadamente os materiais de Classe A e B).

Em suma, a Economia Circular consolida-se como o elemento integrador que transforma o gerenciamento de resíduos, muitas vezes visto apenas como uma obrigação fiscalizatória e burocrática, em uma ferramenta de alta engenharia. O monitoramento sistemático dessas dinâmicas por meio do binômio PGRCC e Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) torna-se, portanto, indispensável para mapear o grau de eficiência e circularidade dos canteiros contemporâneos, validando a sustentabilidade de intervenções físicas de grande escala.

A viabilidade da economia circular na construção civil depende da existência de um mercado local para os resíduos reciclados. O estabelecimento de parcerias entre construtoras, transportadoras e recicladoras locais é fundamental para que os materiais segregados sejam

efetivamente reinseridos na cadeia produtiva, reduzindo o descarte em aterros e gerando valor econômico para os resíduos.

3.6. Impactos socioambientais e a necessidade do gerenciamento de resíduos no setor construtivo

A magnitude dos impactos gerados pelo setor construtivo exige uma transição do modelo de economia linear para uma lógica de economia circular. Nesse sentido, John (2000) assevera que a construção civil consome de 20% a 50% dos recursos naturais extraídos pela sociedade, o que torna a gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) um pilar indispensável para a sustentabilidade urbana.

A disposição irregular de resíduos compromete diretamente o equilíbrio dos ecossistemas locais. Segundo Pinto (1999), um dos precursores no estudo da gestão de RCD no Brasil, o descarte indiscriminado em áreas periféricas ou fundos de vale provoca a obstrução de sistemas de drenagem, o assoreamento de corpos hídricos e a contaminação do solo por lixiviação. Sob essa ótica, o gerenciamento não deve ser visto apenas como uma obrigação legal, mas como uma medida mitigadora de passivos ambientais.

"A gestão inadequada dos resíduos não apenas degrada a paisagem, mas altera a dinâmica hídrica e biológica das cidades, elevando os custos de manutenção da infraestrutura pública." (ZORDAN, 1997).

Para além do viés ecológico, a problemática assume contornos sociais críticos. A negligência associada ao fluxo final dos rejeitos estende-se para além dos impactos visuais e econômicos, convertendo-se em um vetor de degradação sanitária. Sob a ótica de Karpinsk et al. (2009), as áreas de descarte irregular de resíduos da construção civil frequentemente tornam-se focos de proliferação de vetores de doenças e favorecem a deposição clandestina de resíduos perigosos ou orgânicos, agravando sistematicamente os índices de saúde pública. Esse cenário de insalubridade ambiental é potencializado pela mistura de frações inertes com materiais degradáveis no canteiro ou nos bota-foras, o que cria abrigos propícios para animais peçonhentos e criadouros de mosquitos transmissores de arboviroses (MARINHO, 2010; KLEIN; GONÇALVES-DIAS, 2017). De acordo com o que preceitua o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 307/2002, a responsabilidade pelo ciclo de vida do resíduo é compartilhada, e a falha nesse processo representa um retrocesso no desenvolvimento das cidades inteligentes.

A literatura contemporânea, a exemplo de Degani (2003), enfatiza que a necessidade de gerenciamento transcende a conformidade ambiental, alcançando a eficiência econômica. A redução de desperdícios no canteiro de obras e a reintegração de materiais reciclados à cadeia produtiva permitem a otimização de custos e a valorização do empreendimento.

Em suma, a fundamentação teórica do gerenciamento de resíduos repousa na premissa de que a eficácia da engenharia moderna é medida pela sua capacidade de construir sem exaurir, transformando o "resíduo-problema" em "resíduo-recurso" por meio de técnicas de segregação, triagem e reaproveitamento.

3.7. Fluxo operacional do gerenciamento de RCD conforme a resolução CONAMA 307/02

A operacionalização do gerenciamento de resíduos em um canteiro de obras exige que as diretrizes normativas da Resolução CONAMA nº 307/02 deixem de ser apenas preceitos teóricos e se tornem procedimentos práticos e sequenciais. No caso da reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús, essa transição é formalizada através do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), que estabelece o fluxo logístico necessário para assegurar a conformidade ambiental do empreendimento (ATHOS, 2024). Este fluxo operacional compreende um conjunto de etapas interdependentes, que se iniciam no momento da geração do resíduo na frente de serviço e se estendem até a sua disposição final ambientalmente adequada. A seguir, detalham-se as fases que compõem este ciclo, fundamentadas tanto nas exigências legais quanto nas rotinas específicas estabelecidas para a logística da obra em questão.

3.8. Caracterização e triagem na fonte

A caracterização e triagem na fonte constituem o estágio inicial e mais crítico do fluxo de gestão de resíduos. Conforme as diretrizes da Resolução CONAMA nº 307/02, esta etapa consiste na identificação imediata da natureza do resíduo no exato momento e local de sua geração dentro do canteiro de obras. No projeto de reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús, a triagem é executada de forma descentralizada, ocorrendo diretamente nas frentes de serviço (demolição, estrutura, acabamento).

O fluxo inicia-se no momento da geração, onde o resíduo deve ser identificado e

classificado de acordo com sua natureza física e química. Na obra do Hospital Regional, a triagem ocorre diretamente nas frentes de serviço, evitando que materiais recicláveis (Classe B) sejam contaminados por resíduos comuns ou perigosos (Classe D). Esta etapa é fundamental para o sucesso do plano, pois a mistura de resíduos na origem inviabiliza a reciclagem e eleva os custos de destinação final.

A execução rigorosa da triagem na fonte permite que a Athos Construções maximize o reaproveitamento de materiais Classe A na própria obra e reduza os custos de transporte e bota-fora, uma vez que resíduos bem triados possuem menor custo de aceitação em unidades de reciclagem. Além disso, garante a conformidade com as exigências da SOP (Superintendência de Obras Públicas), que fiscaliza a correta destinação dos materiais em obras do estado.

3.9. Segregação e acondicionamento por classes

Após a caracterização, os resíduos são segregados em recipientes ou áreas específicas devidamente identificadas por cores, seguindo o padrão normativo:

- Classe A (Inertes): Alvenarias, concreto e argamassas são acondicionados em caçambas metálicas para posterior reaproveitamento ou envio a aterros de inertes.
- Classe B (Recicláveis): Plásticos, papéis e metais são armazenados em coletores específicos, visando o encaminhamento para cooperativas ou empresas de reciclagem.
- Classe C (Não recicláveis ou sem viabilidade técnica): São materiais para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para reciclagem, como gesso e isolantes térmicos, são segregados na fonte e armazenados em coletores específicos e cobertos, visando o envio para aterros licenciados. Segundo a ABRECON e seus dados históricos a classe C e D dividem as menores fatias do volume total.
- Classe D (Perigosos): Resíduos como tintas, solventes e materiais contaminados provenientes da área hospitalar exigem armazenamento em local coberto, sobre piso impermeável e com sinalização de segurança, conforme preconizado pela legislação vigente.

Embora cada projeto tenha suas particularidades, estudos comparativos indicam uma predominância esmagadora de materiais minerais, seguidos por resíduos de acabamento e logística dos quais estão enquadrados nas classes A, B .

3.10. O mecanismo regulatório multinível dos resíduos da construção civil: Das diretrizes nacionais às normas estaduais e municipais de crateús

O controle dos impactos ambientais no ambiente construído inicia-se juridicamente com a Resolução CONAMA nº 237/1997, que regulamenta o Licenciamento Ambiental como um mecanismo preventivo, condicionando a execução de grandes empreendimentos a garantias mitigadoras, entre as quais se destaca o manejo adequado dos rejeitos. A operacionalização desse controle foi estruturada pela Resolução CONAMA nº 307/2002, marco que instituiu as diretrizes nacionais para a gestão de Resíduos da Construção Civil (RCC) e fixou a segregação na fonte em quatro classes distintas (A, B, C e D). Esse texto base passou por atualizações graduais cruciais, como a Resolução CONAMA nº 348/2004, que incluiu o amianto na classe de resíduos perigosos (Classe D), a Resolução CONAMA nº 431/2011, que reclassificou o gesso para a Classe B para viabilizar sua reciclagem, e a Resolução CONAMA nº 448/2012, que refinou as responsabilidades operacionais dos municípios e dos grandes geradores na execução de seus planos de manejo.

A fim de conferir rigor científico a essas obrigações legais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fornece o instrumental de engenharia necessário, a começar pela NBR 10004/2004, que padroniza os critérios de periculosidade para inventariar os riscos dos descartes. Para viabilizar o fluxo logístico pós-geração e a transformação do entulho em matéria-prima secundária, o ecossistema técnico apoia-se nas diretrizes de projeto, implantação e operação das Áreas de Transbordo e Triagem (ATT) reguladas pela NBR 15112/2004, nos critérios de confinamento seguro de rejeitos inertes estabelecidos pela NBR 15113/2004, e nos parâmetros para usinas de processamento ditados pela NBR 15114/2004. A culminação prática desse ciclo tecnológico fundamenta-se na NBR 15115/2004, norma que confere o respaldo de engenharia de pavimentos para atestar a viabilidade técnica do reuso de agregados reciclados de RCC em bases e sub-bases.

No âmbito regional, as diretrizes nacionais ganham força e detalhamento por meio da legislação do Estado do Ceará, alinhando a gestão de materiais às especificidades socioeconômicas locais. A Lei Estadual nº 13.103, de 24 de janeiro de 2001, estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos, fixando os objetivos de preservação ambiental e as metas de redução de descartes nocivos no território cearense. A execução prática dessa política e os critérios de fiscalização em nível estadual foram definidos pelo Decreto Estadual nº 26.604, de 16 de maio de 2002, que regulamenta as ações de controle operacional e impõe responsabilidades mais rígidas aos geradores de resíduos industriais e de grande escala,

funcionando como o elo jurídico entre as resoluções federais e a realidade dos canteiros de obras locais.

Por fim, a descentralização dessas normas consolida-se na escala local através dos instrumentos jurídicos do município de Crateús, que regulam diretamente a execução física e a conformidade urbana dos empreendimentos. A Lei Municipal nº 569, de 28 de dezembro de 2016, institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de Crateús, CE, mapeando as rotas de descarte permitidas e as obrigações específicas para grandes geradores em consonância com a infraestrutura de saneamento local. Ademais, a regularidade edilícia e o comportamento operacional das frentes de trabalho são balizados pela Lei Municipal nº 450/01, de 28 de junho de 2001, que institui o Código de Obras e Posturas de Crateús. Esse código define os limites de uso do espaço público, a proibição de bota-foras clandestinos em vias urbanas e as exigências sanitárias básicas para o canteiro.

Diante do exposto, a convergência entre as resoluções do CONAMA e a padronização da ABNT deixa de ser uma mera exigência fiscalizatória e passa a atuar como o alicerce metodológico que legitima o PGRCC e os Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR). Em intervenções complexas e de grande escala, como a infraestrutura hospitalar, a aplicação integrada deste arranjo normativo garante que o fluxo de materiais se afaste da tradicional lógica linear de descarte. Consolida-se, assim, um modelo de alta engenharia perfeitamente alinhado aos modernos preceitos de ecoeficiência urbana, logística reversa e economia circular, transformando o passivo residual em vetores de sustentabilidade e valorização tecnológica.

3.11. Diretrizes nacionais de resíduos: Uma análise da PNRS (Lei nº 12.305/2010) e sua regulamentação (Decreto nº 7.404/2010) no Gerenciamento de RCC

No cenário regulatório brasileiro, a gestão de resíduos é balizada de forma estrutural pela Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Este dispositivo legal representou um avanço marcante ao introduzir o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e ao fixar, em seu Artigo 9º, uma ordem estrita de prioridade na gestão de resíduos, que preconiza a não geração, redução, reutilização e reciclagem em detrimento da mera disposição final em aterros.

No âmbito da engenharia civil, a relevância da PNRS consolida-se por meio do seu Artigo 20, o qual determina a obrigatoriedade de elaboração e implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) para os geradores de resíduos da construção civil. Sob este prisma jurídico, os canteiros de obras, passam a ser classificados como grandes geradores, assumindo a total responsabilidade técnica e financeira pelo manejo, segregação na fonte, transporte e destinação ambientalmente adequada de suas frações residuais.

A aplicabilidade prática e a eficácia da Política Nacional de Resíduos Sólidos ganharam contornos operacionais definitivos com a promulgação do Decreto Federal nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, encarregado de regulamentar as diretrizes gerais fixadas pela Lei nº 12.305/2010. Sob a ótica do planejamento urbano e da engenharia legal, este decreto desempenha um papel de suma relevância ao estruturar os mecanismos de governança ambiental, detalhar as exigências para a aprovação dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e instituir os comitês orientadores para a implantação dos sistemas de logística reversa.

No contexto do gerenciamento de resíduos na construção civil, o Decreto nº 7.404/2010 atua como o elo normativo que conecta as obrigações do gerador privado às instâncias de fiscalização municipal. Ao disciplinar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos e a rastreabilidade dos fluxos de descarte, o texto do decreto fornece o suporte jurídico necessário para que ferramentas de controle de transporte de entulho, possuam validade e força coercitiva.

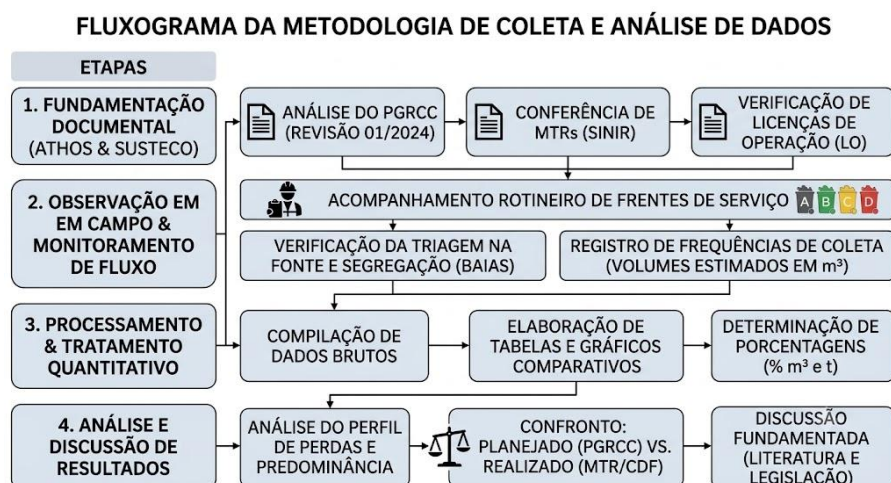
Sendo assim, a adequação de um canteiro de infraestrutura hospitalar de grande escala às exigências do decreto transcende o mero cumprimento documental; exige a efetiva integração da logística de canteiro com as metas de redução, reutilização e destinação adequada pautadas pela agenda regulatória nacional. A convergência entre esses dois marcos federais atua como o alicerce que legitima a aplicação de ferramentas de controle operacional, exigindo que o fluxo de materiais se afaste da tradicional lógica linear de descarte e se direcione para rotas de valorização tecnológica de agregados, em perfeita consonância com os modernos modelos de ecoeficiência urbana e economia circular.

4. METODOLOGIA

A metodologia de coleta de dados (Figura 1) deste estudo será obtida por meio de:

- a) **Análise Documental:** Verificação do PGRCC (Revisão 01/2024), Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) e Licenças de Operação (LO) das empresas receptoras, vinculada ao Contrato nº 062/2024–SOP.
- b) **Observação em Campo:** A observação em campo consistiu em visitas técnicas com registros fotográficos e anotações em diário de obra. Não foi possível aplicar checklists ou realizar acompanhamento contínuo devido a dinâmica operacional da obra. Diante disso, as análises qualitativas foram complementadas e validadas pelos dados documentais dos MTRs e CDFs, que comprovam a rastreabilidade e a conformidade da destinação dos resíduos.
- c) **Monitoramento de Fluxo:** Registro das frequências de coleta e dos volumes estimados de materiais das Classes A, B, C e D, realizados por meio de conferências dos MTR e romaneios.
- d) **Análise Quantitativa dos Dados:** Tratamento dos dados brutos coletados em campo e nos documentos por meio da elaboração de tabelas e gráficos comparativos estruturados. Esta etapa metodológica permitiu a determinação das porcentagens de geração de cada classe de resíduo (A, B, C e D), viabilizando a análise do perfil de perdas, a identificação da predominância de materiais e a discussão fundamentada dos resultados obtidos em relação às metas estabelecidas na literatura técnica e na legislação vigente.

Figura 1- Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.1. Caracterização do Objeto de Estudo

A reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús é uma obra de infraestrutura de saúde de alta complexidade, regida pelo Contrato nº 062/2024–SOP, sob execução da Athos Construções. O empreendimento não se limita à construção civil convencional, mas envolve a modernização de ambientes que exigem conformidade com normas rígidas de vigilância sanitária e biossegurança. Geograficamente, a obra localiza-se em uma zona urbana de Crateús, o que impõe restrições logísticas severas quanto ao fluxo de veículos pesados para a retirada de entulho. A gestão de resíduos, portanto, deixa de ser uma atividade secundária para se tornar um pilar de sustentação do cronograma, uma vez que o acúmulo de materiais em uma área hospitalar em operação poderia comprometer tanto a segurança dos pacientes quanto o andamento das frentes de serviço.

Figura 2 - Mapa de georreferenciamento e localização do empreendimento hospital universitário dos sertões de crateús



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.2. Abordagem e delineamento da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa e quantitativa, uma vez que combina a análise numérica da geração de resíduos com a avaliação das práticas de gerenciamento adotadas. Quanto aos procedimentos técnicos, configura-se como

um estudo de caso, desenvolvido na obra de reforma e ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús, selecionada em função de sua complexidade operacional e elevado potencial de geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Adicionalmente, a pesquisa incorpora análise comparativa de dados secundários provenientes de entidades nacionais do setor, com o objetivo de compreender a variabilidade nas estimativas de geração de RCD em diferentes escalas.

4.3. Levantamento bibliográfico e análise setorial

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico e documental com base em relatórios técnicos e publicações especializadas, destacando-se dados da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) e da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON).

Para o desenvolvimento deste trabalho, o SINIR desempenhou um papel fundamental e estratégico, uma vez que foi a partir da sua ferramenta de Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) que se tornou possível rastrear de forma fidedigna a geração, o transporte e a destinação final do RCD do objeto de estudo.

4.4. Metodologia de Análise Quantitativa de Resíduos de Construção e Demolição(RCD)

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se na análise comparativa de dados secundários provenientes de diferentes fontes institucionais e setoriais, com o objetivo de compreender a variabilidade na estimativa da geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Brasil. Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico e documental com base em relatórios técnicos consolidados, destacando-se o Panorama da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2025) e a pesquisa setorial da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON).

A partir desses dados, procedeu-se à análise crítica das metodologias de aferição utilizadas por ambas as entidades.

Assim, optou-se pela realização de um levantamento em nível local, por meio de estudo de caso Hospital Universitário dos Sertões de Crateús, visando obter maior precisão na quantificação e caracterização dos RCD gerados. Tal abordagem permite uma avaliação mais

fidedigna das práticas de gerenciamento de resíduos, contribuindo para a elaboração de diretrizes mais eficazes para os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), especialmente em obras de saúde e infraestrutura urbana.

4.5. Tratamento, classificação e quantificação dos resíduos

Os dados coletados foram organizados e analisados de forma sistemática, contemplando a quantificação dos resíduos gerados em termos de massa e volume. Em seguida, os resíduos foram classificados conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 307/2002, sendo distribuídos nas Classes A, B, C e D.

4.6. Logística de transbordo e destinação

O canteiro foi estruturado para permitir o transbordo eficiente. O PGRCC estabelece que os resíduos Classe A sejam destinados a áreas de transbordo e triagem (ATT) ou aterros de inertes licenciados na região.

A destinação final do resíduo perigoso ela é feita em tianguá, para blendagem/coprocessamento, nas indústrias de cimento da Votorantim, enquanto os recicláveis são direcionados a associações ou empresas de logística reversa, já a destinação final do classe B, madeira, é recuperação energética na fabricação de artefatos cerâmicos. A rastreabilidade é garantida pela conferência sistemática entre a carga que sai da obra e o certificado de recebimento emitido pelo destino final, fechando o ciclo de controle técnico.

Um dos pontos mais relevantes deste estudo de caso é o sistema de monitoramento de saída de resíduos. Para cada caçamba retirada do Hospital Regional, é emitido um Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) através do sistema SINIR. Este controle permite que a fiscalização da SOP verifique em tempo real:

- A Origem: Obra do Hospital de Crateús;
- O Transportador: Empresa licenciada e com frota inspecionada;
- O Destino Final: Usina de reciclagem ou aterro de inertes com Licença de Operação (LO) vigente. Essa rastreabilidade é o que valida o exercício da responsabilidade técnica do engenheiro civil responsável, garantindo que o resíduo gerado não se torne um problema ambiental em lixões clandestinos, fechando o ciclo de conformidade ambiental preconizado pela Resolução CONAMA nº 307/02.

O armazenamento temporário no canteiro de obras deverá ser feito atendendo aos seguintes requisitos:

1. Afastados de águas superficiais e áreas alagadas;
2. Pavimentados ou com base provida de material impermeabilizante;
3. Com Bacia de Contenção;
4. Coberto (abrigado de chuvas) e arejado;
5. Sinalizado;
6. Coletores identificados;
7. Dotados de aparatos de contenção de vazamento, kit mitigação (serragem, pá, sacos plásticos, tambores vazios, além de EPI);
8. Dispostos em áreas restritas.

A metodologia baseada em MTRs e CDFs mostrou-se eficaz para a rastreabilidade dos resíduos, mas depende de estimativas volumétricas que podem variar conforme o tipo de material e o grau de compactação nas caçambas. Essa limitação pode ser superada em futuras pesquisas pela implementação de sistemas de pesagem automatizada, que registrariam o peso real de cada carga, conferindo maior precisão aos dados e permitindo uma comparação mais rigorosa entre os volumes planejados e os efetivamente destinados.

4.7. Confronto entre dados empíricos e referenciais normativos

Os resultados obtidos em campo foram confrontados com os dados documentais e com os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente, incluindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e a Resolução CONAMA nº 307/2002.

Além disso, foi realizada uma análise crítica à luz das discrepâncias identificadas nos dados nacionais, buscando compreender em que medida o estudo de caso reflete ou diverge das estimativas em larga escala.

4.7.1. *Formulação Matemática e Memória de Cálculo do Modelo Teórico*

4.7.1.1. *Fração Mineral da Demolição (Classe A)*

Com base na sua área real de intervenção no Hospital Regional de Crateús, foi realizado o dimensionamento estatístico onde a área segundo o alvará de construção será:

- Área de demolição: 1.226,31 m²

- Área de reforma/ampliação: que é o somatório das áreas de intervenção de 9.857,52 m²

$$V_{demolição} = \sum (A_{elemento} \times e_{elemento})$$

Onde:

A_{elemento}: Representa a área geométrica de cada componente estrutural

e_{elemento}: Respectiva espessura, calculando-se assim o volume real ocupado pelas edificações preexistentes que serão submetidas ao desmonte integral.

Como em uma planta arquitetônica comum não se calcula o volume de cada parede e laje individualmente, a literatura técnica (como os métodos de *Pinto, 2004* e estudos da *ABRECON*) utiliza o conceito de espessura média equivalente.

Para edificações convencionais de alvenaria e concreto, estima-se que, se triturássemos todo o esqueleto da edificação (lajes, vigas, pilares, paredes e revestimentos) e o espalhássemos uniformemente pelo chão, ele teria uma espessura média entre 0,15 m e 0,25 m. Mesmo sabendo que a obra não efetuou triagem no momento da demolição. Foi adotado um valor médio padrão de 0,20 m para o cálculo teórico teremos:

$$V_{demolição\ geométrico} = 1.226,31 \text{ m}^2 \times 0,20 = 245,26 \text{ m}^3$$

Fazendo a aplicação do fator de empolamento que é um fenômeno típico da movimentação de terra e da demolição na engenharia civil. Ele representa o aumento de volume que um material sofre quando é escavado, fragmentado ou demolido. Esses pedaços já não se encaixam perfeitamente, gerando vazios (ar) entre eles. É esse vazio que faz o volume total aumentar. Segundo as diretrizes da Associação Brasileira de Empresas de Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (ABRECON), adota-se majoritariamente um fator de empolamento de 50% (coeficiente de 1,5) para resíduos fragmentados de Classe A ao aplicar esse índice o valor fica:

$$V_{Empolamento} = 245,26 \text{ m}^3 \times 1,5 = 367,89 \text{ m}^3$$

4.7.1.2. Fração Mineral da Obras de Ampliação (Classe A)

$$V_{total} = A \times G_q$$

Onde:

V_{total}: Volume total estimado de RCC a ser gerado (em m³).

A: Área total construída do projeto (em m²), onde 9.857,52 m² representa a área total de ampliação prevista no projeto arquitetônico

G_q: Indicador de geração de resíduos por área (em m³/m²)

O índice de geração global ajustado de $0,091 \text{ m}^3/\text{m}^2$, foi obtido por meio do retro cálculo analítico dos dados do próprio plano prático, dividindo-se o volume estimado para a Classe A de ampliação $898,55 \text{ m}^3$ pela área total da expansão física $9.857,52 \text{ m}^2$. Essa taxa de aproximadamente 91 litros de entulho por metro quadrado construído encontra estrito alinhamento com a literatura científica nacional, a qual estabelece que obras convencionais eficientes geram entre $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ e $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (PINTO, 1999; SINDUSCON, 2015), validando cientificamente a acurácia do PGRCC na modelagem da fase de obra nova e isolando a variação volumétrica apenas para as incertezas da etapa de demolição

$$I_{ger} = \frac{898,55 \text{ m}^3}{9857,52 \text{ m}^2} \approx 0,091 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$V_{total} = 9.857,52 \text{ m}^2 \times 0,091 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 897,03 \text{ m}^3$$

4.7.1.3. *Demais Frações de Resíduos (Classes B, C e D)*

O rateio volumétrico das classes secundárias (B, C e D) no fluxo de ampliação foi fundamentado nos modelos de composição gravimétrica e volumétrica percentual típica estabelecidos na literatura técnico-científica nacional (PINTO, 1999; JOHN, 2001). Em canteiros de obras convencionais, a fração mineral (Classe A) atua como o componente francamente majoritário, representando historicamente entre 80% e 90% da massa total dos resíduos gerados (NAGALLI, 2014). Por conseguinte, as frações não-minerais ocupam o percentual residual da curva de geração, sendo estimadas estatisticamente em função do volume total acumulado na fase de expansão física $V_{total} 1.170 \text{ m}^3$, conforme os dados reais fornecidos na PGRCC e na tabela 1- Estimativa de Geração de Resíduos.

$$V_{total \text{ da ampliação}} = 898,55 + 170,61 + 54,60 + 13,65 = 1.137,41 \text{ m}^3$$

O descolamento entre o volume nominal estático calculado em projeto $1.137,41 \text{ m}^3$ e o referencial dinâmico adotado para o gerenciamento de canteiro 1.170 m^3 é fundamentado cientificamente pelas teorias de empacotamento de partículas irregulares e de eficiência de acondicionamento volumétrico (ANGULO, 2005; NAGALLI, 2014). Enquanto os materiais rígidos e homogêneos da Classe A possuem um comportamento de empolamento previsível e amplamente tabelado, os resíduos secundários das Classes B (madeiras, plásticos, papelão) e C (gesso) comportam-se de maneira marcadamente heterogênea quando descartados. Conforme

aponta Nagalli (2014), o lançamento desordenado de resíduos de vedação e acabamento em caçambas estacionárias introduz o conceito de vazios macroestruturais, popularmente denominados como "gaiolas de ar". Elementos como retalhos de fôrmas de madeira, restos de perfis metálicos de drywall e placas quebradas de gesso acartonado possuem formas geométricas angulares, alongadas e planas que se apoiam mutuamente pelas arestas, criando pontos de escoramento internos que impedem o preenchimento natural dos espaços inferiores.

Esse fenômeno físico provoca uma queda drástica na densidade aparente global dentro dos contêineres, fazendo com que a caçamba atinja seu limite de volume útil espacial contendo massivamente ar em seu interior, muito antes de atingir sua capacidade máxima de carga em peso (ANGULO, 2005). Ao contrário da fração mineral fragmentada, que tende a se assentar e se reacomodar com a vibração do transporte, os resíduos de madeira e gesso sofrem um travamento estrutural irreversível devido ao atrito superficial de suas faces irregulares, consolidando o desperdício de espaço volumétrico ao longo de toda a cadeia logística. Dessa forma, a expansão matemática de 2,8% aplicada sobre a base teórica, elevando-a para o teto de 1.170 m^3 , confere o necessário rigor científico à pesquisa, pois absorve essa ineficiência física real de empilhamento de materiais heterogêneos e aproxima a modelagem matemática linear da reologia e do comportamento prático dos resíduos sólidos não-minerais em obras institucionais de grande porte (JOHN, 2001).

Os indicadores clássicos de John (2001) e do Sinduscon-SP (2015) estabelecem frações baseadas no peso (massa) dos materiais. Contudo, como o gesso (Classe B), as madeiras e plásticos (Classe B) possuem densidades aparentes baixíssimas e alto índice de vazios quando jogados na caçamba, o volume útil que eles ocupam expande drasticamente. Os percentuais teóricos médios de 16,2%, 5,4% e 1,6% são os coeficientes volumétricos calibrados para este estudo de caso, demonstrando matematicamente quanto do espaço físico total da ampliação foi consumido por essas frações secundárias.

$$V_{B_teorico} = V_{total\ da\ ampliação} \times 16,2\% = 1.170 \times 0,162 = 190,01\text{m}^3$$

$$V_{C_teorico} = V_{total\ da\ ampliação} \times 5,4\% = 1.170 \times 0,054 = 63,34 \text{ m}^3$$

$$V_{D_teorico} = V_{total\ da\ ampliação} \times 1,6\% = 1.170 \times 0,016 = 19,00 \text{ m}^3$$

Esse arranjo metodológico comprova que as frações secundárias estipuladas no PGRCC guardam estrita proporcionalidade matemática com o volume gerado na execução física da área nova expandida $9.857,52 \text{ m}^2$, demonstrando que o plano prático distribuiu os resíduos não-minerais de acordo com os padrões probabilísticos de consumo e perda de insumos (madeiras, gesso, plásticos e tintas) tipificados na literatura nacional (SINDUSCON, 2015).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

5.1. Estudo de caso: Hospital Universitário dos Sertões de Crateús (Hospital São Lucas)

Neste capítulo, apresenta-se a aplicação prática das diretrizes de gerenciamento de resíduos na obra de reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús (atualmente denominado Hospital Universitário dos Sertões de Crateús – Hospital São Lucas, conforme indicado na Figura 1). O empreendimento possui uma área de intervenção de 18.148,45 m² e não se limita à construção civil convencional, mas envolve a modernização de ambientes de alta complexidade hospitalar que exigem estrita conformidade com as normas de vigilância sanitária (RDC nº 50/2002 da ANVISA) e rígidos protocolos de biossegurança. As figuras 5 e 6 demonstra o avanço da obra do Hospital Universitário dos sertões de Crateús hospital São Lucas.

A análise dessas fontes permitiu identificar discrepâncias significativas nas estimativas de geração de resíduos, atribuídas às diferentes metodologias de aferição utilizadas. Enquanto os dados institucionais baseiam-se em registros oficiais, as projeções setoriais consideram o consumo de insumos da construção civil, evidenciando a influência da informalidade e da subnotificação no cenário nacional.

Essa comparação evidenciou uma discrepância expressiva entre os dados, podendo alcançar variações da ordem de 100%, o que indica a presença de subnotificação nos sistemas oficiais e a influência da informalidade no descarte de resíduos. Diante desse cenário, a metodologia do presente trabalho reconhece a limitação das análises baseadas exclusivamente em dados agregados de escala nacional ou estadual.

A ABREMA baseia-se predominantemente em registros administrativos municipais integrados ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), refletindo, portanto, os volumes oficialmente coletados e declarados. Em contrapartida, a ABRECON adota uma abordagem produtiva, estimando a geração de resíduos a partir do consumo de insumos na cadeia da construção civil, o que permite inferir volumes significativamente superior, incluindo aqueles não registrados formalmente.

Como diretriz de planejamento, o PGRCC original da obra estimou uma geração total de 6.137,41 m³ de resíduos para o período das intervenções, adotando taxas de geração baseadas nas etapas de demolição de alvenarias, substituição de revestimentos e geração de perdas de materiais.

O plano estabeleceu que a triagem dos materiais deveria ocorrer na própria fonte geradora (canteiro de obras), segregando-os conforme as classes da Resolução CONAMA nº 307/2002, com armazenamento temporário em caçambas estacionárias fechadas de 6 m³ para evitar a proliferação de vetores e a dispersão de poeira.

A rastreabilidade dos resíduos gerados na obra de Reforma e Ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús é assegurada pela emissão sistemática do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), conforme preconiza a legislação vigente para o controle de fluxos de descarte fora das dependências do empreendimento. No arranjo logístico e operacional estabelecido para o projeto, a empresa Susteco Engenharia e Ambiental LTDA, inscrita no CNPJ sob o nº 47.518.660/0001-22, figura como o agente central responsável pelo transbordo, transporte e, em determinadas classes, pela destinação final ambientalmente adequada dos materiais. A atuação da referida empresa no controle e na execução das MTRs abrange as múltiplas frentes de classificação de resíduos segundo as diretrizes da Resolução CONAMA nº 307/2002. No que tange aos resíduos de Classe A, constituídos por materiais de demolição, escavação e construção, a Susteco Engenharia atua no recebimento e na destinação final desses resíduos inertes e passíveis de reutilização como agregados, operando sob a Licença Ambiental Única nº 005/2024 expedida pela SEMAM, o que garante o amparo legal dos volumes retirados do canteiro. A figura 3 ilustra o modelo de caçamba estacionária utilizada para o acondicionamento dos resíduos de classe A evidenciando o entulho proveniente das demolições estruturais realizadas na obra, enquanto a figura 4 mostra a disposição dessas caçambas no canteiro, destacando a organização logística adotada para facilitar o transbordo e a retirada dos materiais.

Figura 2- Caçamba estacionária com entulho



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 3- Caçamba estacionária utilizada em obra



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para os resíduos recicláveis de Classe B, como plásticos e papelão, a empresa desempenha a etapa de transbordo e transporte amparada pela Autorização Ambiental nº 011/2024 da SEMAM Crateús, direcionando os fluxos documentados via MTR para recicladoras parceiras, enquanto assume tanto o transporte quanto a destinação final licenciada no caso específico dos resíduos de gesso.

A madeira, Classe B, é destinada à recuperação energética em cerâmicas locais, para fabricação de artefatos cerâmicos. A Figura 7 apresenta a baía de resíduos de madeira no canteiro de obras. Esse mesmo rigor documental e operacional estende-se aos resíduos perigosos e contaminados pertencentes à Classe D, a exemplo de latas de tinta, impermeabilizantes e insumos de pintura, cujo manejo inicial e transporte são feitos pela SustEco sob a cobertura da mesma autorização ambiental para transporte, sendo a destinação final subsequente vinculada à baixa da MTR em parceria com instalações de tratamento especializado, com coprocessamento e blendagem em fornos de cimenteiras no estado do Ceará. Dessa forma, a execução das MTRs pela empresa de transbordo funciona como a ferramenta oficial de auditoria técnica do empreendimento, fechando o ciclo de responsabilidade do gerador ao comprovar qualitativa e quantitativamente o cumprimento do fluxo planejado.

As Figuras 5 e 6 ilustram o pátio de segregação para triagem, mostrando que a organização foi planejada no canteiro.

Figura 4- Avanço da Obra do Hospital Regional de Crateús (atualmente denominado Hospital Universitário dos Sertões de Crateús – Hospital São Lucas



Fonte: Ceará (2025).

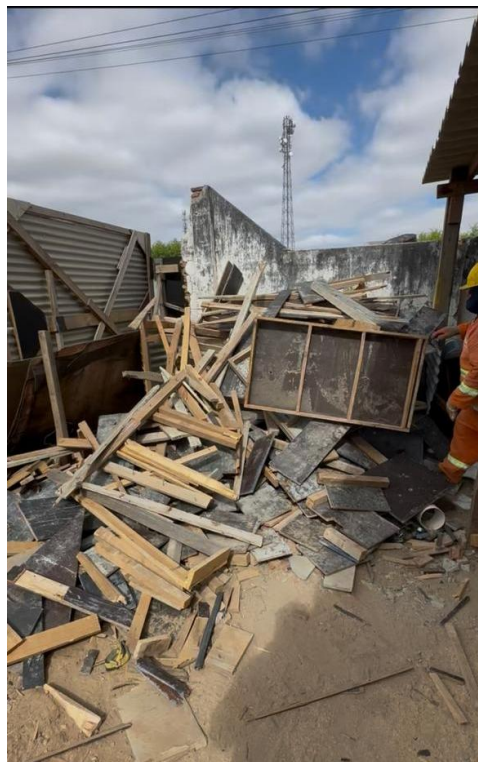
Figura 5- Avanço físico da obra do Hospital Regional de Crateús (atualmente denominado Hospital Universitário dos Sertões de Crateús – Hospital São Lucas



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A predominância das classes foi analisada em função das etapas construtivas, permitindo estabelecer correlações entre as atividades executadas e os tipos de resíduos gerados.

Figura 6- Baía de Resíduos de Madeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A identificação e classificação dos resíduos gerados na obra foram realizadas com base nos critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 307/2002, que divide os RCD em quatro classes: A (inertes), B (recicláveis), C (não recicláveis) e D (perigosos). Na prática, essa classificação era feita diretamente nas frentes de serviço, no momento em que os resíduos eram gerados. A equipe de campo, orientada pelo encarregado, separava os materiais conforme sua natureza. Os resíduos perigosos, como latas de tinta e solventes, eram armazenados separadamente em tambores identificados. Essa segregação na fonte foi fundamental para garantir a qualidade da reciclagem e evitar a contaminação cruzada entre os materiais

5.2. Análise comparativa: Planejado (PGRCC) versus realizado (MTR/CDF)

5.2.1. O Cenário Consolidado em Massa: Balanço de Destinação (SINIR)

A análise quantitativa oficial de massa foi extraída dos Certificados de Destinação Final (CDF) emitidos pela plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) sob a responsabilidade da receptora SustEco Engenharia. O acumulado documentado totalizou 4.096,8127 toneladas de resíduos triados e destinados legalmente para a unidade de tratamento (Aterro de Reservação - RCC) em Crateús-CE,

conforme detalhado na Tabela 2. A Tabela 1 apresenta a comparação entre a montagem teórica e o volume do PGRCC.

Tabela 1-Balanço Comparativo entre os Volumes do PGRCC e a Modelagem Teórica

<i>Classe do Resíduo (Origem)</i>	Volume PGRCC (m ³)	Volume Teórico (m ³)	Variação Absoluta (m ³)	Variação percentual (%)
<i>Classe A (Demolição)</i>	5000	367,89	+463 2,11	+1259,10 %
<i>Classe A (Ampliação)</i>	898,55	897,03	+1,52	+0,17%
<i>Classe B (Recicláveis)</i>	170,61	190,01	-19,4	-10,21%
<i>Classe C (Não Recicláveis)</i>	54,60	63,34	-8,74	-13,80%
<i>Classe D (Perigosos)</i>	13,65	19,00	-5,35	-28,16%
<i>Volume Consolidado Global</i>	6137,41	1.537,27	+460 0,14	+299,24 %

Fonte: Dados do PGRCC (2026) adaptados pelo autor.

Tabela 2- Distribuição de massa ponderal por classe de resíduo

Classe do Resíduo (CONAMA 307)	Quantidade Destinada (t)	Percentual (%)	Unidade Receptora / Tratamento
CLASSE A (Agregados/Cerâmicos)	4.092,7680	99,90%	SustEco - Aterro de Reserva RCC
CLASSE B (RECICLÁVEIS/G ESSO/MADEIRA)	4,0447	0,10%	SustEco - Aterro de Reserva RCC
TOTAL ACUMULADO	4.096,812 7	100,00%	—

Fonte: Dados consolidados pelo autor (2026) via Sistema SINIR (CDFs nº 3975677, 4121387, 4121410, 4121400 e 4123661).

Os dados revelam uma assimetria severa e esperada na composição física do RCD da obra, onde a Classe A detém a quase totalidade absoluta da massa (99,90%). Esse comportamento é justificado pelas características intrínsecas da engenharia do empreendimento, pois se trata de uma intervenção com 1.226,31 m² de demolição e 8.874,84

m² de reforma estrutural, há um descarte massivo de componentes de alta densidade (concreto, argamassas, blocos cerâmicos e solos de escavação), que mascaram expressivamente em peso os materiais mais leves da Classe B (plásticos e papéis), que perfizeram apenas 4,04 toneladas.

A expressiva predominância de resíduos Classe A, evidencia o potencial de reaproveitamento desses materiais na própria obra ou em empreendimentos próximos. A utilização desses agregados reciclados em camadas de sub-base, reforço de subleito ou como material de enchimento reduziria a necessidade de extração de novos recursos naturais e os custos com transporte de bota-fora, consolidando os preceitos da economia circular na engenharia regional."

5.2.2. *O papel do SINIR como instrumento de rastreabilidade no gerenciamento de RCD.*

A utilização dos Certificados de Destinação Final (CDF) emitidos pela plataforma garantiu a precisão quantitativa das massas e volumes movimentados, eliminando estimativas subjetivas e conferindo ao estudo de caso o rigor metodológico, a transparência e a segurança jurídica exigidos pela legislação ambiental vigente.

Embora o sistema SINIR já utilize MTRs eletrônicos, a integração desses dados com sistemas de pesagem automatizada e com o PGRCC poderia agilizar ainda mais o controle documental, reduzindo erros manuais e permitindo uma gestão em tempo real dos volumes gerados e destinados.

5.2.3. *Dimensões e índices do empreendimento.*

A magnitude da reforma e ampliação do Hospital Regional de Crateús é evidenciada por suas dimensões físicas, que servem de base para o cálculo da taxa de geração de resíduos. O empreendimento possui uma área total de intervenção de aproximadamente 18.148,45 m², abrangendo tanto a reforma de blocos existentes quanto a construção de novas alas assistenciais. Essa extensa área construída classifica a obra como de grande porte, exigindo um planejamento de canteiro que suporte o fluxo simultâneo de diversas frentes de serviço, desde a infraestrutura pesada até o acabamento fino.

Do ponto de vista volumétrico, as dimensões da obra implicam uma movimentação de terra e entulho considerável. Estima-se, conforme os levantamentos do PGRCC R01, que a geração total de resíduos ao longo de todo o cronograma da obra atinja patamares elevados, sendo a maior parte concentrada na fase de demolição e estrutura, onde a densidade dos

materiais de Classe A (concreto e alvenaria) exige uma logística de retirada constante. A ocupação do terreno foi planejada de modo que a área de vivência e o pátio de resíduos ocupem pontos estratégicos, permitindo que as caçambas estacionárias sejam posicionadas de forma a não obstruir os acessos principais, garantindo que a operação hospitalar adjacente permaneça isolada dos impactos físicos da construção.

5.2.4. *Diagnóstico quantitativo e qualitativo dos resíduos*

A estimativa de geração de resíduo para construção do empreendimento segundo a PGRCC de 180 m², pode ser visualizada na tabela 3. Embora o plano estabeleça que os resíduos de Classe A sejam removidos por caçambas estacionárias e que os demais (Classes B, C e D) sejam segregados em recipientes específicos, a execução em campo nem sempre seguiu essa diretriz.

Tabela 3- Estimativa de Geração de Resíduos

CLASSE	VOLUME (M ³)
A (demolição)	5.000,00 m ³
A (reforma / ampliação)	898,55 m ³
B	170,61 m ³
C	54,60 m ³
D	13,65m ³

Fonte: PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL – PGRCC Obra: Contrato nº 062/2024 – SOP - Reforma e Ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús (2024).

Durante as demolições, especialmente nos primeiros meses da obra, a retirada dos materiais ocorreu de forma conjunta: concreto, alvenaria e as barras de aço das armaduras eram descartados no mesmo local, sem a separação prévia dos materiais recicláveis. Essa falha evidencia a necessidade de treinamento contínuo da equipe operacional, reforçando a importância da segregação para viabilizar a reciclagem e evitar a contaminação cruzada.

Essa falha na segregação na fonte gerou a mistura de resíduos de diferentes classes, reduzindo o potencial de reciclagem e criando a necessidade de ajustes no fluxo de destinação. A Tabela 4 apresenta o fluxo previsto para cada classe de resíduo, evidenciando o contraste entre o planejado e o que foi efetivamente observado.

Tabela 4- Destinação de Resíduo

Resíduos Gerados	Armazenamento dos resíduos	Empresa licenciada e credenciada responsável pela coleta, transporte e Destinação dos resíduos	Destinação/disposição final dos resíduos
Classe A (demolição)	Área de armazenamento identificado	Athos Locações LTDA CNPJ: 37.843.561/0001-62 Autorização Ambiental nº 012/2024 - SEMAM Crateús Validade: 04/11/2025	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL Aterro de resíduo inerte
Classe A (escavação)	Área de armazenamento identificado	Athos Locações LTDA CNPJ: 37.843.561/0001-62 Autorização Ambiental nº 012/2024 - SEMAM Crateús Validade: 04/11/2025	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL Aterro de resíduo inerte
Classe A (construção)	Área de armazenamento identificado	Athos Locações LTDA CNPJ: 37.843.561/0001-62 Autorização Ambiental nº 012/2024 - SEMAM Crateús Validade: 04/11/2025	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL Aterro de resíduo inerte
Supressão Vegetal	Contêiner identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	INDUSTRIA DE CERAMICA MONDUBIM E SERVICOS LTDA é recuperação energética na fabricação de artefatos cerâmicos
Classe B (Madeira)	Baia ou Contêiner identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	INDUSTRIA DE CERAMICA MONDUBIM E SERVICOS LTDA é recuperação energética na fabricação de artefatos cerâmicos
Classe B (Metais)	Baia ou Contêiner identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	José Ornildo da Silva Machado Reciclagens
Classe B (Plásticos)	Baia ou Contêiner identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	José Ornildo da Silva Machado Reciclagens

Classe B (papel/papelão)	Baia ou Contêiner identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	José Ornildo da Silva Machado Reciclagens
Classe B (Gesso)	Tambores de 200L ou Contêiner identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA feita em tianguá, para blendagem/coprocessam ento, nas indústrias de cimento da votorantim
Classe D (Contaminados)	Tambores de 200L identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Crateús Validade: 17/10/2025	EMIS AMBIENTAL TRATAMENTO DE RESÍDUOS feita em tianguá, para blendagem/coprocessam ento, nas indústrias de cimento da votorantim
Classe D (Sépticos)	Recipiente com sacola branca e identificado	SUSTECO ENGENHARIA E AMBIENTAL LTDA CNPJ: 347.518.660/0001-22 AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 011/2024 - SEMAM Validade: 17/10/2025	EMIS AMBIENTAL TRATAMENTO DE RESÍDUOS feita em tianguá, para blendagem/coprocessam ento, nas indústrias de cimento da votorantim

Fonte: PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL – PGRCC Obra:
Contrato nº 062/2024 – SOP - Reforma e Ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús
(2024).

5.2.5. Análise comparativa entre a estimativa volumétrica do PGRCC e modelos teóricos da literatura .

A estimativa acurada do volume de resíduos gerados em atividades de construção e demolição é um fator crítico para o sucesso do gerenciamento ambiental, impactando diretamente o dimensionamento logístico, os custos de transporte e as metas de reciclagem (PINTO, 1999; ABRECON, 2020). Para validar a consistência dos dados quantitativos apresentados na Tabela 5 do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) do objeto de estudo, desenvolveu-se uma modelagem matemática baseada nos indicadores clássicos da literatura técnica, confrontando a abordagem prática do plano com os limites teóricos preditivos.

Ao confrontar a estimativa teórica calculada para a etapa de demolição com os dados consolidados na Tabela 1, identifica-se uma expressiva variação volumétrica. Enquanto o cálculo estrito da cubagem geométrica tridimensional, ponderado pelo fator de empolamento de 50% recomendado pela literatura técnica (PINTO, 1999; ABRECON, 2020), aponta para uma geração teórica de 367,89 m³, o plano adota o montante de 5.000,00 m³.

Essa disparidade, contudo, encontra plena plausibilidade técnica e operacional dentro da engenharia diagnóstica e do gerenciamento de projetos. Em primeiro lugar, projetos de engenharia legal e ambiental necessitam operar sob o princípio do conservadorismo técnico e da margem de segurança. A subestimativa do volume de resíduos em sede de licenciamento ambiental pode acarretar o travamento na emissão de Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR), escassez logística de caçambas e consequente embargo fiscal da obra por extrapolação do teto previsto. Assim, o sobredimensionamento atua como uma salvaguarda administrativa contra imprevistos de campo.

Em segundo lugar, a divergência evidencia que a estimativa do PGRCC não se limitou à projeção horizontal da área construída descrita no alvará 1.226,31 m². Em cenários reais de demolição e reestruturação complexas, como a expansão do objeto de estudo, há uma volumosa geração de passivos ambientais minerais oriundos de elementos não computados na área de piso útil. Isso inclui a remoção de pavimentações externas (como pátios de manobra, acessos técnicos e estacionamentos), a demolição de estruturas verticais elevadas, sobretudo, a escavação e quebra de subestruturas ocultas de fundação.

5.2.6. O Monitoramento volumétrico cronológico (MTRs)

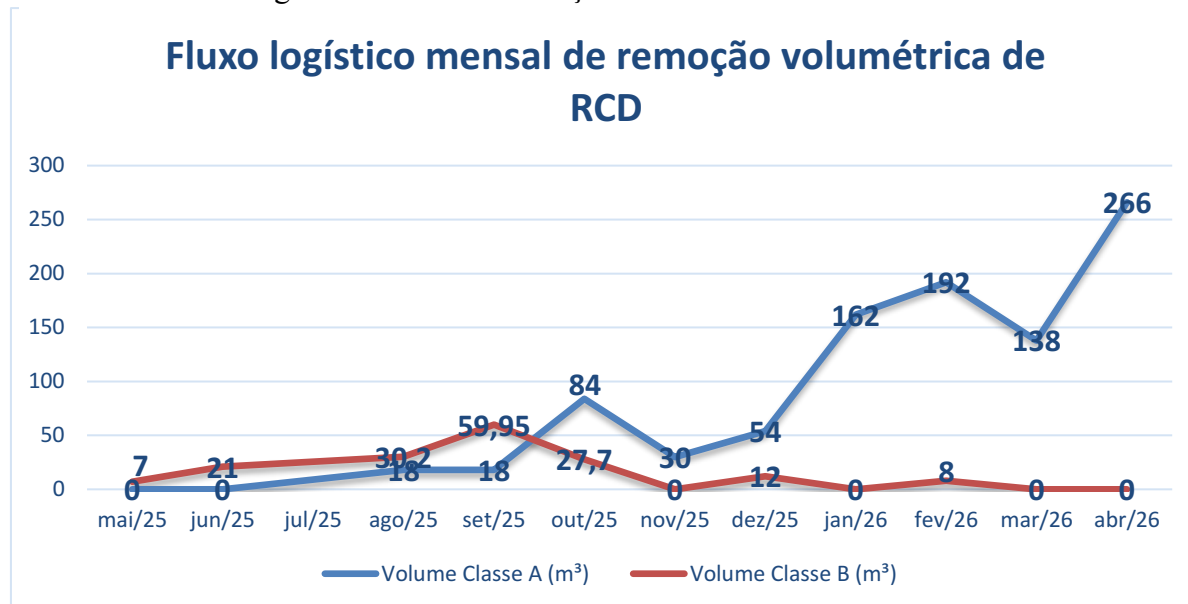
Para além do balanço global de massa, os romaneios e MTRs individuais emitidos no período de maior atividade civil (maio de 2025 a abril de 2026) pela a empresa Susteco Engenharia e Ambiental LTDA, figura como o agente central responsável, permitiram mapear o fluxo logístico de retiradas por caçambas. No total, foram computados 1127,85 m³ de resíduos movimentados distribuídos entre as Classes A e B, totalizando 176 viagens de caminhões poliguindastes controlados via Manifestos de Transporte de Resíduos (MTRs). A Tabela 4 expõe o comportamento cronológico dessa geração.

Tabela 5- Fluxo logístico mensal de remoção volumétrica de RCD.

Período de Monitoramento	Volume Classe A (m³)	Volume Classe B (m³)	Nº de Viagens (MTRs)
Maio/2025	0	7	1
Junho/2025	0	21	3
Agosto/2025	18	30,2	6
Setembro/2025	18	59,95	12
Outubro/2025	84	27,7	17
Novembro/2025	30	0	5
Dezembro/2025	54	12	10
Janeiro/ 2026	162	0	27
Fevereiro/2026	192	8	34
Março / 2026	138	0	23
Abril/2026	266	0	38
TOTAL	962	165,85	176

Fonte: Elaborada pelo autor (2026) com base nos manifestos físicos de transporte de resíduos (Athos/SustEco).

Gráfico 1 - Fluxo logístico mensal de remoção volumétrica de RCD



Fonte: Elaborada pelo autor (2026) com base nos manifestos físicos de transporte de resíduos (Athos/SustEco).

O mapeamento cronológico evidencia que o mês de abril de 2026 representou o verdadeiro pico de geração física da obra, alcançando o volume máximo de 266 m³ de resíduos da Classe A (o que corresponde a 27,6% do volume total dessa categoria) distribuídos em 38 viagens (ou 21,6% do total de viagens do período). Esse ápice é seguido de perto pelo mês de janeiro de 2026, que registrou 162 m³ (ou 16,8% do volume de Classe A) em 27 viagens (15,3% do total). Somados, esses dois meses de intensa atividade responderam isoladamente por 44,5% de todo o volume de Classe A e por 36,9% de todas as 176 viagens realizadas ao longo do período monitorado, indicando uma forte aceleração nas frentes de demolição, quebras e desmonte de alvenarias indicando que as frentes de demolição e quebra de alvenaria foram intensificadas para viabilizar a readequação de espaços e instalações, especialmente em alas que precisavam ser liberadas ou isoladas.

Observa-se ainda que, após o período inicial da obra (maio a setembro de 2025), no qual a geração de resíduos de Classe B foi predominante e atingiu seu ápice em setembro 59,95 m³, representando 36,1% do total dessa categoria), houve uma drástica redução desse tipo de descarte. Nos meses subsequentes, registraram-se apenas inserções volumétricas residuais de Classe B, com destaque para o mês de dezembro de 2025, que gerou 12 m³ (equivalente a 7,2% do total da Classe B), período que coincide com o desmonte final de fôrmas de concreto, descarte de gesso e abertura de embalagens de materiais de acabamento.

A concentração de mais de 44% do volume de resíduos Classe A em apenas dois meses evidencia a necessidade de um planejamento logístico antecipado, que considere os picos de geração previstos pelo cronograma da obra. A definição de rotas, horários e frequência de coleta com base nesses picos pode evitar gargalos operacionais e reduzir custos com transporte.

5.3. Confronto crítico: PGRCC técnico vs. indicadores reais

Ao cruzar os parâmetros de planejamento contidos no PGRCC com os dados coletados na prática, identificou-se um fenômeno técnico comum em obras públicas de saúde: a subestimativa de geração de frações mistas.

O PGRCC original, fundamentando-se em coeficientes teóricos da literatura de engenharia para reformas prediais padronizadas, previu taxas homogêneas de perdas de materiais. Contudo, as severas exigências de adequação espacial impostas pela Vigilância Sanitária (RDC nº 50 da ANVISA) demandaram demolições localizadas adicionais e substituições integrais de revestimentos cerâmicos que superaram as premissas de projeto.

A análise comparativa entre os dados físicos consolidados nos Manifestos de Transporte de Resíduos (MTRs) e as estimativas teóricas previstas no Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição (PGRCC) revela nuances fundamentais sobre a dinâmica operacional da obra e a eficácia do planejamento ambiental. Ao confrontar o volume total mensurado em campo com as diretrizes do plano, constata-se que a geração real de resíduos apresentou desvios quantitativos esperados, mas manteve uma estrita consonância qualitativa com as metas de segregação na fonte. O resultado positivo da rastreabilidade via SINIR demonstra a eficácia do sistema de controle documental. Contudo, a realização de auditorias ambientais periódicas durante a execução da obra poderia identificar gargalos antes que se tornem problemas, garantindo a conformidade contínua e a transparência do processo.

A predominância absoluta dos resíduos de Classe A, que totalizaram 962 m³ e representaram a maior fatia do descarte global, evidencia que as atividades de demolição, quebras estruturais e desmontes de alvenaria geraram um volume concentrado, superando em termos logísticos as previsões genéricas baseadas puramente em indicadores de área construída. Esse comportamento de pico, concentrado especialmente nos meses de janeiro e abril de 2026, demonstra que o cronograma físico da obra impôs uma aceleração nas frentes de acabamento e modificações civis, demandando um suporte logístico intensivo com o uso de caçambas estacionárias de 6 m³ e 7 m³ para dar vazão ao fluxo mineral.

Por outro lado, o monitoramento dos resíduos de Classe B, que somaram 165,85 m³, seguiu um padrão temporal perfeitamente inverso ao da fração mineral, concentrando-se fortemente no quadrimestre inicial de monitoramento, entre maio e setembro de 2025. Essa distribuição cronológica valida as premissas do PGRCC quanto às fases de geração de resíduos lenhosos e plásticos, uma vez que o descarte de fôrmas, escoramentos e embalagens de insumos é característico do período de estruturação do canteiro e consolidação da superestrutura.

Sob a ótica do controle documental e da rastreabilidade exigida pelos órgãos ambientais, o confronto dos dados aponta que a planilha comparativa cumpre uma importante função de auditoria interna. Essa discrepância entre o rigor do documento físico e a precisão do volume real gerado discute a urgência da modernização dos processos de fiscalização em canteiros, sugerindo que a transição para sistemas de MTR integralmente digitais e automatizados reduziria significativamente a incidência de falhas humanas, otimizando a cadeia de custódia do resíduo desde a sua geração até o destino final licenciado.

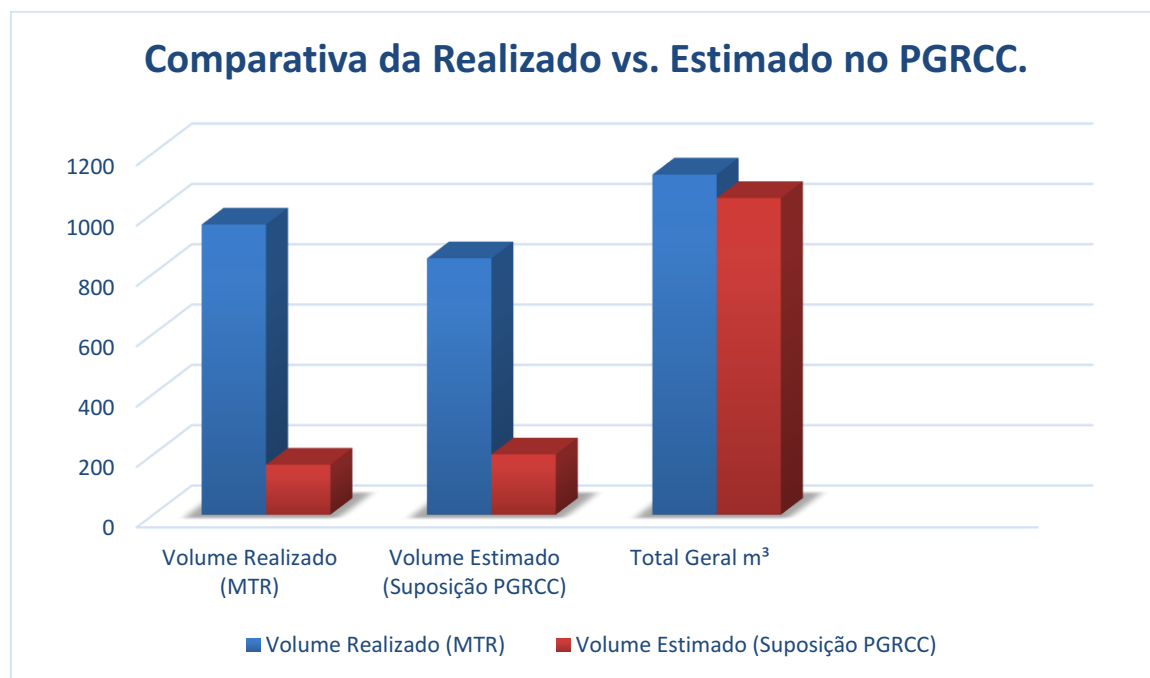
Por fim, a integração eletrônica via SINIR demonstrou ser o mecanismo divisor de águas na gestão ambiental da obra: enquanto o PGRCC apenas sinalizava os métodos teóricos de controle, a emissão sistemática de MTRs e o fechamento dos CDFs pela Susteco Engenharia garantiram a blindagem jurídica do empreendimento, comprovando que 100% do entulho gerado na reforma do hospital foi desviado de vazadouros clandestinos e reinserido na cadeia de licenciamento legal do Estado do Ceará. Essa disparidade de valores pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6- Planilha comparativa da Realizado vs. Estimado no PGRCC.

<i>Tipologia do Resíduo</i>	Volume Realizado (Tabela Atualizada)	Volume Estimado (Suposição PGRCC)
<i>Classe A m³</i>	962,00	850,00
<i>Classe B m³</i>	165,85	200,00
<i>Total Geral m³</i>	1.127,85	1.050,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2026) com base nos manifestos físicos de transporte de resíduos (Athos/SustEco).

Gráfico 2- Comparativa da Realizado vs. Estimado no PGRCC.



Fonte: Elaborada pelo autor (2026) com base nos manifestos físicos de transporte de resíduos (Athos/SustEco).

A expressiva diferença entre o volume estimado no PGRCC e o volume efetivamente destinado evidencia a necessidade de mecanismos mais precisos de quantificação. A adoção de sistemas de pesagem automatizada nos canteiros ou nas transportadoras poderia reduzir essa margem de erro, gerando dados confiáveis para o planejamento e evitando o superdimensionamento de recursos. Evidencia também a necessidade de revisões periódicas do plano com base em dados reais de campo. A atualização do PGRCC ao longo da execução, utilizando os registros dos MTRs e CDFs, permitiria ajustar a logística e os custos de forma mais precisa, evitando o desperdício de recursos e melhorando o planejamento.

6. CONCLUSÃO

A realização deste estudo de caso na obra de reforma e ampliação do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús (Hospital São Lucas) permitiu avaliar de forma detalhada o gerenciamento de resíduos de construção e demolição (RCD) sob a ótica da conformidade normativa, da eficiência logística e dos desafios inerentes a obras públicas de saúde.

Entre os principais desafios enfrentados, destacam-se a execução da obra em um hospital em pleno funcionamento, o que exigiu isolamento das frentes de serviço em relação às alas assistenciais ativas, a necessidade de atender às rigorosas exigências sanitárias da RDC nº 50/2002 da ANVISA, que demandou demolições localizadas e substituições de revestimentos, e as restrições logísticas impostas pela localização em área urbana consolidada, com ruas estreitas e horários limitados para a circulação de veículos pesados. A diversidade de resíduos gerados, desde inertes da Classe A até perigosos da Classe D, também exigiu segregação rigorosa e áreas de armazenamento isoladas, com risco de contaminação cruzada constante.

O confronto direto entre as estimativas teóricas do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) e os registros reais consolidados por meio dos Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) e Certificados de Destinação Final (CDF) revelou que, embora existam variações quantitativas provocadas pela dinâmica de campo, as diretrizes qualitativas de sustentabilidade foram plenamente atendidas. Dentre essas diretrizes, destacam-se: a segregação dos resíduos na fonte, a rastreabilidade total de cada carga por meio do sistema SINIR, a destinação ambientalmente adequada e a conformidade com a Resolução CONAMA nº 307/2002, com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e com as normas municipais.

O estudo demonstrou que a utilização conjunta do binômio PGRCC e MTR eletrônico transcende a mera formalidade burocrática exigida pelos órgãos fiscalizadores. Enquanto o PGRCC estabelece o que deve ser feito, planejando a segregação e a destinação, o MTR comprova o que foi feito, garantindo a rastreabilidade de cada carga e vinculando juridicamente gerador, transportador e receptor. O sistema SINIR consolidou-se como uma ferramenta indispensável de controle e governança ambiental, conferindo total rastreabilidade à cadeia de custódia do resíduo e garantindo a blindagem jurídica do empreendimento ao certificar que 100% do volume transportado foi desviado de vazadouros clandestinos e direcionado para unidades licenciadas.

Conclui-se, portanto, que o gerenciamento de RCD na execução do Hospital Universitário dos Sertões de Crateús – Hospital São Lucas cumpriu com êxito as determinações legais, embora tenha revelado oportunidades importantes de melhoria. Com base nos achados deste estudo, recomenda-se para trabalhos futuros e para a melhoria contínua da engenharia regional:

1. A implementação de sistemas de pesagem automatizada, sugerida como melhoria para a gestão de RCD, apresenta diferentes níveis de viabilidade conforme o ator envolvido. Para a construtora, o investimento pode ser viável em obras de grande porte, visando precisão nos custos e planejamento. Para empresas de transporte e destinação (como a Susteco), a automação já é um padrão de mercado que otimiza a logística e reduz erros. Para o município, a instalação de balanças em aterros ou usinas de reciclagem seria uma política pública de médio a longo prazo, visando o controle e a fiscalização do fluxo de resíduos, embora exija planejamento orçamentário e de infraestrutura.
2. Incentivo ao uso prático dos agregados reciclados Classe A na própria obra, em sub-bases ou aterros, consolidando a economia circular na infraestrutura pública do interior do Ceará.
3. Revisão periódica do PGRCC com base em dados reais, ajustando as estimativas para que sejam mais realistas e evitem o superdimensionamento que compromete o planejamento logístico e financeiro.
4. Treinamento contínuo da equipe operacional, reduzindo falhas na segregação e aumentando a eficiência da triagem, especialmente durante as demolições.
5. Adoção de MTRs digitais integrados com sistemas de pesagem, agilizando o controle documental e reduzindo erros manuais.
6. Auditorias ambientais periódicas durante a execução da obra, garantindo conformidade contínua e identificando gargalos antes que se tornem problemas.
7. Planejamento logístico antecipado, com definição de rotas e horários de coleta com base em dados históricos de geração, otimizando o fluxo de caçambas.
8. Estabelecimento de parcerias com recicladoras locais, ampliando o mercado para os resíduos gerados e incentivando a economia circular na região.

Essas ações podem transformar o gerenciamento de RCD em uma ferramenta estratégica de sustentabilidade e eficiência para futuras obras públicas, especialmente na região do interior do Ceará, onde a carência de infraestrutura de destinação ainda é um desafio.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15112**: Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos – Áreas de Transbordo e Triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15113**: Resíduos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15114**: Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de Reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 10 abr. 2026.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a regulamentação dos aspectos do licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 dez. 1997.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011**. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 99, p. 123, 25 maio 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 14, p. 74-75, 19 jan. 2012.
- BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos

Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020*. Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, como ferramenta de gestão dos resíduos sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 158, nº 122, p. 83, 30 jun. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Brasília, DF, 2002.

BRASIL. *Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010*. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 246, p. 2-6, 24 dez. 2010.

BRAUNGART, Michael; McDONOUGH, William. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press, 2002.

CEARÁ. Governo do Estado. **Governador Elmano de Freitas visita obras do Hospital Regional de Crateús**. Portal do Governo do Estado do Ceará, 27 jun. 2025. Disponível em: <<https://www.ce.gov.br/2025/06/27/governador-elmano-de-freitas-visita-obras-do-hospital-regional-de-crateus/>>. Acesso em: 1 jul. 2026.

CEARÁ. **Decreto Estadual nº 26.604, de 16 de maio de 2002**. Regulamenta a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, 2002.

CEARÁ. **Lei Estadual nº 13.103, de 24 de janeiro de 2001**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, 2001.

CRATEÚS. **Lei Municipal nº 450/01, de 28 de junho de 2001**. Institui o Código de Obras e Posturas de Crateús. Diário Oficial do Município, Crateús, CE, 2001.

CRATEÚS. **Lei Municipal nº 569, de 28 de dezembro de 2016**. Instituiu o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no município de Crateús, CE. Diário Oficial do Município, Crateús, CE, 2016.

CONASS — Conselho Nacional de Secretários de Saúde. *A Atenção Hospitalar no SUS*. Coleção Quem Somos Nós? v. 3. Brasília: CONASS, 2019.

CONSELHO NACIONAL DE SECRETÁRIOS DE SAÚDE (CONASS). **O papel dos hospitais nas redes de atenção à saúde**. Coleção Consensus, Brasília: CONASS, 2019.

Disponível em: <<https://www.conass.org.br/>>. Acesso em: 1 jul. 2026.

CHALOUB, R. M. et al. Logística reversa e rastreabilidade na construção civil: a importância do controle documental no fluxo de resíduos. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, n. 19, p. 415-428, 2021.

DEGANI, C. M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras**. 2003. 248 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2010.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 102 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KARPINSK, L. A. et al. *Gestão de resíduos na construção civil*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 40, p. 483-506, abr. 2017.

MARINHO, J. L. A. Tratamento de resíduos da construção civil: parcerias e políticas públicas visando a sustentabilidade. *Caderno de Estudos Urbanos*, v. 2, n. 1, p. 25-38, 2010.

PINTO, T. P. **Metodologia didática de gestão de resíduos sólidos de construção civil**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SOUZA, T. S.; LUNA, P. H. Rastreabilidade de resíduos da construção civil via MTR e SINIR: conformidade legal e desafios práticos na engenharia contemporânea. *Cadernos de Engenharia e Tecnologia Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 112-127, 2022.

STAHEL, Walter R. The Utilization of Product Life-Factor. In: MISRA, D. V. (ed.). *Product-Life Factor*. New York: Pergamon Press, 1982. (Baseado no relatório original de Stahel para a Comissão Europeia em 1976).

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** 1997. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.