

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SABRINA REGINA MENDES

**ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO DE SOLO EM OBRAS DE PAREDES DE
CONCRETO ARMADO MOLDADAS IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM UM
CANTEIRO DE OBRA DE CONDOMÍNIO DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS**

LONDRINA

2025

SABRINA REGINA MENDES

**ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO DE SOLO EM OBRAS DE PAREDES DE
CONCRETO ARMADO MOLDADAS IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM UM
CANTEIRO DE OBRA DE CONDOMÍNIO DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS**

**Soil contamination analysis in reinforced concrete wall construction projects
cast in site: case study on a construction site of a vertical building
condominium**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).
Orientador(a): Sueli Tavares De Melo Souza
Coorientador(a): Mauricio Moreira dos Santos

LONDRINA

2025



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

SABRINA REGINA MENDES

**ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO DE SOLO EM OBRAS DE PAREDES DE
CONCRETO ARMADO MOLDADAS IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM UM
CANTEIRO DE OBRA DE CONDOMÍNIO DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Sueli Tavares De Melo Souza

Coorientador(a): Mauricio Moreira dos Santos

Data de aprovação: 02/07/2025

Sueli Tavares De Melo Souza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Hidemassa Anami
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago Melanda Mendes
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2025

Dedico este trabalho a mim mesma, pelo esforço,
resiliência e determinação em cada etapa dessa
jornada.

AGRADECIMENTOS

Certamente, estas palavras não conseguirão contemplar todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Desde já, peço desculpas àquelas que não foram mencionadas, mas que, sem dúvida, estão presentes em meus pensamentos e na minha gratidão.

Expresso minha mais profunda gratidão à minha família, que esteve ao meu lado em cada etapa dessa jornada, oferecendo amor, apoio e incentivo incondicional; em especial, Sandra Regina da Cruz, Carlos Neil Mendes e Ricardo Pereira Gomes. Minha eterna gratidão, sem vocês, nada disso seria possível. Agradeço e dedico também ao meu avô e à minha avó, que, infelizmente, não puderam estar aqui para ver essa conquista, mas que, mesmo em sua ausência, continuam a me inspirar e a guiar meus passos. Em especial ao meu avô, cuja trajetória seguirei com orgulho.

Agradeço à minha orientadora, Prof. (a) Dr. (a) Sueli Tavares De Melo Souza, por sua sabedoria e orientação ao longo desta trajetória, obrigada por todas as orientações, confiança, paciência e compreensão. Agradeço também ao meu coorientador Prof. Dr. Mauricio Moreira Dos Santos pelas suas contribuições nas análises, por partilhar seus conhecimentos e estar sempre disponível para ajudar.

Deixo registrado também agradecimentos à minha banca examinadora, composta pelos professores Prof. Dr. Thiago Melanda Mendes e Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami que dedicaram seu tempo e expertise para avaliar este trabalho. Suas contribuições e orientações foram essenciais para o aprimoramento da pesquisa e para o meu crescimento acadêmico.

Reconheço com apreço a colaboração da construtora onde o estudo foi desenvolvido, pela confiança em meu trabalho, pela abertura para a realização da pesquisa e pelo suporte de toda equipe que colaborou para a concretização deste projeto. Em especial meu muito obrigada a minha chefe e inspiração Eng. Thalita Cristina Pereira Schneider, que, além de compartilhar seu vasto conhecimento, sempre acreditou em meu potencial e me proporcionou oportunidades valiosas.

Reservo um agradecimento mais que especial aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada, oferecendo apoio nos momentos difíceis, palavras de incentivo quando mais precisei, e, acima de tudo, uma amizade verdadeira que tornou o caminho mais leve. A companhia, o acolhimento e os

incontáveis sorrisos compartilhados foram essenciais para manter minha motivação e equilíbrio durante os desafios do percurso. Sou profundamente grata por ter pessoas tão especiais caminhando comigo, celebrando cada conquista e ajudando a transformar obstáculos em aprendizado.

E por fim quero agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por me proporcionar um ambiente acadêmico de aprendizado e crescimento ao longo de toda essa trajetória. Agradeço a todos os professores e colaboradores que, ao longo da minha jornada, contribuíram com seus ensinamentos, apoio e orientação.

Chegar até aqui não seria possível sem o apoio de cada pessoa que fez parte dessa jornada. A todos que me orientaram, incentivaram e acreditaram em meu potencial, deixo minha eterna gratidão!

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre os impactos ambientais associados à contaminação do solo em obras que utilizam o sistema de paredes de concreto armado moldadas in loco. A pesquisa foi conduzida em um canteiro de obras localizado em Londrina (PR), onde foram coletadas quatro amostras compostas: uma em área não impactada (controle) e três em setores expostos a diferentes tipos de efluentes — concreto, tintas e lavagem de formas metálicas. As amostras foram submetidas a análises físico-químicas em laboratório especializado, com determinação de pH (em água, CaCl_2 e SMP), capacidade de troca catiônica (CTC), fósforo (Mehlich-1 e Mehlich-3), cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio, enxofre, boro, ferro, cobre, manganês, zinco, matéria orgânica e fósforo remanescente. Como complemento, empregou-se análise geoestatística por krigagem ordinária para estimar a distribuição espacial dos contaminantes. Os resultados indicaram alterações significativas nas propriedades químicas do solo nas áreas afetadas. A amostra referente à lavagem de formas metálicas apresentou pH ácido (4,7), aumento nos teores de ferro (de 32,9 para 105,2 mg/dm^3) e zinco (de 0,6 para 5,3 mg/dm^3), além de elevação expressiva da matéria orgânica (de 8,3 para 20,5 g/kg). Os mapas gerados pela krigagem evidenciaram a concentração dos contaminantes em regiões de maior exposição aos efluentes, reforçando o potencial de degradação ambiental. Diante desses achados, recomenda-se a adoção de medidas mitigadoras, como a implantação de sistemas de decantação e filtragem conectados à rede de esgoto, visando reduzir a carga poluente. O estudo contribui para o entendimento dos efeitos da construção civil sobre o solo e reforça a necessidade de práticas sustentáveis, em conformidade com a legislação ambiental vigente.

Palavras-chave: análise de solo; contaminação do solo; impactos ambientais; construção civil; paredes de concreto armado.

ABSTRACT

This study investigates the environmental impacts associated with soil contamination in construction projects that employ cast-in-place reinforced concrete wall systems. Conducted at a construction site in Londrina, Paraná (Brazil), the research involved the collection of four composite soil samples: one from a non-impacted area (control) and three from locations exposed to effluents from concrete, paints, and metallic formwork washing. Laboratory analyses included pH (in water, CaCl_2 , and SMP), cation exchange capacity (CEC), phosphorus (Mehlich-1 and Mehlich-3), calcium, magnesium, potassium, sodium, aluminum, sulfur, boron, iron, copper, manganese, zinc, total organic matter, and remaining phosphorus. In addition, ordinary kriging was used to model the spatial distribution of key contaminants. Results showed significant changes in soil chemical properties in the impacted areas. The formwork washing site exhibited the most critical conditions, with pH dropping to 4.7, iron levels increasing from 32.9 to 105.2 mg/dm^3 , zinc from 0.6 to 5.3 mg/dm^3 , and organic matter rising from 8.3 to 20.5 g/kg . Kriging-based spatial analysis confirmed elevated concentrations in zones with higher effluent exposure. These findings highlight the environmental degradation potential of certain construction practices and underscore the need for mitigation measures such as decantation and filtration systems connected to the sewage network. The study contributes to a better understanding of the effects of construction activities on soil quality and reinforces the importance of sustainable practices in compliance with environmental regulations.

Keywords: soil analysis; soil contamination; environmental impacts; civil construction; reinforced concrete walls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de solos de Londrina.....	35
Figura 2 – Imagem ilustrando o sistema construtivo de parede de concreto com formas metálicas.....	37
Figura 3 - Imagem do canteiro de obra estudado, representando sistema construtivo de parede de concreto com formas metálicas.....	37
Figura 4 – Planta baixa do condomínio estudado com os locais de coleta de amostras.....	40
Figura 5 - Mapa de distribuição espacial do teor de pH (H ₂ O) no solo.....	58
Figura 6 - Mapa de distribuição espacial do teor de zinco (Zn) no solo (em mg/dm ³).....	60
Figura 7 - Mapa de distribuição espacial do teor de ferro (Fe) no solo (em mg/dm ³).....	62
Figura 8 - Mapa de distribuição espacial do teor de manganês (Mn) no solo (em mg/dm ³).....	64
Figura 9 - Mapa de distribuição espacial do teor de cálcio (Ca ²⁺) no solo (em cmol/dm ³).....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição e informações sobre ingredientes de desmoldante.....	33
Quadro 2 - Composição e informações sobre ingredientes de desengraxante...	33
Quadro 3 - Composição e informações sobre ingredientes de desincrustante...	33
Quadro 4 – Pontos de coleta de amostra para análises.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação dos parâmetros de todas as amostras.....	49
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação do pH entre todas amostras.....	51
Gráfico 2 – Comparação da acidez entre todas amostras.....	52
Gráfico 3 – Comparação de matéria orgânica entre todas amostras.....	53
Gráfico 4 – Comparação dos macronutrientes catiônicos entre todas amostras.....	54
Gráfico 5 – Comparação dos macronutrientes catiônicos entre todas amostras.....	54
Gráfico 6 – Comparação de micronutrientes entre todas amostras.....	55
Gráfico 7 – Comparação dos índices de saturação entre todas amostras.....	56

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Construção civil.....	17
3.1.1	Classificação, categoria e etapas da construção civil.....	19
<u>3.1.1.1</u>	<u>Classificação quanto à natureza dos materiais</u>	<u>20</u>
<u>3.1.1.2</u>	<u>Classificação quanto à finalidade da obra</u>	<u>21</u>
<u>3.1.1.3</u>	<u>Categoria e etapas de obra</u>	<u>22</u>
3.2	Aspectos ambientais da construção civil	23
3.2.1	Normas e diretrizes aplicáveis.....	23
3.2.2	Principais impactos ambientais da construção civil	26
<u>3.2.2.1</u>	<u>Resíduos da construção civil.....</u>	<u>27</u>
<u>3.2.2.2</u>	<u>Efluentes da construção civil</u>	<u>29</u>
3.2.2.2.1	<i>Concreto: definições e impactos.....</i>	30
3.2.2.2.2	<i>Tinta: definições e impactos</i>	31
3.2.2.2.3	<i>Lavagem de formas: definições e impactos - segundo manual da construtora analisada</i>	32
4.	MATERIAIS E METÓDOS	34
4.1	Área de estudo.....	34
4.2	Etapas de estudo da obra	35
4.2.1	Fundação	36
4.2.2	Estrutura – Paredes e lajes	36
4.2.3	Impermeabilização	38
4.2.4	Revestimentos/ Acabamentos e Pintura.....	38
4.2.5	Desmobilização de canteiro	38
4.3	Acompanhamento in loco.....	38
4.4	Análises.....	39
4.4.1	Metodologia de análise das amostras	41
<u>4.4.1.1</u>	<u>pH SMP</u>	<u>41</u>
<u>4.4.1.2</u>	<u>pH CaCl₂.....</u>	<u>41</u>
<u>4.4.1.3</u>	<u>pH H₂O</u>	<u>42</u>

4.4.1.4	<u>CTC pH7 e efetivo</u>	<u>42</u>
4.4.1.5	<u>Fósforo (P) - Mehlich 1</u>	<u>42</u>
4.4.1.6	<u>Fósforo (P) - Mehlich 3</u>	<u>43</u>
4.4.1.7	<u>Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Manganês (Mn)</u>	<u>43</u>
4.4.1.8	<u>Alumínio (Al).....</u>	<u>44</u>
4.4.1.9	<u>Matéria orgânica (M.O).....</u>	<u>44</u>
4.4.1.10	<u>Boro (B) e Enxofre (S).....</u>	<u>45</u>
4.4.1.11	<u>Fósforo remanescente (Prem).....</u>	<u>45</u>
4.4.2	Metodologia de análise para comparação amostras	46
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Comparação entre as análises	49
5.1.1	Reação do solo.....	51
5.1.1.1	<u>pH.....</u>	<u>51</u>
5.1.1.2	<u>Acidez.....</u>	<u>52</u>
5.1.2	Matéria orgânica (M.O).....	53
5.1.3	Macronutrientes catiônicos (Ca, Mg, K, Na, P e S)	54
5.1.4	Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Z)	55
5.1.5	Índices de saturação	56
5.2	Mapa da distribuição espacial de teor de contaminantes no solo...57	
5.2.1	pH (H ₂ O).....	57
5.2.2	Zinco (Zn)	59
5.2.3	Ferro (Fe)	61
5.2.4	Mangânes (Mn)	63
5.2.5	Cálcio (Ca)	65
6.	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXOS.....	78

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é o grande responsável pela economia de um país e está ligado ao desenvolvimento e produção nacional (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro [FIRJAN], 2014), sendo que a cadeia produtiva é incumbida da transformação do ambiente natural no ambiente construído. É uma atividade executada com a finalidade de atender as demandas de moradia, prover instalações para o desenvolvimento de atividades produtivas e a implementação de equipamentos públicos para diferentes camadas sociais (DIAS, 1999, p. 148).

Segundo estudo realizado por Spadotto et al. (2011), as atividades vinculadas à construção civil, frequentemente associadas ao desenvolvimento socioeconômico regional, também são responsáveis por impactos ambientais, diretos ou indiretos, conforme a escala das obras. Esses impactos manifestam-se por meio da geração de resíduos e efluentes, da alteração da paisagem, do uso intensivo de recursos naturais e do potencial contaminação do solo e da água.

A cadeia produtiva da indústria da construção civil é responsável por importantes impactos ambientais em todas as suas fases: extração de materiais e fabricação de elementos; projeto; construção; uso; operação e manutenção e demolição (KLEIN, 2002). Na extração de materiais, há degradação do solo e dos recursos naturais; na fabricação, ocorrem emissões atmosféricas e alto consumo de energia. O projeto pode influenciar negativamente a eficiência ambiental da obra se não considerar práticas sustentáveis. Na fase de construção, os principais impactos envolvem a geração de resíduos, emissão de ruídos e efluentes contaminados. Durante o uso e manutenção, há consumo contínuo de água e energia, e, na demolição, ocorre o descarte inadequado de entulhos e possíveis contaminações do solo.

Neste contexto, a engenharia ambiental e a engenharia civil desempenham papéis complementares e essenciais na identificação e mitigação desses impactos. Enquanto a engenharia civil é responsável pela execução de técnicas construtivas, a ambiental fornece as ferramentas e os parâmetros necessários para avaliar os danos causados e garantir que as práticas adotadas estejam em conformidade com as legislações ambientais.

Ao investigar os principais agentes e fontes de contaminação, este estudo busca contribuir para a compreensão dos impactos ambientais gerados pela

construção civil e fornecer subsídios para discussões futuras sobre a responsabilidade ambiental no setor, promovendo práticas mais sustentáveis e em conformidade com a legislação vigente.

Nesse sentido, o presente estudo foi desenvolvido em um canteiro de obras localizado na cidade de Londrina, no estado do Paraná — município que se destaca por seu acelerado crescimento urbano e pela presença marcante do setor da construção civil no cenário local. A expansão de empreendimentos residenciais verticais na região tem impulsionado o uso de sistemas construtivos industrializados, como as paredes de concreto moldadas in loco, que embora otimizem o tempo e os custos das obras, demandam atenção quanto à gestão de resíduos e ao controle dos efluentes gerados. A escolha de Londrina como área de estudo permite compreender os impactos ambientais dessa tipologia construtiva em um contexto real, fornecendo subsídios para a melhoria das práticas adotadas em obras de médio e grande porte no município e em outras regiões com características semelhantes

Dessa forma, o presente trabalho teve como proposta analisar os principais impactos ambientais associados à construção civil, com ênfase na contaminação do solo em obras que utilizaram o sistema de paredes de concreto armado moldadas in loco. Ao longo do estudo, foram apresentados diferentes métodos construtivos e suas implicações ambientais, além dos dispositivos legais que regulamentaram e orientaram ações de mitigação. A abordagem adotada buscou contribuir para o fortalecimento de práticas mais sustentáveis no setor, promovendo uma atividade construtiva consciente e alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os principais processos de contaminação do solo decorrentes de atividades executadas em obras que utilizam o sistema de paredes de concreto armado moldadas in loco, com ênfase nos efluentes gerados durante o processo construtivo, por meio de um estudo de caso aplicado em um canteiro de obras de um condomínio de edificações verticais localizado na cidade de Londrina, Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar um panorama geral do setor da construção civil, com ênfase nos principais aspectos e impactos ambientais ao solo decorrentes de canteiros obras;
- Realizar uma revisão da legislação ambiental vigente relacionada à proteção do solo, com foco nas normas aplicáveis a atividades construtivas e situações de contaminação e poluição;
- Identificar e descrever as principais fontes de poluição e contaminação do solo por efluentes presentes em canteiros de obras que utilizam o sistema construtivo de paredes de concreto armado moldadas in loco;
- Acompanhar as práticas e atividades executadas no canteiro de obras, observando os processos que potencialmente geram efluentes e contribuem para a poluição e a contaminação do solo;
- Coletar e analisar amostras de solo nas áreas afetadas, a fim de avaliar os níveis de contaminação decorrentes das atividades;
- Correlacionar os resultados obtidos nas análises com as fontes potenciais de contaminação, discutindo os impactos ambientais e as implicações legais envolvidas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Construção civil

A construção civil é reconhecida como um dos setores mais importantes para assegurar o desenvolvimento econômico e social. O setor tem grande participação na economia nacional, sendo responsável por 4,6% do Produto Interno Bruto (PIB) (IBGE, 2012) e aproximadamente 40% de participação na economia mundial. A crescente urbanização e a necessidade de edificações verticais para otimizar o uso do solo têm impulsionado significativamente o setor.

Por ser um dos setores mais antigos e fundamentais para o desenvolvimento da humanidade, a construção civil abrange todas as atividades relacionadas ao planejamento, execução e manutenção de obras de infraestrutura e edificações. Este tipo indústria usa um conjunto de atividades que visa a realização de obras de acordo com as necessidades de moradia, trabalho e desenvolvimento do homem moderno, utilizando ou adaptando-se aos recursos naturais e tecnologias disponíveis (CUNHA, *et al*, 2017). Nesse cenário, é imprescindível aliar o desenvolvimento urbano às práticas sustentáveis, especialmente no que diz respeito à preservação do meio ambiente.

O impacto ambiental causado pelo setor de construção civil depende de toda uma cadeia produtiva, desde a extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais e componentes, concepção e projetos, execução (construção), práticas de uso e manutenção até, ao final da vida útil, a demolição/desmontagem, além da destinação de resíduos gerados ao longo dessa cadeia. Portanto, o aumento da sustentabilidade do setor depende de soluções em todos os níveis, articuladas dentro de uma visão sistêmica. (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011).

Conforme a *World Commission on Environment and Development* (Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente), denomina-se como desenvolvimento sustentável “aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as próprias necessidades”.

Apesar de uma conscientização tardia, a construção civil vem tomando ações decisivas para tornar seus atos menos agressivos à natureza, por meio de posturas cada vez mais proativas, sendo que as primeiras medidas mais consistentes ocorreram o início da década de 1990 (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011).

Em 1996 foi assinada em Istambul, Turquia, a Agenda Habitat II, preparada pelo Centro para Assentamentos Humanos das Nações Unidas (do inglês, *United Nations Centre for Human Settlements -UNCHS*), que recomenda otimizar os recursos aplicados e incorporar critérios ambientais (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011).

Em 1999, publicou-se a Agenda 21 “*on sustainable construction*”, que posteriormente, com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) foi elaborada uma versão voltada para os países em desenvolvimento (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011).

Já no Brasil, os conceitos de sustentabilidade na construção civil foram incorporados de forma tardia. O Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP organizou um evento, denominado “*CIB Symposium on Construction and Environment – theory into practice*” (Simpósio do CIB sobre Construção e Meio Ambiente – da teoria para a prática) em 2000, considerado o marco inicial da preocupação sobre construção sustentável no país. Nesse evento, apresentou-se uma proposta para a sustentabilidade da construção no Brasil (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011).

Em 2001, a Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) organizou o I Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis (ENECS), que se soma a eventos tradicionais da entidade como o Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Em 2004, o Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC) da ANTAC ocorreu simultaneamente com a Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, preparatória ao SB05 *Sustainable Building* de Tóquio em 2005 (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011). Um evento técnico-científico bienal, com o objetivo de disseminar e discutir produção científica, além de debater políticas e problemas relacionados ao ambiente construído; a conferência visou fortalecer a discussão sobre construção sustentável e preparar o cenário para o SB05, um evento global focado em sustentabilidade na construção.

Em 2007 foi constituído o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), uma entidade que procura desenvolver e implementar os conceitos e as práticas mais sustentáveis e que contemplam as dimensões social, econômica e ambiental da cadeia produtiva da indústria da construção civil (AGOPYAN, V., JOHN, V. M, 2011).

Nos últimos anos, o desenvolvimento da construção civil tem avançado em direção a práticas mais sustentáveis, refletindo uma crescente preocupação com a preservação do meio ambiente. Essa transformação é resultado de uma maior conscientização social e técnica sobre os impactos ambientais causados pelas atividades construtivas, além da consolidação de marcos legais e institucionais que reforçam a necessidade de um planejamento mais responsável. A realização de congressos, encontros científicos e debates — como o “CIB Symposium on Construction and Environment” (2000), o ENECS (2001), o ENTAC (2004) e a criação do CBCS (2007) — demonstram o esforço de instituições acadêmicas e profissionais em inserir a sustentabilidade como princípio estruturante da construção civil nacional.

Nesse contexto, é essencial reconhecer que o setor da construção civil é responsável por diversos reflexos ambientais, tanto no local quanto na região onde se instalam as obras, resultantes de suas atividades (SPADOTTO, A, *et al*, 2011, p. 173). Esses impactos se manifestam de forma variada, sendo o solo um dos recursos naturais mais suscetíveis às transformações provocadas pelo processo construtivo. A degradação do solo, provocada pela interferência física, química ou biológica, pode comprometer a qualidade ambiental, afetar ecossistemas locais e gerar consequências para a saúde pública.

Importante destacar que tais impactos não ocorrem de forma aleatória, mas estão diretamente associados ao tipo de obra, às técnicas empregadas, aos materiais utilizados e à forma como as etapas de construção são conduzidas. A construção civil abrange uma ampla variedade de sistemas construtivos, que variam conforme a finalidade da edificação, as condições do terreno, o porte do empreendimento e as tecnologias disponíveis. Cada método construtivo carrega consigo particularidades que influenciam na geração de resíduos, o consumo de recursos e os riscos de contaminação ambiental.

3.1.1 Classificação, categoria e etapas da construção civil

A construção civil abrange uma diversidade de métodos construtivos, aplicados conforme o porte, o uso e os objetivos de cada edificação. O conhecimento prévio sobre as classificações, categorias de obras e suas etapas principais proporciona uma base sólida para contextualizar as práticas analisadas no presente trabalho. Essa compreensão é fundamental, pois permite identificar corretamente o

tipo de obra em estudo, suas características construtivas, materiais predominantes e finalidades específicas, o que contribui diretamente para a definição dos métodos executivos adotados e, conseqüentemente, para a avaliação dos possíveis impactos ambientais gerados. Dessa forma, são apresentadas as classificações mais comuns das obras quanto à natureza dos materiais utilizados e quanto à sua finalidade, bem como as principais etapas que compõem o processo de execução de uma obra civil, conforme definido por Cunha (*et al.*, 2017).

3.1.1.1 Classificação quanto à natureza dos materiais

- Obras de alvenaria: englobam edificações compostas predominantemente por blocos cerâmicos ou de concreto, assentados com argamassa. São comuns em construções de pequeno porte e baixa altura, como residências unifamiliares, muros de arrimo, pequenas barragens, canais e até elementos estruturais em pontes e túneis, quando utilizados em conjunto com outros materiais.
- Obras de madeira: caracterizam-se pelo uso da madeira como principal material estrutural e de vedação. São comuns em construções temporárias ou de caráter provisório, como alojamentos, barracões de obras e pequenas residências, além de estruturas de coberturas, telhados e algumas tipologias de pontes. Embora apresentem menor durabilidade em comparação com outros materiais, são valorizadas por sua leveza, facilidade de montagem e menor impacto ambiental quando oriundas de manejo sustentável.
- Obras de concreto: utilizam o concreto como principal elemento construtivo, podendo incluir tanto o concreto moldado in loco quanto o pré-moldado. São amplamente empregadas em estruturas de edifícios, obras de arte especiais (como pontes e viadutos), pistas de aeroportos, reservatórios, entre outros. O concreto é valorizado pela sua resistência mecânica, durabilidade, versatilidade e capacidade de moldagem em diferentes formas e dimensões.
- Obras metálicas: compostas majoritariamente por elementos em aço, como perfis, chapas e barras, essas obras são muito utilizadas em estruturas de edifícios de múltiplos andares, galpões industriais, coberturas e pontes.

Destacam-se pela elevada resistência, leveza estrutural, rapidez de montagem e possibilidade de desmontagem e reaproveitamento dos components.

- Obras de terra: compreendem intervenções realizadas diretamente no solo, muitas vezes sem a utilização de elementos estruturais convencionais. Incluem terraplanagens, escavações, túneis subterrâneos, barragens de terra, estradas rurais, poços, cavas e galerias de mineração. Essas obras exigem conhecimento técnico específico sobre geotecnia, estabilidade de taludes e drenagem, devido à interação direta com o meio físico natural.
- Obras mistas: são aquelas em que se combinam dois ou mais tipos de materiais estruturais, como concreto e aço (estruturas mistas), concreto e alvenaria, ou concreto e madeira. Essa abordagem permite otimizar o desempenho estrutural e funcional da edificação, aproveitando as propriedades específicas de cada material. As obras mistas são comuns em edifícios com fundações em concreto e estruturas metálicas.

3.1.1.2 Classificação quanto à finalidade da obra

- Residencial: destinadas à moradia, englobam desde habitações unifamiliares até edifícios multifamiliares verticais, como condomínios ou horizontais como casas. Exigem conforto ambiental, segurança e funcionalidade.
- Comercial: projetadas para atividades de comércio e serviços, como lojas, shoppings e centros comerciais. Demandam espaços flexíveis, acessibilidade e infraestrutura para grande fluxo de pessoas.
- Mista: reúnem, em um mesmo empreendimento, diferentes finalidades de uso, como residencial e comercial. Exigem planejamento integrado para garantir a convivência harmoniosa entre funções distintas.
- Industrial: voltadas à produção e transformação de bens, abrigam processos industriais e exigem estruturas resistentes, amplos vãos livres, ventilação adequada e normas específicas de segurança.

- Prestação de serviços: compreendem edificações como escolas, escritórios, agências bancárias e repartições públicas, onde predominam atividades administrativas e institucionais.
- Silos e armazém: projetados para armazenamento de grãos, produtos industriais ou mercadorias em geral. Requerem controle ambiental interno e sistemas logísticos eficazes.
- Ginásios esportivos, auditórios: destinados a práticas esportivas, eventos ou apresentações públicas. Exigem acústica adequada, conforto térmico e estruturas que comportem grandes vãos e público.
- Cinemas e teatros: projetos com foco em apresentações culturais e entretenimento. Requerem cuidados especiais com acústica, visibilidade, iluminação cênica e circulação do público.
- Templos e igrejas: edificações voltadas à prática religiosa, com características arquitetônicas específicas que valorizam simbolismo, acústica e espaços para reuniões coletivas.
- Hospitais: ambientes destinados ao atendimento à saúde, com requisitos rigorosos de higiene, ventilação, acessibilidade, circulação setorizada e infraestrutura hospitalar específica.

3.1.1.3 Categoria e etapas de obra

Já as etapas são comumente divididas em três grandes categorias: trabalhos preliminares, execução e acabamento; podendo estas ser subdivididas em mais de 27 etapas distintas, dependendo da natureza dos materiais empregados e a finalidade da obra (CUNHA, *et al*, 2017):

a) Trabalhos preliminares:

Esta é fase de definição de objetivos, elaboração dos estudos de viabilidade, desenvolvimento dos projetos, estabelecimento das atividades necessárias ao empreendimento, sua sequência, simultaneidade e/ou interdependência, com o auxílio de técnicas de planejamento.

b) Trabalho de execução:

É a construção propriamente dita, o andamento dos processos com auxílio da técnica construtiva e apoio de um sistema de suprimento.

c) Trabalhos de acabamento:

Envolve as últimas etapas da construção e são essenciais para garantir a estética, funcionalidade e qualidade do projeto. Alguns dos principais trabalhos de acabamento incluem: pintura, revestimento de paredes e pisos, instalações, gesso e forro, vidros, detalhes de fachada etc.

Estes trabalhos, por sua vez, podem ser subdivididos em até 27 etapas, sendo estes: serviços técnicos e administrativos preliminares; limpeza do terreno/ instalação e locação da obra; serviços em terra e rocha; infraestrutura; supraestrutura; alvenaria; isolamento térmico e acústico; impermeabilização; cobertura; esgotamento pluvial; instalações hidráulicas; esgoto sanitário; aparelhos e metais sanitários; instalações elétricas; telefone externo/ interno; antenas; instalações especiais; serralheria; marcenaria; revestimento de paredes; revestimento de pisos; ferragens; vidros; pintura; acabamento; paisagismo; limpeza.

3.2 Aspectos ambientais da construção civil

A construção civil é responsável pela utilização de aproximadamente 40 a 50% dos recursos naturais no Brasil, pela geração de 25% dos resíduos sólidos, pelo consumo de 25% da água e pela ocupação de 12% das terras (UNEP, 2012). Trata-se, portanto, de uma das atividades humanas que mais contribui para a geração de resíduos, efluentes e emissões gasosas, exercendo impacto significativo sobre o meio ambiente. Esses subprodutos são gerados ao longo de diversas fases do processo construtivo, desde a preparação do terreno até a finalização da edificação.

3.2.1 Normas e diretrizes aplicáveis

Para compreender a relação entre as atividades antrópicas e os aspectos e impactos ambientais, é necessário destacar os principais fundamentos da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Essa legislação estabelece conceitos essenciais que norteiam a compreensão e a aplicação de medidas ambientais no país.

Dentre as definições presentes no Art. 3º da referida lei, destacam-se:

I - meio ambiente: o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas; II - degradação da qualidade ambiental: a alteração adversa das características do meio ambiente; III – poluição: a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente; IV – poluído: a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental; V - recursos ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora (LEI Nº 6.938, 1981).

Além das definições fundamentais, a lei também estabelece, em seu Art. 2º, os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que buscam garantir a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável. Entre os principais pontos, estão:

I - a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propiciando a vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos pelos seguintes princípios: II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas; V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras (LEI Nº 6.938, 1981).

Com o avanço das atividades econômicas e a intensificação da urbanização, tornou-se essencial estabelecer diretrizes legais que promovam a compatibilidade entre o desenvolvimento socioeconômico e a preservação do meio ambiente. Nesse sentido o Artigo 4º dessa legislação dispõe sobre os principais objetivos da PNMA, os quais orientam a atuação do poder público e da sociedade na busca por um modelo de desenvolvimento sustentável. Entre esses objetivos, destacam-se ações voltadas ao uso racional dos recursos naturais, à responsabilidade ambiental dos usuários e poluidores, e à promoção da consciência pública sobre a importância da preservação ambiental. A seguir, apresenta-se o referido artigo:

I - à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico; II - à definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico, atendendo aos interesses da União, dos Estados, do

Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios; (Vide decreto nº 5.975, de 2006); III - ao estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais; IV - ao desenvolvimento de pesquisas e de tecnologias nacionais orientadas para o uso racional de recursos ambientais; V - à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico; VI - à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida; VII - à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos (LEI Nº 6.938, 1981).

No contexto da avaliação dos impactos ambientais gerados pelas atividades da construção civil, especialmente em relação à qualidade do solo, é fundamental considerar as definições técnicas estabelecidas por normas específicas. Entre essas, destaca-se a ABNT NBR 15.515-2:2011, que fornece diretrizes para a investigação de passivos ambientais no solo e águas subterrâneas, com foco na caracterização de áreas potencialmente contaminadas. Essa norma técnica estabelece conceitos fundamentais para a compreensão do processo de contaminação, os critérios para a identificação de áreas contaminadas e os parâmetros utilizados na avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A seguir, apresentam-se algumas definições relevantes trazidas pela norma:

Contaminação: presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco a saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico; Área contaminada: área onde for constatada presença de substâncias químicas em fase livre ou onde for comprovada, após investigação detalhada de risco, a existência de risco à saúde humana; Contaminante: organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, com concentrações que possam afetar a saúde humana e o meio ambiente. Substâncias químicas de interesse: elementos, substâncias e produtos químicos que sejam de interesse para a investigação da contaminação (ABNT NBR 15.515-2, 2011).

A ausência de uma gestão eficiente desses materiais pode acarretar sérias consequências, como a contaminação, poluição e a degradação ambiental, principalmente do solo. De acordo com a Resolução CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009, considera-se necessário:

o estabelecimento de procedimentos e critérios integrados entre os órgãos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em conjunto com a sociedade civil organizada, para o uso sustentável do solo, de maneira a prevenir alterações prejudiciais que possam resultar em perda de sua funcionalidade (CONAMA Nº 420, 1009).

3.2.2 Principais impactos ambientais da construção civil

A construção civil é reconhecida por exercer diversos impactos ambientais ao longo de seu ciclo produtivo, com efeitos significativos sobre os meios físico, biótico e antrópico. Entre os principais, destaca-se o impacto sonoro, resultante do uso intensivo de maquinário pesado, ferramentas vibratórias e transporte de materiais, o que provoca níveis elevados de ruído e perturbações nas áreas adjacentes ao canteiro de obras. O impacto atmosférico também é relevante, ocasionado pela emissão de poeiras, material particulado e compostos orgânicos voláteis, comprometendo a qualidade do ar e contribuindo para problemas respiratórios. No que se refere ao solo, as intervenções como terraplenagem, escavações, armazenamento de materiais e disposição inadequada de resíduos podem provocar compactação, impermeabilização e perda de propriedades físico-químicas. Já os corpos hídricos podem ser afetados pela captação excessiva de água para atividades operacionais, bem como pela disposição indevida de efluentes líquidos, com consequente alteração na qualidade da água superficial e subterrânea.

Em especial, a contaminação do solo pela construção civil é uma das formas mais críticas de impacto ambiental, frequentemente associada ao descarte inadequado de resíduos e à liberação de efluentes com substâncias potencialmente perigosas. Resíduos como argamassa, concreto, tintas, solventes e embalagens químicas, quando dispostos diretamente sobre o solo sem isolamento ou tratamento, podem comprometer suas características naturais, dificultando sua regeneração e restringindo seu uso futuro. Além disso, a infiltração de efluentes oriundos da lavagem de equipamentos, limpeza de materiais contaminados pode introduzir agentes tóxicos

nos horizontes do solo, atingindo, inclusive, os lençóis freáticos. Tais ocorrências exigem medidas de controle e investigação técnica conforme preconizado por normas ambientais específicas, dada a relevância dos riscos associados à saúde humana e ao equilíbrio ecológico.

3.2.2.1 Resíduos da construção civil

Segundo Alves e Quelhas (2004), a construção civil configura-se, em âmbito mundial, como uma das principais atividades geradoras de resíduos sólidos e causadoras de impactos ambientais. Os processos relacionados à extração de matérias-primas, à execução de obras e à destinação inadequada de resíduos, quando não conduzidos sob uma perspectiva sustentável, contribuem diretamente para a degradação do meio ambiente.

Nesse contexto, a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, foi instituída com o objetivo de estabelecer diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil. Conforme disposto em seu Art. 2º, a norma define:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha; II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução; III - Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação; IV - Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (CONAMA Nº 307, 2002).

A fim de estabelecer critérios técnicos para a gestão adequada dos resíduos gerados pela construção civil, a Resolução CONAMA nº 307, introduz a classificação dos resíduos sólidos com base em sua origem e no potencial de reaproveitamento. Esta norma representa um marco na regulamentação ambiental do setor, ao propor

diretrizes que visam minimizar os impactos causados pelo descarte inadequado de materiais e promover a sua reutilização ou reciclagem, sempre que tecnicamente viável.

No Art. 3º da referida resolução, os resíduos da construção civil são classificados em quatro categorias principais:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros; III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso; IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros (CONAMA N º307, 2002).

Complementando a normativa voltada à gestão ambiental dos resíduos gerados pela construção civil, destaca-se a Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012, que dispõe sobre critérios e diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos em consonância com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Essa norma reforça a necessidade de uma abordagem integrada e sustentável para a gestão dos resíduos, promovendo a adoção de práticas que considerem não apenas os aspectos técnicos e operacionais, mas também as dimensões políticas, econômicas, culturais e sociais envolvidas no processo.

Em seu Art. 2º, a resolução apresenta definições fundamentais que orientam a atuação dos entes públicos e privados. Entre elas, destacam-se os conceitos:

XI - Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e

destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010; XII - Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (CONAMA Nº 448, 2012).

O Art. 4º relata que os “geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

3.2.2.2 Efluentes da construção civil

A construção civil, por suas características operacionais, é uma atividade que gera diversos tipos de efluentes que, se não forem devidamente gerenciados, podem comprometer a qualidade ambiental. Entre os impactos mais relevantes está a poluição do solo causada pelo lançamento inadequado de efluentes líquidos gerados nas diversas etapas do processo construtivo, como a lavagem de equipamentos, concretagem, aplicação de tintas, argamassas e outros materiais. Esses efluentes frequentemente contêm substâncias químicas como óleos, graxas, solventes, pigmentos, sólidos em suspensão e compostos orgânicos ou inorgânicos potencialmente tóxicos.

Nesse contexto, o marco regulatório ambiental brasileiro estabelece parâmetros para mitigar tais impactos. A Resolução CONAMA nº 357/2005 define "efluente" como os despejos líquidos resultantes de diversas atividades ou processos, caracterizando-os como resíduos líquidos que podem ser originados de várias fontes, incluindo a construção civil. Esse setor é responsável pela geração de diversos tipos de efluentes durante seus processos construtivos, que, quando não gerenciados adequadamente, podem ter sérios impactos ambientais, como poluição do solo e da água. Complementando essa diretriz, a Resolução Nº 430, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução

Nº 357, de 17 de março de 2005. Os artigos 2º e 3º fazem considerações importantes sobre o assunto.

Art. 2º A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos (CONAMA 430, 2011).

As atividades desenvolvidas em obra ocorrem em diferentes fases executivas, sendo que cada etapa produtiva está associada à geração de efluentes com composições físico-químicas específicas, conforme os materiais e técnicas utilizados. Dentre os diversos tipos gerados no canteiro de obras, destacam-se os provenientes das operações de concretagem, de acabamento, proveniente da aplicação e lavagem de tintas e, principalmente, da lavagem de formas metálicas — esta última diretamente relacionada ao método construtivo de paredes de concreto armado moldadas in loco.

3.2.2.2.1 Concreto: definições e impactos

Segundo a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), o concreto é um material compósito que consiste em um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas, sendo essas partículas envolvidas por uma pasta que é formada de cimento e água. Na fabricação do concreto, a água entra como insumo, sendo utilizada como facilitadora para a mistura aglomerante/agregados e como iniciadora dos processos químicos que resultarão, como objetivo final, no endurecimento do concreto.

No ramo da construção civil são utilizados diversos tipos de concretos, tais como: convencional, armado, protendido, de alta resistência (CAR), de alto desempenho (CAD), entre outros (ABNT NBR 12655, 2015). Uma das utilizações do concreto é para a pavimentação de edificações e estruturas, com destaque para o concreto armado e o protendido devido a sua ampla utilização.

O concreto comum nada mais é do que uma mistura cimento, água e agregados, os quais podem ser graúdos (pedras ou britas) ou miúdos (areia) (ABNT NBR 7212, 2012). Comumente, é utilizado o Cimento Portland Comum, um

aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, adicionado de uma ou mais formas de sulfato de cálcio; além da possível adição de materiais carbonáticos, escórias granuladas e/ou materiais pozolânicos (ABNT NBR 5732, 1991). Além desses materiais, para o concreto armado, são necessárias barras e estribos de aço, que variam de acordo com a especificação: sendo aço de armadura passiva ou ativa, que se diferenciam na tensão-deformação, resistência ao escoamento e à tração (ABNT NBR 6118, 2003). Em relação ao concreto protendido, além do conteúdo base (água, cimento e agregados), também são utilizadas cordoalhas protendidas, conjuntos de fios de aço, geralmente aço-carbono, trançados e tratados termicamente para suportar altas tensões (ABNT NBR 7483, 2021). O cimento Portland é um material pulverulento, aglomerante hidráulico, composto basicamente de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio que misturados à água se hidratam e, depois de endurecidos, mesmo que sejam submetidos novamente à ação da água não se decompõem mais (CORDEIRO, 2001).

Para a fabricação e uso do concreto, alguns impactos ambientais ocorrem como a geração de materiais particulados e de efluentes provenientes da lavagem de equipamento como betoneiras e dos caminhões responsáveis pelo transporte do concreto.

3.2.2.2 Tinta: definições e impactos

Donadio e Abrafati (2011) definem tinta como uma “mistura de produtos químicos que são aplicados em uma superfície com a finalidade de conferir a este acabamento, resistência ou proteção”.

As tintas são compostas, em geral, por resinas, pigmentos, aditivos e solventes. De acordo com Fazenda (2005), resina é a parte não volátil a tinta que tem a função de aglomerar as partículas de pigmentos, além de determinar o tipo de tinta ou revestimento empregado. As resinas determinam as características físicas e químicas da tinta, como brilho e secagem. As mais comuns são: alquídicas, epoxídicas, acrílicas, poliésteres, vinílicas e nitrocelulósicas (YAMANAKA et al, 2006).

Já os pigmentos conferem cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos, tendo fina granulometria além de serem insolúveis no meio líquido em que se concentrem (FAZENDA, 2005).

Por outro lado, os aditivos envolvem uma grande quantidade de componentes químicos e conferem propriedades específicas às tintas, como bloqueadores dos raios UV, bactericidas, secantes, inibidores de corrosão, entre outros (YAMANAKA et al, 2006).

Os solventes são responsáveis pelo aspecto líquido da tinta. Podem ser orgânicos ou água e evaporam após a aplicação (YAMANAKA et al, 2006).

Para a fabricação e aplicação de tintas, também são observados impactos relevantes relacionados à geração de efluentes contaminantes. Durante as etapas de preparo, manuseio e aplicação, bem como na limpeza de pincéis, rolos, pistolas de pintura e recipientes, são gerados resíduos líquidos com alta carga de compostos químicos como solventes orgânicos, pigmentos e aditivos.

3.2.2.2.3 Lavagem de formas: definições e impactos - segundo manual da construtora analisada

O sistema executivo de parede de concreto armado in loco consiste na moldagem das paredes estruturais diretamente no local da obra, utilizando formas metálicas ou de madeira para conformação e contenção do concreto durante a etapa de concretagem. Nesse método, o concreto é lançado nas formas já armadas com barras de aço. Trata-se de um sistema monolítico e industrializado, que proporciona maior rigidez estrutural, rapidez de execução e redução de etapas. A construtora do estudo em específico, utiliza o sistema amplamente empregado em obras de médio e grande porte pela sua racionalização e industrialização do processo construtivo, que demanda intensa utilização de formas metálicas reutilizáveis. A lavagem das formas de concreto utilizadas é uma etapa essencial para garantir sua reutilização e a qualidade das estruturas moldadas. Após a desforma, é necessário limpar as formas para remover resíduos de cimento, pó e óleos, evitando que impurezas comprometam o acabamento das futuras concretagens. Esse processo contribui para a durabilidade dos moldes e reduz a necessidade de substituições frequentes.

A limpeza das formas segue um processo estruturado que inicia com a remoção manual dos resíduos sólidos, utilizando espátulas, esmalhadeira ou escovas de cerdas duras para retirar partículas de concreto aderidas. Em seguida, aplica-se um desengraxante, produto químico responsável por eliminar óleos e resíduos de desmoldante presentes na superfície das formas. Após a aplicação, realiza-se a lavagem com água pressurizada para remover as impurezas dissolvidas. Na

sequência, utiliza-se um desincrustante (Produto classificado como mistura corrosiva ou irritante para a pele de acordo com a norma ABNT NBR 14725-2 – Tabela 6 – ÁCIDO COM $\text{PH} \leq 2$ - CONCENTRAÇÃO: $\geq 1\%$ - CATEGORIA 1.), geralmente à base de ácido clorídrico diluído, para dissolver resíduos de cimento e incrustações de concreto que permaneceram na superfície. Esse produto é aplicado com cautela para evitar corrosão excessiva, especialmente em formas metálicas. Caso necessário, escovas de aço ou cerdas rígidas são usadas para reforçar a remoção dos resíduos mais aderidos. Após essa etapa, realiza-se um enxágue abundante com água para eliminar qualquer resíduo ácido, garantindo que não haja reações químicas indesejadas na próxima concretagem.

Os Quadros 1, 2 e 3 mostram a composição química/informações do desmoldante, desengraxante e desincrustante, segundo a Ficha de Informação de Segurança dos Produtos Químicos (FISPQ) ou Ficha com Dados de Segurança (FDS) de produtos utilizados pela construtora.

Quadro 1 - Composição e informações sobre ingredientes de desmoldante

Nome químico comum ou técnico	Nº CAS	Concentração ou faixa de concentração (%)
Óleo mineral	68334-30-5	80 a 85

Fonte: FISPQ/FDS desmoldante Vedacit, 2021

Quadro 2 - Composição e informações sobre ingredientes de desengraxante.

Nome químico comum ou técnico	Nº CAS	Concentração ou faixa de concentração (%)
Hidrocarboneto Alifático	64742-82-1	0 - 60
Hidrocarboneto Alcano	110-54-3	10 - 70

Fonte: FISPQ/FDS desengraxante Solven, 2013

Quadro 3 - Composição e informações sobre ingredientes de desincrustante.

Nome químico comum ou técnico	Nº CAS	Concentração ou faixa de concentração (%)
Água	7732-18-5	100%
Ácido Clorídrico	7647-01-0	>40%
Tensoativo Aniônico	ND	<10%
Acidificante	ND	<10%

Fonte: FISPQ/FDS desincrustante Concrespan, 2018

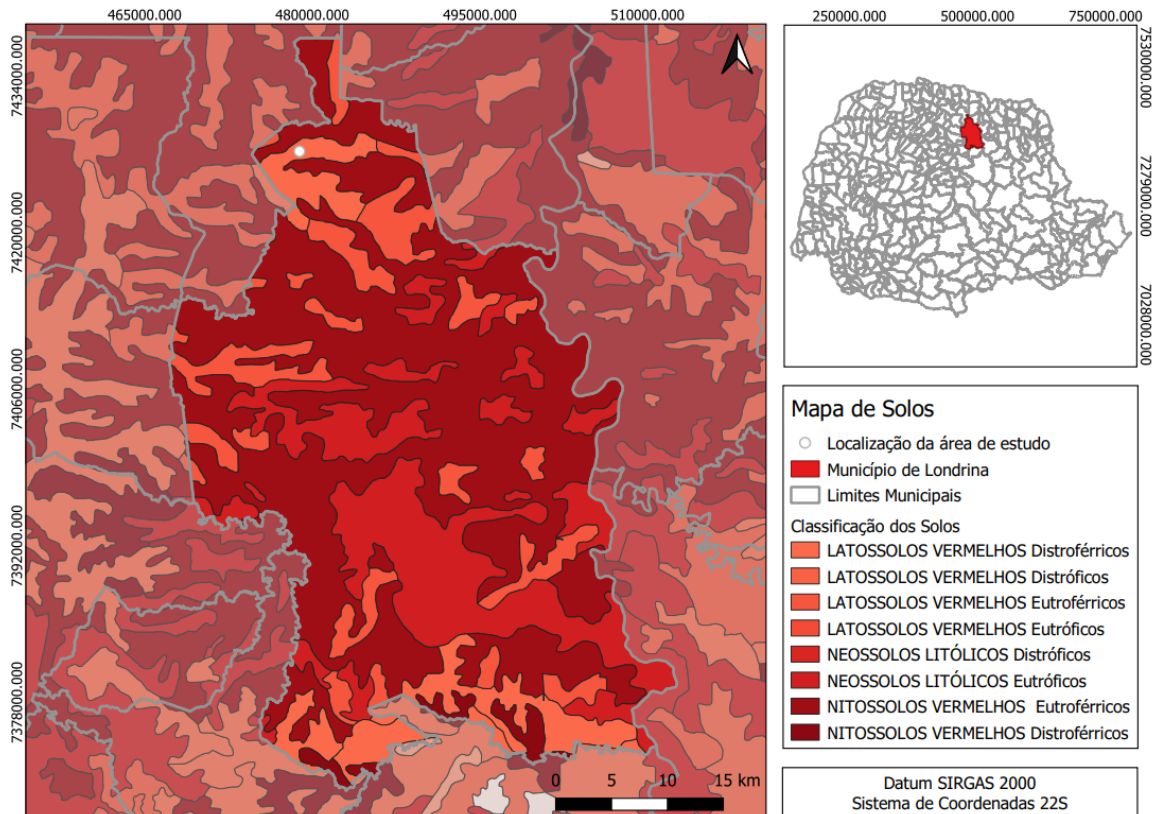
4. MATERIAIS E METÓDOS

4.1 Área de estudo

A presente pesquisa foi desenvolvida em um canteiro de obras pertencente a uma construtora localizada na cidade de Londrina, no estado do Paraná, especializada na execução de empreendimentos residenciais. Por motivos de confidencialidade, a identidade da empresa não foi divulgada, embora esta tenha autorizado formalmente a realização do estudo, incluindo a coleta de amostras e registros fotográficos com fins de análise técnica. O sistema construtivo adotado na obra é o de paredes de concreto armado moldadas in loco com o uso de formas metálicas, amplamente empregado em projetos habitacionais de médio e grande porte. Quanto à sua finalidade, trata-se de um conjunto residencial vertical, voltado ao atendimento da demanda habitacional urbana, em conformidade com os parâmetros técnicos e as normas regulamentadoras aplicáveis ao setor da construção civil.

A área onde o canteiro de obra está localizado apresenta predominância do solo Latossolo Vermelho Distroférrico, que, conforme a Embrapa (2005) representa 31,49% dos solos brasileiros, abrangendo aproximadamente 2.681.588,69 km². A Figura 1 apresenta uma representação cartográfica com a distribuição dos tipos de solos no município de Londrina, destacando, por meio de um marcador em cor branca, a localização específica da obra analisado neste estudo.

Figura 1 – Mapa de solos de Londrina



Fonte: IAT; Elaboração: Autoria própria (2025)

Segundo Embrapa (2005), os Latossolos Vermelhos Distroférricos são solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B; saturação por bases baixa ($V < 50\%$) e teores de Fe_2O_3 de 180g/kg a $< 360g/kg$ na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B.

A região Norte do Paraná corresponde a 17,6 % da superfície do território estadual e apresenta solos derivados do arenito Caiuá, os quais representam 71,4 % da área da região e, em sua maioria, são caracterizados por apresentarem textura superficial franco-arenosa e baixos teores de matéria orgânica (Carvalho, 1994). Em Latossolos as características químicas e mineralógicas do solo não sofrem modificações nos diferentes horizontes do perfil e dentro de um mesmo horizonte com o aumento da profundidade.

4.2 Etapas de estudo da obra

A execução de uma edificação é orientada por um conjunto de etapas previamente definidas no memorial descritivo do projeto, documento técnico que assegura a organização, a qualidade e a conformidade do empreendimento com as

normas vigentes e as boas práticas da engenharia civil. No presente estudo, que aborda a construção de condomínios verticais com o sistema de parede de concreto armado moldado in loco, foram consideradas as etapas construtivas e os materiais descritos no memorial descritivo fornecido pela construtora responsável pela obra analisada. Serão destacadas, a seguir, as fases do processo executivo que se relacionam diretamente com a geração de efluentes líquidos, foco central desta pesquisa, com o objetivo de identificar os momentos mais críticos quanto ao potencial de contaminação do solo decorrente das atividades desenvolvidas no canteiro de obras.

4.2.1 Fundação

A fase de fundação corresponde à etapa inicial da execução de uma edificação, sendo responsável por transferir as cargas da estrutura para o solo. Essa etapa envolve atividades como a escavação, a preparação do terreno e a execução dos elementos estruturais de fundação, como estacas, sapatas ou blocos, que são moldados com a utilização de concreto. Durante esse processo, ocorre a geração de efluentes líquidos provenientes, principalmente, da lavagem dos caminhões betoneira utilizados no transporte do concreto, os quais podem conter resíduos cimentícios, óleos e outros compostos.

4.2.2 Estrutura – Paredes e lajes

O sistema construtivo adotado na edificação consiste em paredes e lajes estruturais maciças em concreto armado moldadas in loco, com a utilização de malhas de aço, conforme as especificações do projeto estrutural. Para o molde dos elementos estruturais, foram empregadas fôrmas metálicas compostas por painéis. As Figuras 2 e 3 ilustram o processo executivo da estrutura, destacando a aplicação das formas metálicas.

Figura 2 – Imagem ilustrando o sistema construtivo de parede de concreto com formas metálicas



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 3 – Imagem do canteiro de obra estudado, representando sistema construtivo de parede de concreto com formas metálicas



Fonte: Autoria própria (2025)

Durante essa fase, destaca-se como principal efluente gerado aquele proveniente da lavagem dos caminhões betoneira utilizados no transporte do concreto, o qual contém aditivos do cimento e aceleradores de cura adicionados à mistura do concreto.

4.2.3 Impermeabilização

As etapas de impermeabilização da edificação abrangem diversas áreas em contato direto ou indireto com o solo, como baldrame, revestimentos internos e externos, calhas, áreas úmidas como banheiros e lavanderias e etc. O principal material empregado nesses processos é a argamassa polimérica, podendo ser associada à emulsão asfáltica ou à membrana acrílica, conforme as normas técnicas NBR 9574 e NBR 9575. O principal efluente gerado durante essas atividades provém da lavagem de ferramentas e recipientes utilizados na aplicação dos impermeabilizantes, os quais contêm compostos químicos.

4.2.4 Revestimentos/ Acabamentos e Pintura

As diversas áreas internas e externas da edificação utilizam predominantemente revestimentos cerâmicos, pinturas e acabamentos em gesso para pisos, paredes e tetos. Os principais materiais empregados incluem cerâmica, tinta acrílica e argamassas específicas para acabamento. O principal efluente gerado durante essas etapas resulta da limpeza de ferramentas e equipamentos utilizados na aplicação de tintas, argamassas e rejuntas, contendo resíduos químicos e sólidos em suspensão.

4.2.5 Desmobilização de canteiro

A etapa de desmobilização do canteiro de obras compreende a remoção das instalações provisórias, equipamentos e estruturas temporárias utilizadas durante a execução da construção. Essa fase gera significativa quantidade de resíduos sólidos, como madeira, metais, plásticos, entulho e resíduos perigosos, além de efluentes líquidos provenientes da limpeza de equipamentos, ferramentas, áreas e superfícies do canteiro. Destaca-se também a lavagem das formas metálicas utilizadas para moldagem das paredes e lajes de concreto, cuja água residual contém principalmente partículas em suspensão, aditivos químicos e compostos orgânicos.

4.3 Acompanhamento in loco

O acompanhamento in loco é uma etapa fundamental para compreender as dinâmicas, processos e os impactos gerados pelas atividades realizadas em obras de

construção civil. No contexto deste trabalho, o acompanhamento foi realizado no canteiro de uma obra com o objetivo de observar e documentar os processos que contribuem para a contaminação do solo durante a execução das atividades construtivas. O acompanhamento foi realizado cobrindo as etapas críticas das obras em que a geração de efluentes potencialmente contaminantes é mais significativa. Esse acompanhamento permitiu a identificação detalhada das fontes de contaminação associadas às etapas, como a lavagem de caminhões betoneiras utilizadas para o transporte de concreto na fase de concretagem das fundações, paredes, lajes e pavimentação, a lavagem de ferramentas, equipamentos, recipientes e pincéis de tinta e impermeabilizantes empregados nos acabamentos e a limpeza de formas metálicas de concreto pós desforma.

O monitoramento em campo foi essencial para a demarcação e coleta de amostras nas áreas potencialmente impactadas, viabilizando a realização de análises laboratoriais detalhadas. As quais permitiram a obtenção de dados quantitativos acerca dos níveis de concentração de contaminantes, possibilitando a comparação com as características do solo local.

4.4 Análises

Para a avaliação dos impactos ambientais na área de estudo, foram coletadas amostras em condições naturais (sem contaminação) e em pontos expostos a efluentes provenientes de diferentes processos construtivos potencialmente poluentes. Três principais fontes de contaminação foram identificadas: resíduos de concreto, tintas e impermeabilizantes, e efluentes oriundos da lavagem de formas metálicas. Para cada tipo de exposição, o material foi coletado em três locais distintos do canteiro de obras, selecionados estrategicamente para captar variações nas características físico-químicas. As amostras de um mesmo grupo foram posteriormente homogeneizadas, gerando uma amostra composta representativa por tipo de contaminação. Da mesma forma, foi preparada uma amostra controle, proveniente de área não impactada. Ao todo, o estudo contou com quatro amostras finais: uma referente à condição natural e três correspondentes aos diferentes tipos de contaminação. Todas foram devidamente acondicionadas e encaminhadas a um laboratório especializado em análises de solos, localizado na cidade de Londrina.

Cada amostra foi submetida a uma bateria de análises laboratoriais, incluindo determinação de pH (SMP, CaCl_2 e H_2O), capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC pH7), CTC efetiva, fósforo (P) pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, além das concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), enxofre (S), boro (B), matéria orgânica total (M.O.) e fósforo remanescente (Prem). Esses parâmetros permitiram avaliar a qualidade do solo, sua fertilidade e os efeitos potenciais da contaminação em comparação com a condição original.

A Figura 2 apresenta a planta baixa do canteiro de obras, na qual estão indicados os locais de retirada de cada amostra, bem como o tipo de contaminação associado a cada ponto analisado.

Figura 4 – Planta baixa do condomínio estudado com os locais de coleta de amostras



Fonte: Construtora não identificada (2024)

O Quadro 4 apresenta-se como legenda para planta baixa apresentada, indicando o tipo de análise em cada ponto de coleta de amostra.

Quadro 4 – Pontos de coleta de amostra para análises

Ponto	Análise
●	Solo sem contaminação
●	Contaminação por concreto
●	Contaminação por tinta
●	Contaminação da lavagem de forma

Fonte: Autoria própria (2025)

4.4.1 Metodologia de análise das amostras

4.4.1.1 pH SMP

A solução SMP (Shoemaker, Mclean & Pratt) consiste numa mistura de sais neutros com vários tampões, com o objetivo de obter um decréscimo linear do pH, quando titulada potenciométricamente com ácido forte. A solução tampão SMP foi desenvolvida inicialmente para ser utilizada em um método rápido de determinação de calagem por Shoemaker et al. (1961), obtendo-se um índice SMP baseado na mudança de pH da solução tamponada em face da acidez potencial do solo; este é correlacionado com a quantidade de calcário necessária para atingir valores de pH compatíveis com as diversas culturas, o que foi calibrado em estudos na Região Sul do Brasil. O índice SMP apresenta alta correlação com o valor de $H + Al$ (acidez potencial dos solos). (Embrapa, 2009).

Procedimento: Medir, em copo de plástico, 10 mL de solo. Adicionar 10 mL de água destilada e agitar com bastão de vidro. Deixar em repouso por 30 minutos. Agitar novamente e determinar o pH. Adicionar 5 mL da solução SMP e agitar com bastão de vidro. Deixar em repouso por 20 minutos. Agitar novamente, calibrar o potenciômetro com os tampões 7,00 e 4,00, tomando os mesmos cuidados do item anterior, e ler o pH de equilíbrio da suspensão tampão, denominado pH SMP. (Embrapa, 2009).

4.4.1.2 pH CaCl₂

Medição da concentração efetiva de íons H^+ na solução de solo, eletronicamente, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo: solução de $CaCl_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ na proporção de 1:2,5. (Embrapa, 2009).

Procedimento: Colocar 10 cm³ de TFSA em copo de plástico, numerado, de 80 mL, de preferência de formato troncocônico. Adicionar 25 mL de solução de CaCl₂ 0,01. Agitar a mistura com bastão individual e deixar em repouso por 15 minutos para molhamento completo da amostra. Agitar novamente cada mistura com bastão de vidro ou agitador com hélice por 5 minutos, sendo necessário, no caso de agitador de mesa, usar frasco com tampa. Calibrar o aparelho com as soluções padrão de pH 4,00 e pH 7,00. Efetuar medição após o período de 30 minutos, necessário para o equilíbrio e a decantação da suspensão – a leitura do pH em, mergulhando o eletrodo na suspensão homogeneizada, sem nova agitação. (Embrapa, 2009).

4.4.1.3 pH H₂O

Medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H⁺ na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção de 1:2,5. (Embrapa, 2009).

Procedimento: Colocar 10 cm³ de TFSA em copo de plástico, numerado, de 100 mL. Adicionar 25 mL de água destilada ou deionizada. Agitar a mistura com bastão individual e deixar em repouso por uma hora. Agitar novamente cada mistura com bastão de vidro, mergulhar o eletrodo na suspensão homogeneizada e efetuar a leitura do pH. (Embrapa, 2009).

4.4.1.4 CTC pH7 e efetivo

O valor T, ou capacidade de troca de cátions (CTC), que corresponde à soma das bases trocáveis mais a acidez potencial, é calculado em $cmol_c dm^{-3}$ de TFSA de acordo com a Equação 1. (Embrapa, 2009).

$$T = S + H^+ + Al^{3+} \quad (1)$$

Onde o valor S, que é a soma de bases trocáveis, é calculado em $cmol_c dm^{-3}$ de TFSA de acordo com a Equação 2. (Embrapa, 2009).

$$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ \quad (2)$$

4.4.1.5 Fósforo (P) - Mehlich 1

O fósforo extraído é determinado espectrofotometricamente, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico. (Embrapa, 2009).

Procedimento: Pipetar, sem filtrar, 25 mL do extrato. Passar para recipiente de plástico de aproximadamente 30 mL. Pipetar, exatamente, 5 mL desse extrato e colocar em erlenmeyer de 125 mL. Reservar o restante para determinação de K⁺ e Na⁺. Adicionar 10 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída. Juntar uma medida calibrada (\pm 30mg) de ácido ascórbico em pó. Agitar durante 1 ou 2 minutos no agitador horizontal circular. Deixar desenvolver a cor durante uma hora. Efetuar a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho, comprimento de onda de 660 nm. (Embrapa, 2009).

4.4.1.6 Fósforo (P) - Mehlich 3

A solução ácida com íon complexante mais empregada para a extração de fósforo é a mistura de HCl com NH₄F, atuando o íon fluoreto mais eficientemente na formação de um forte complexo com íons Al³⁺, liberando, assim, o fósforo ligado ao metal. O fósforo presente no solo, como fosfato de cálcio, também é extraído pela precipitação de fluoreto de cálcio. A concentração do ácido tem variado de 0,025 mol L⁻¹ a 0,1 mol L⁻¹, enquanto a de NH₄ F fica em geral ao redor de 0,03 mol L⁻¹. Portanto, Mehlich 3 tem sua ação baseada na presença de íon fluoreto e no pH ácido. (Embrapa, 2009).

Procedimento: Transferir 2 mL do extrato para tubo de 50 mL. Adicionar 26 mL da solução de trabalho. Misturar bem. Após 15 minutos, efetuar a leitura da transmitância (T) ou absorvância (A), usando o filtro de 880 nm. (Embrapa, 2009).

4.4.1.7 Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Manganês (Mn)

Todas as determinações dos teores de Ca, Mg, K, P e dos micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn, em solos, seguem os padrões utilizados na extração com resina trocadora de íons. Modifica-se apenas a solução extratora em uso, não os demais procedimentos do laboratório e métodos de determinação usados rotineiramente. As determinações são feitas no espectrofotômetro ICP, todos os elementos são determinados simultaneamente. (Embrapa, 2009).

4.4.1.8 Alumínio (Al)

As determinações de cálcio, magnésio e alumínio podem ser feitas em espectrofotômetros de absorção atômica (AAS) ou de emissão em plasma (ICP-AES). Alternativamente, os laboratórios que não possuem equipamentos como o AAS e o ICP-AES podem determinar o Al trocável utilizando métodos espectrofotométricos, inclusive o que emprega o alaranjado de xilenol. (IAC, 2001).

Procedimento: Transferir uma alíquota de 1 mL de extrato de solo para frascos plásticos de 100 mL. Com o dispensador adicionar 25 mL da solução de alaranjado de xilenol. Homogeneizar. Deixar em repouso por duas horas. Realizar as leituras no espectrofotômetro UV-Vis, em 555 nm, iniciando-se pelas soluções-padrão. Ajustar a curva de calibração. (IAC, 2001).

4.4.1.9 Matéria orgânica (M.O)

A determinação da quantidade de matéria orgânica em solos baseia-se na sua oxidação a CO_2 por íons dicromato, em meio fortemente ácido. Em amostras que exigem maior precisão, a determinação da quantidade de íons Cr(III) reduzidos é feita indiretamente, por titulação dos íons dicromato em excesso, com íons Fe^{2+} . Alternativamente, pode-se determinar diretamente a quantidade de íons Cr(III) por colorimetria, medindo a intensidade da cor esverdeada produzida por esses íons em solução. (Embrapa, 2009).

Procedimento: 1) Extração: tomar aproximadamente 20 g de TFSA. Triturar em gral. Passar em peneira de 80 mesh. Pesar 0,5 g da TFSA triturada. Colocar em erlenmeyer de 250 mL. Pipetar 10 mL da solução de bicromato de potássio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. Adicionar à amostra de solo. Colocar um tubo de ensaio de 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura, cheio de água e protegido com papel aluminizado, na boca do erlenmeyer, onde funcionará como condensador (dedo fino), ou usar placa de vidro. Aquecer, em placa elétrica, até a fervura branda, durante 5 minutos. 2) Determinação: deixar esfriar. Juntar 80 mL de água destilada ou deionizada (medida em proveta), 1 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina a 10 g L^{-1} . Titular com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,05 \text{ mol L}^{-1}$. A viragem ocorre quando a cor azul desaparece, dando lugar à verde. Anotar o número de mililitros gastos. Efetuar uma prova em branco com 10 mL da solução de bicromato de potássio. Anotar o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto. A

percentagem de carbono orgânico existente na amostra é dada pela Equação 3. (Embrapa, 2009).

$$TFSE = 0,006 * V(40 - V_a * f) * "f" \quad (3)$$

em que:

TFSE = terra fina seca em estufa

V = volume de bicromato de potássio empregado.

V_a = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra.

f = 40/volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco.

0,06 = fator de correção, decorrente das alíquotas tomadas.

"f" = fator de correção para TFSE.

A quantidade de matéria orgânica existente na amostra é calculada conforme a Equação 4. (Embrapa, 2009).

$$\frac{g \text{ de matéria orgânica}}{Kg} = \frac{g \text{ de matéria orgânica}}{Kg} * 1,724 \quad (4)$$

4.4.1.10 Boro (B) e Enxofre (S)

Determinação por espectrofotometria através do Espectrofotômetro UV/VIS. (Embrapa, 2009)

Transferir uma alíquota de 4 mL do extrato ou de solução padrão para tubos de ensaio. Adicionar 1 mL da solução tampão e homogeneizar. Juntar 1 mL da solução de azometina-H e agitar manualmente. Deixar em repouso, no escuro, por 30 minutos. Proceder às leituras em um espectrofotômetro a 420 nm. (Embrapa, 2009).

4.4.1.11 Fósforo remanescente (Prem)

A eficiência de extração do fósforo disponível pelo método Mehlich 1 sofre grande influência da capacidade tampão de fosfatos do solo. Por isso, na interpretação da disponibilidade de fósforo, são usadas características que estão

relacionadas com a capacidade tampão, como o teor de argila ou o valor do fósforo remanescente (ALVARES et al., 2000). O fósforo remanescente permite caracterizar os solos em relação ao fator capacidade e estimar sua capacidade máxima de adsorção de fósforo.

Procedimento: Colocar $7,5 \text{ cm}^3$ de TFSA em erlenmeyer de 125 mL e adicionar 75 mL da solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ contendo 60 mol L^{-1} de P (solução de equilíbrio). Agitar por 5 minutos e deixar em repouso por ± 16 horas. Tomar uma alíquota de 0,2 mL e adicionar 4,8 mL de H_2O . Misturar os 5,0 mL da solução diluída com 5,0 mL do reagente de trabalho (RT). Decorridos 30 minutos, fazer a leitura da absorbância no comprimento de onda de 725 nm. (Embrapa, 2009).

4.4.2 Metodologia de análise para comparação amostras

Com o objetivo de complementar a análise laboratorial e permitir uma melhor visualização da distribuição dos contaminantes ao longo do canteiro de obras, foram aplicadas técnicas de interpolação espacial. A representação geográfica dos parâmetros físico-químicos do solo possibilita identificar padrões de dispersão e áreas potencialmente críticas de contaminação, subsidiando a interpretação ambiental dos dados. Dentre os métodos disponíveis, optou-se pela Krigagem Ordinária, por sua robustez estatística e capacidade de gerar estimativas mais precisas ao considerar a estrutura de dependência espacial existente entre os pontos amostrados.

A interpolação espacial dos dados de pH e das concentrações de metais no solo foi realizada por meio da Krigagem Ordinária, um método geoestatístico fundamentado na teoria das variáveis regionalizadas. Essa abordagem permite estimar valores em locais não amostrados, considerando não apenas a distância entre os pontos, mas também a estrutura de correlação espacial observada nos dados, representada pelo variograma. Foram selecionados para interpolação os elementos ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cálcio (Ca), com base em dois critérios principais: a significância ambiental dos teores observados nas amostras contaminadas e a presença de padrões espaciais consistentes identificados durante a análise exploratória dos dados. Esses metais apresentaram variações expressivas entre as áreas impactadas e o ponto de controle, além de comportamentos espaciais adequados à modelagem via krigagem, conforme evidenciado pela estrutura dos semivariogramas.

A Krigagem Ordinária assume que a média local é desconhecida, porém constante dentro da vizinhança de interpolação. Esse pressuposto, aliado à estrutura do variograma, garante estimativas não tendenciosas e com erro mínimo de variância (Isaaks; Srivastava, 1989).

A equação 5 geral da Krigagem é expressa como:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N(h)} \lambda_i Z(x_i) \quad 5$$

Em que:

$Z^*(x_0)$ é o valor estimado no ponto x_0 ;

$Z^*(x_i)$ são os valores amostrados;

λ_i são os pesos atribuídos a cada ponto x_i , determinados de forma a minimizar o erro de estimativa com base no modelo de variograma ajustado;

A condição de não viés é garantida pela restrição (equação 6):

$$\sum_{i=1} \lambda_i = 1 \quad 6$$

λ_i são os pesos atribuídos a cada ponto

Os pesos λ_i são obtidos pela resolução do sistema de Krige, baseado na função de semivariância. Esse sistema é formulado a partir do princípio da minimização da variância do erro de predição, sujeito à restrição de que a estimativa seja não viesada.

O cálculo da semivariância (variograma experimental) é dado por (equação 7):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad 7$$

Em que:

$\gamma(h)$ é a semivariância para uma distância h ;

$N(h)$ é o número de pares de pontos separados por h ;

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ são os valores amostrados separados por essa distância.

Estudos em escala compatível com amostragens de solo têm demonstrado a confiabilidade da Krigagem Ordinária. Iriany et al. (2025) aplicaram a técnica na interpolação de atributos físico-químicos do solo, comparando diferentes modelos de variograma. O modelo esférico se destacou pela melhor performance, com boa capacidade de predição e aderência à distribuição espacial observada. O estudo

concluiu que a Krigagem Ordinária é adequada para representar com precisão a variabilidade de propriedades edáficas em escala local.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a influência das atividades construtivas nos parâmetros ambientais do solo, esta etapa do trabalho apresenta os resultados das análises físico-químicas realizadas em amostras coletadas no canteiro de obras.

A análise comparativa dos diferentes tipos de contaminação com o solo virgem possibilitou quantificar o impacto de cada atividade construtiva sobre as propriedades físico-químicas do solo, subsidiando a identificação de possíveis não conformidades legais e a necessidade de adoção de medidas mitigadoras para minimizar os riscos ambientais.

5.1 Comparação entre as análises

A tabela 1 apresenta um compilado de todos os resultados das análises referente a amostra de solo virgem, contaminado por efluente proveniente do concreto, tinta e da lavagem de formas.

Tabela 1 – Comparação dos parâmetros de todas as amostras

Parâmetro geral	Parâmetro específico	Solo virgem	Contaminado por concreto	Contaminado por tinta	Contaminado pela lavagem de forma
Propriedades e características	CTC (pH 7,0)	7,26	34,51	18,53	50
	CTC (efetiva)	5,13	34,41	17,64	22,59
	Matéria Orgânica (%)	14,94	14,54	12,52	48,32
	Fósforo Remanescente (mg/L)	13,77	11,75	7	15,59
Reação do solo	pH em CaCl ₂	5,93	11,28	9,52	2,53
	pH em H ₂ O	6,46	11,22	9,58	3,51
	pH em SMP	7,14	11,22	8,31	3,61
	Acidez Potencial (H + Al)	2,13	0,1	0,89	29,41
	Acidez Não Trocável (H ⁺)	2,13	0,10	0,89	27,41
	Acidez Trocável (Al ³⁺)	N.D.	N.D.	N.D.	2
	Macronutrientes catiônicos	Ca (cmol/dm ³)	3,95	25,86	14,05
Mg (cmol/dm ³)	0,93	8	3,12	2,64	
K (cmol/dm ³)	0,2	0,49	0,31	0,28	
Na (cmol/dm ³)	0,05	0,06	0,16	5,18	

	Fósforo Mehlich 1 (mg/dm ³)	5,17	2,03	17,07	10,01
	Fósforo Mehlich 3 (mg/dm ³)	2,51	3,4	1,02	N.D.
	Enxofre SO4 (mg/dm ³)	32,65	47,7	86,21	102,02
Micronutrientes	Boro (mg/dm ³)	0,72	0,17	0,8	0,75
	Cobre (mg/dm ³)	9,23	11,45	9,6	14,68
	Ferro (mg/dm ³)	82,85	229,94	108,77	822,24
	Manganês (mg/dm ³)	144,79	26,01	113,35	356,35
	Zinco (mg/dm ³)	0,55	3,44	2,3	5,51
Índices de saturação	Saturação Ca (%)	54,41	74,93	75,82	24,98
	Saturação Mg (%)	12,81	23,18	16,84	5,28
	Saturação K (%)	2,75	1,42	1,67	0,56
	Saturação Na (%)	0,69	0,17	0,86	10,36
	Saturação H (%)	29,34	0,29	4,8	54,82
	Saturação Al (%)	0	0	0	8,85
	V% Saturação de Bases	70,66	99,7	95,19	41,18
Capacidade tampão	Fósforo Tampão	9,4	8,66	6,97	10,07
	Enxofre Tampão	5,63	5,19	4,18	6,03
	Zinco Tampão	1,28	1,23	1,1	1,33
Valores relativos	Fósforo Mehlich 1 (% Relativo)	55	23	245	99
	Enxofre SO4 (% Relativo)	580	919	2062	1692
	Zinco (% Relativo)	43	280	105	414

Fonte: Autoria própria (2025)

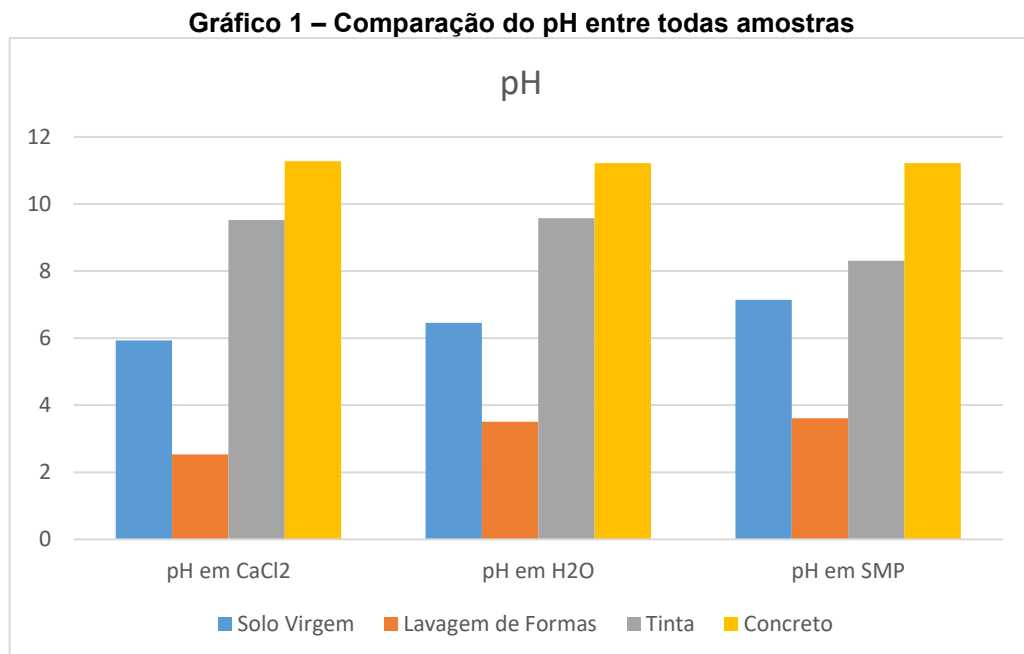
A Tabela 5 sintetiza os resultados das análises químicas realizadas nas quatro amostras de solo, evidenciando variações expressivas nos parâmetros em função do tipo de contaminação. A amostra contaminada por concreto apresentou os maiores valores de pH (acima de 11), indicando alcalinização extrema, acompanhada por elevados teores de cálcio (25,86 cmolc/dm³) e magnésio (8 cmolc/dm³), com V% de 99,7%. A contaminação por tintas e impermeabilizantes também elevou o pH (9,58), mas se destacou pelos altos teores de enxofre (86,21 mg/dm³), manganês (113,35 mg/dm³) e fósforo (17,07 mg/dm³ em Mehlich 1). Já o solo contaminado pela lavagem de formas metálicas apresentou o cenário mais crítico, com acidez extrema (pH 2,53 em CaCl₂), altíssima acidez potencial (29,41 cmolc/dm³), matéria orgânica acumulada (48,32%) e concentrações anômalas de ferro (822,24 mg/dm³) e manganês (356,35 mg/dm³). Em contraste, a amostra de solo virgem mostrou equilíbrio químico e ausência de anomalias significativas. Esses resultados reforçam o impacto

diferenciado de cada tipo de efluente sobre as propriedades do solo, apontando para riscos ambientais distintos e a necessidade de estratégias específicas de mitigação no setor da construção civil.

5.1.1 Reação do solo

5.1.1.1 pH

O gráfico 1 apresenta a comparação de pH entre as amostras de solo virgem, solo contaminado por concreto, tinta e pela lavagem de forma.



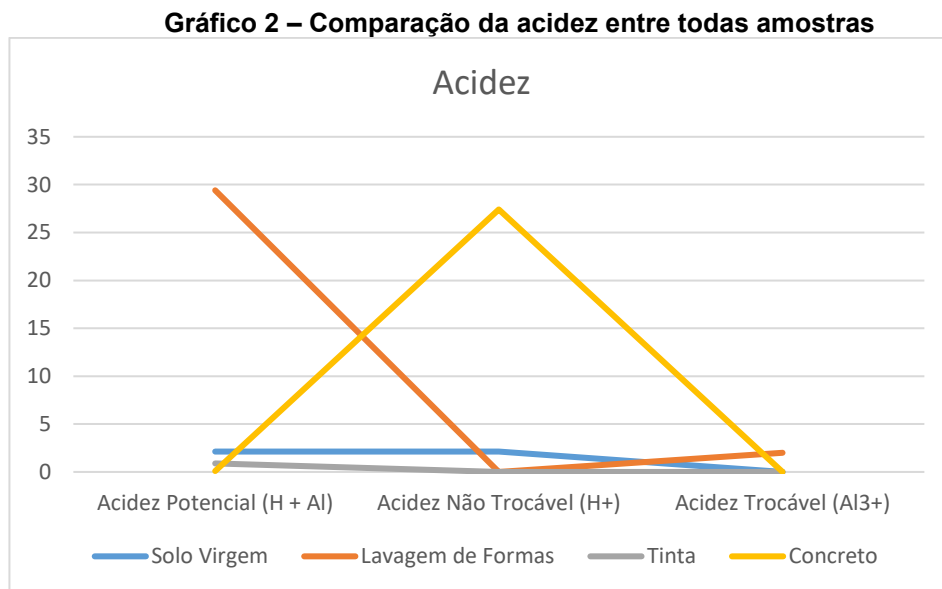
Fonte: Autoria própria (2025)

A comparação dos valores de pH entre as amostras evidencia alterações significativas nas condições de acidez e alcalinidade do solo em função do tipo de contaminação. O solo virgem apresentou pH levemente ácido (5,93 em CaCl₂ e 6,46 em H₂O), compatível com o comportamento natural da região e indicativo de um ambiente estável. Por outro lado, o solo contaminado pela lavagem de formas metálicas revelou pH extremamente ácido (2,53 em CaCl₂ e 3,51 em H₂O), sugerindo forte acidificação provocada por resíduos de produtos químicos utilizados na limpeza. Já a amostra contaminada por tinta apresentou pH fortemente alcalino (9,52 em CaCl₂ e 9,58 em H₂O), provavelmente devido à presença de compostos básicos nos

pigmentos e solventes. A contaminação por concreto foi ainda mais intensa, com pH superior a 11 (11,28 em CaCl_2 e 11,22 em H_2O), reflexo da lixiviação de hidróxidos e álcalis presentes na composição do cimento. Essas alterações extremas no pH comprometem diretamente a atividade microbiológica natural do solo, a solubilidade e mobilidade de metais e nutrientes, bem como a saúde geral da biota edáfica, caracterizando riscos ambientais relevantes (Klein, 2002).

5.1.1.2 Acidez

O gráfico 2 apresenta a comparação da acidez entre as amostras de solo virgem, solo contaminado por concreto, tinta e pela lavagem de forma.



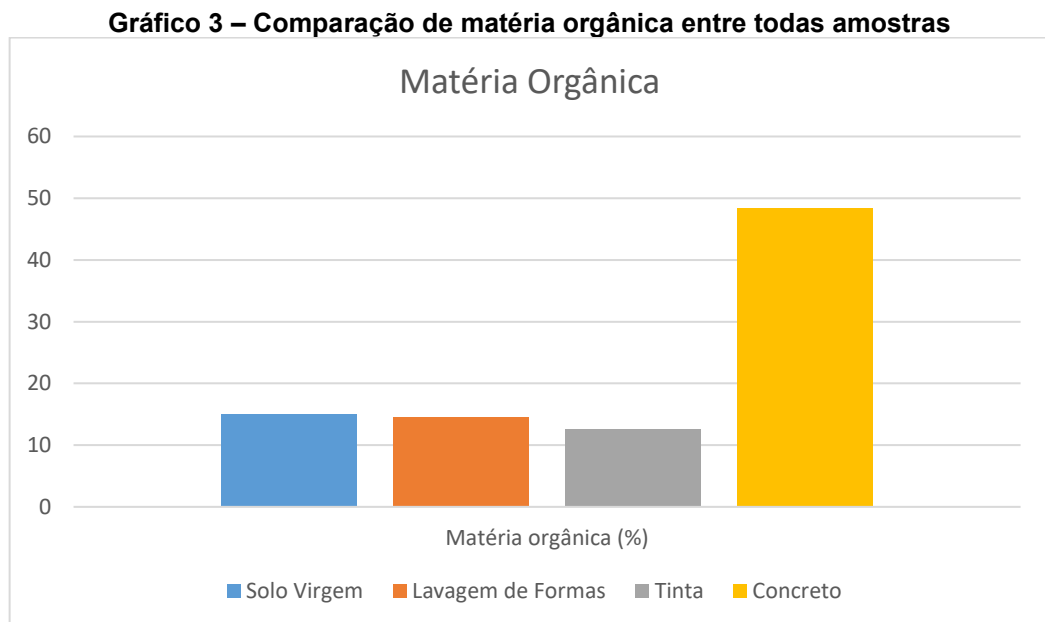
Fonte: Autoria própria (2025)

A avaliação da acidez e dos índices de saturação por bases nas amostras analisadas revela mudanças marcantes no equilíbrio químico do solo em decorrência da contaminação por diferentes efluentes. O solo virgem apresentou níveis compatíveis com condições naturais, com acidez potencial moderada e saturação equilibrada. Já o solo contaminado pela lavagem de formas apresentou altíssima acidez potencial ($29,41 \text{ cmolc/dm}^3$) e presença significativa de alumínio trocável ($\text{Al}^{3+} = 2,0 \text{ cmolc/dm}^3$), indicando risco elevado de toxicidade para raízes e organismos edáficos. Em contraste, os solos contaminados por tinta e concreto apresentaram acidez praticamente anulada em razão da alcalinização extrema, o que, embora reduza o alumínio tóxico, pode favorecer a solubilização de metais pesados e alterar

drasticamente a dinâmica de nutrientes. Esses resultados evidenciam que, tanto em ambientes ácidos quanto alcalinos, os efluentes analisados provocaram alterações severas no equilíbrio ácido-base do solo, comprometendo sua funcionalidade e aumentando o potencial de impacto ambiental.

5.1.2 Matéria orgânica (M.O)

O gráfico 3 apresenta a comparação de matéria orgânica entre as amostras de solo virgem, solo contaminado por concreto, tinta e pela lavagem de forma.



Fonte: Autoria própria (2025)

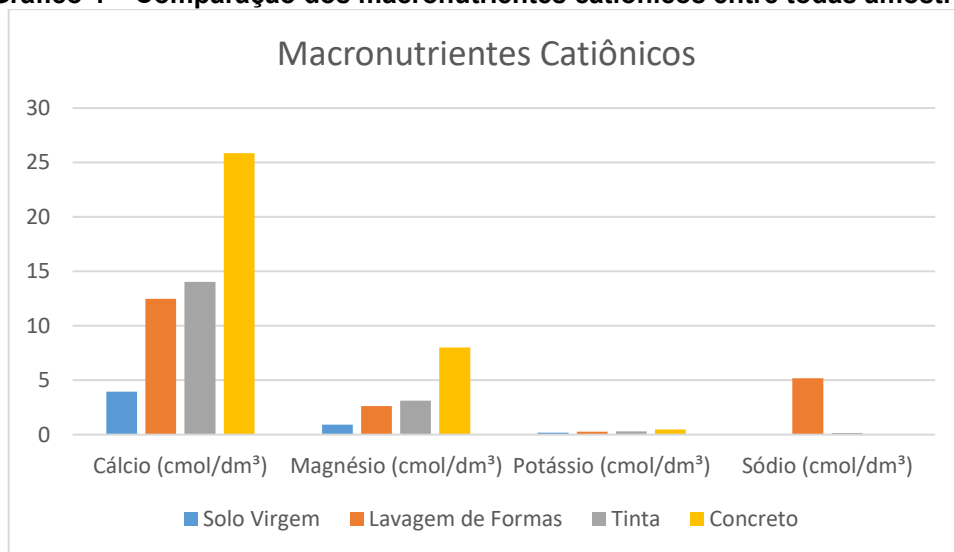
A amostra de solo contaminada pela lavagem de formas metálicas apresentou um teor de matéria orgânica anormalmente elevado (48,32%), valor muito acima do esperado para solos urbanos superficiais. Essa discrepância pode estar associada à interferência de compostos orgânicos sintéticos presentes nos efluentes, como detergentes, desmoldantes ou solventes, que alteram a leitura dos métodos analíticos baseados em oxidação de carbono. Nas demais amostras — solo virgem, concreto e tinta — os teores de matéria orgânica permaneceram dentro de faixas compatíveis com a realidade local, variando entre 12% e 15%. Do ponto de vista ambiental, a presença de carbono não-húmico, oriundo de fontes químicas artificiais, compromete

a qualidade do solo e pode interferir na dinâmica de adsorção de contaminantes, além de mascarar indicadores reais de fertilidade.

5.1.3 Macronutrientes catiônicos (Ca, Mg, K, Na, P e S)

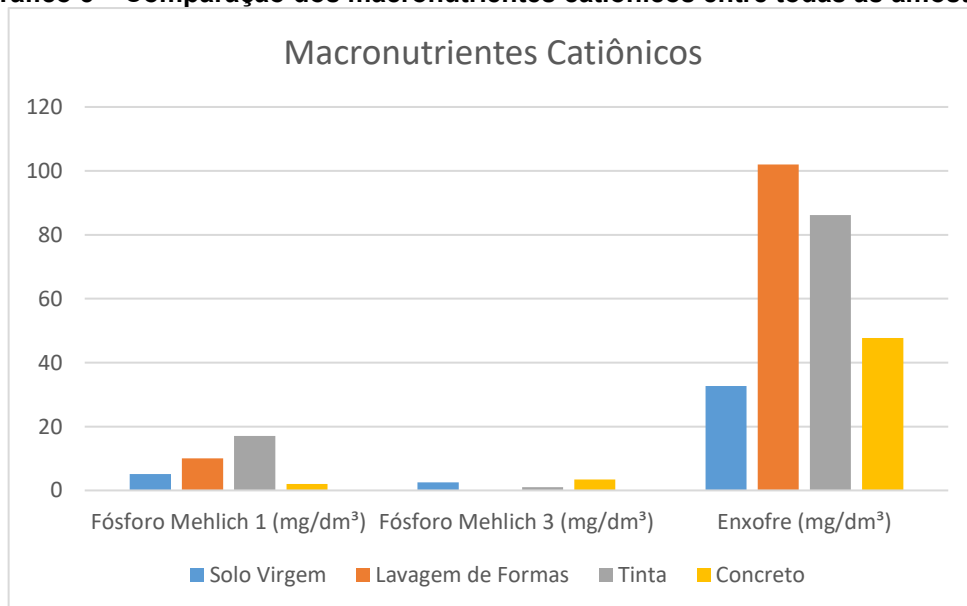
Os gráficos 4 e 5 apresentam a comparação dos macronutrientes catiônicos (Ca, Mg, K, Na, P e S) entre as amostras de solo virgem, solo contaminado por concreto, tinta e pela lavagem de forma.

Gráfico 4 – Comparação dos macronutrientes catiônicos entre todas amostras



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 5 – Comparação dos macronutrientes catiônicos entre todas as amostras

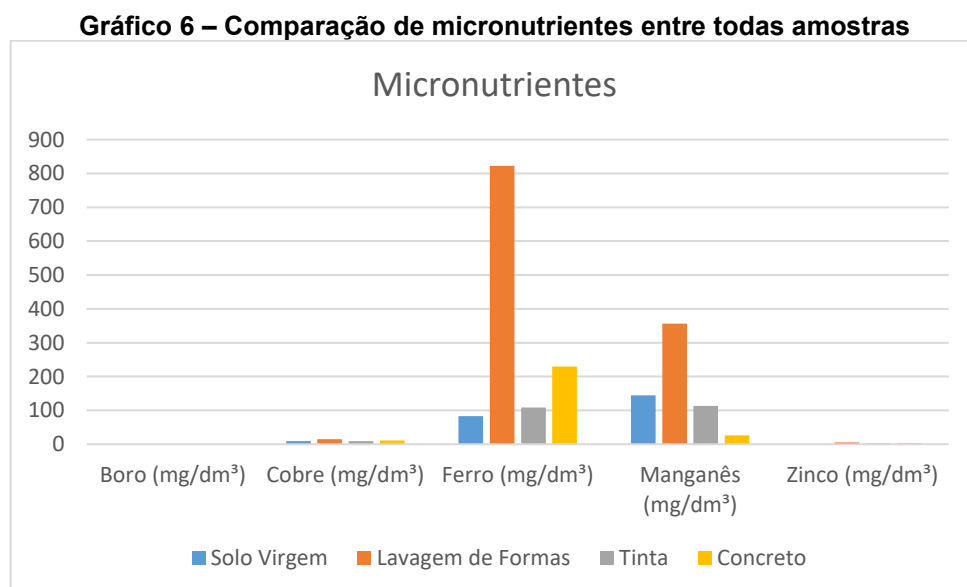


Fonte: Autoria própria (2025)

Os teores de cátions trocáveis também revelaram alterações importantes nas amostras contaminadas. O solo virgem apresentou valores equilibrados e compatíveis com um ambiente pouco alterado. Por outro lado, a amostra oriunda da lavagem de formas exibiu uma elevada concentração de sódio ($\text{Na}^+ = 5,18 \text{ cmolc/dm}^3$), indicando risco de sodificação do solo, o que pode comprometer a estrutura física, favorecer a dispersão de argilas e dificultar a percolação da água. Já os solos contaminados por tinta e concreto apresentaram teores muito elevados de cálcio ($\text{Ca}^{2+} = 14,05$ e $25,86 \text{ cmolc/dm}^3$, respectivamente), reflexo da lixiviação de compostos cimentícios, o que altera o equilíbrio iônico e pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes. Ambientalmente, a presença excessiva de sódio e cálcio está associada ao aumento da condutividade elétrica do solo, à mobilização de metais pesados e à degradação da estrutura física, agravando os riscos de contaminação e perda de qualidade do solo.

5.1.4 Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Z)

O gráfico 6 apresenta a comparação dos micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Z) entre as amostras de solo virgem, solo contaminado por concreto, tinta e pela lavagem de forma.



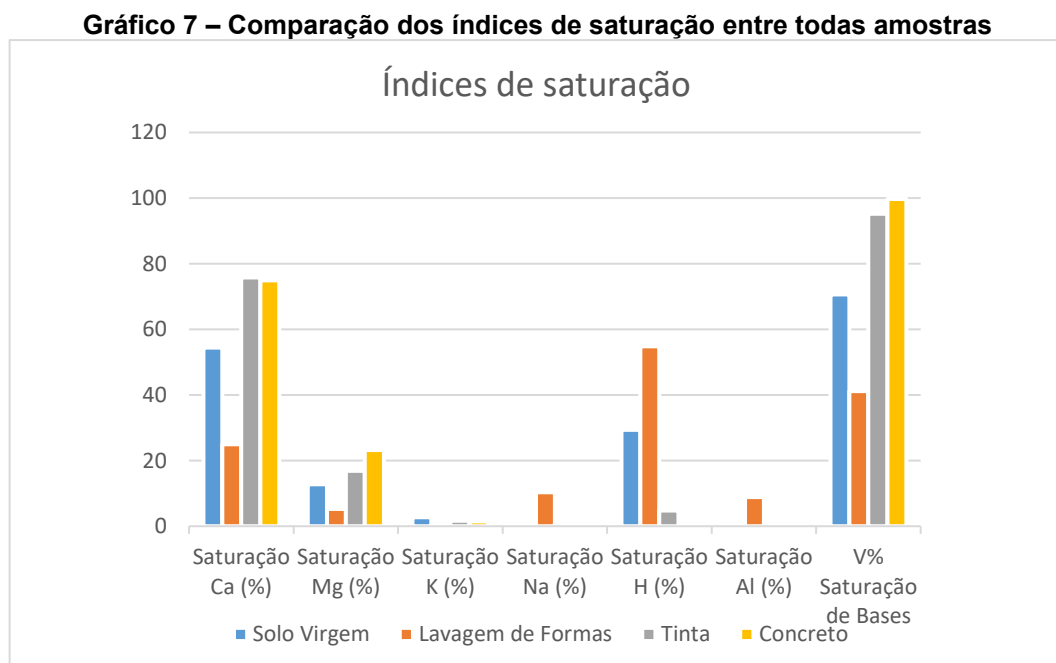
Fonte: Autoria própria (2025)

As concentrações de metais nas amostras contaminadas indicam níveis significativamente elevados, especialmente naquelas expostas ao efluente da

lavagem de formas metálicas. Os teores de ferro ($\text{Fe} = 822,24 \text{ mg/dm}^3$) e manganês ($\text{Mn} = 356,35 \text{ mg/dm}^3$) nessa amostra ultrapassam largamente os valores comumente encontrados em solos urbanos superficiais, configurando uma situação potencialmente tóxica. No solo contaminado por concreto, também se verificou acúmulo relevante de ferro ($229,94 \text{ mg/dm}^3$), sugerindo a mobilização de compostos metálicos presentes no cimento e em armaduras expostas. Esses valores indicam risco ambiental expressivo, com possibilidade de percolação desses metais para as águas subterrâneas, toxicidade direta à microbiota e à fauna edáfica, além de risco de bioacumulação em organismos do ecossistema. Tais alterações reforçam a importância de manejo adequado dos resíduos e efluentes em obras civis, conforme discutido por Klein (2002).

5.1.5 Índices de saturação

O gráfico 7 apresenta a comparação dos índices de saturação entre as amostras de solo virgem, solo contaminado por concreto, tinta e pela lavagem de forma.



Fonte: Autoria própria (2025)

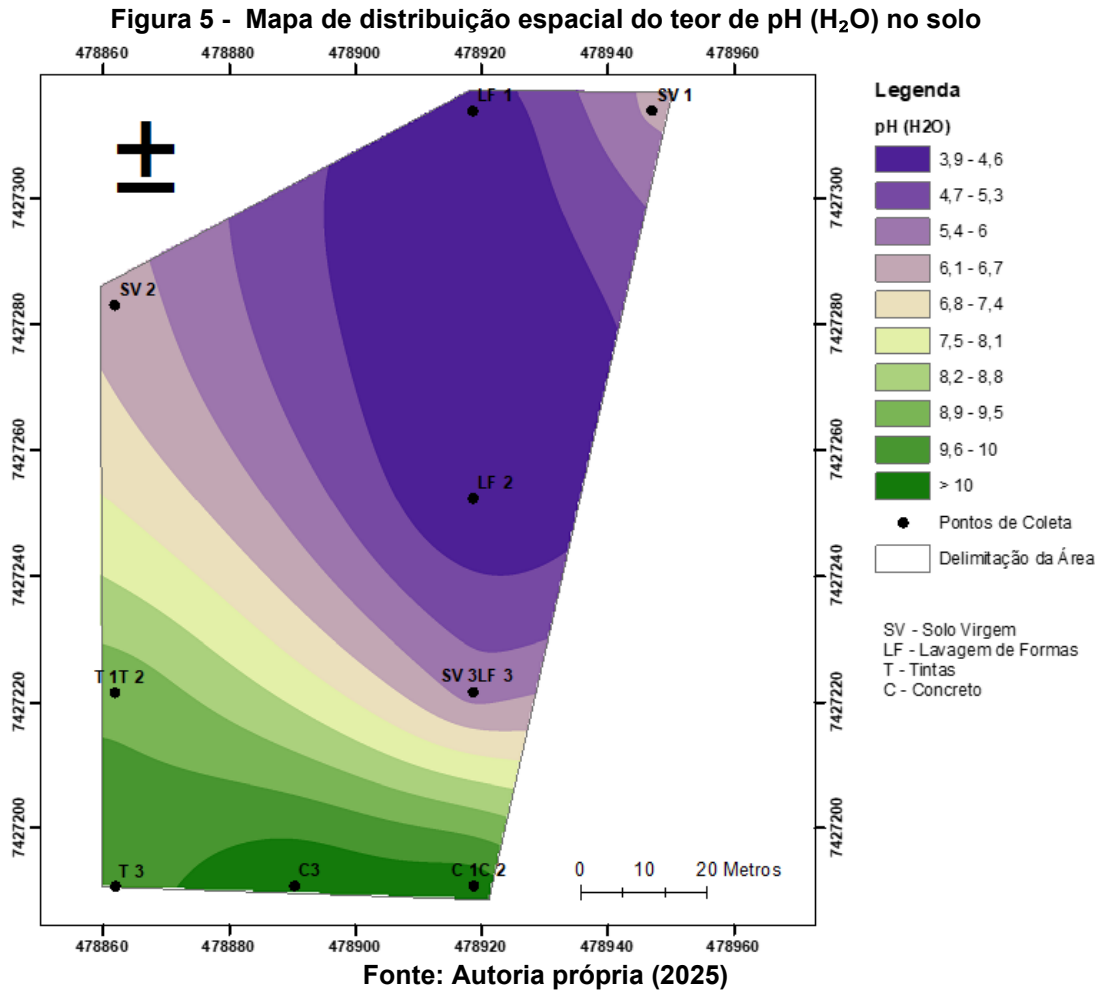
A análise dos índices de saturação por bases e por hidrogênio revelou contrastes importantes entre as amostras. O solo virgem apresentou um perfil relativamente equilibrado, com saturação por cálcio (Ca^{2+}) em 54,41% e por

hidrogênio (H^+) em 29,34%, valores compatíveis com condições naturais. Já o solo contaminado pela lavagem de formas metálicas apresentou a maior saturação por hidrogênio entre todas as amostras (54,82%), o que confirma a acidez extrema observada no pH e indica um ambiente desfavorável à biodiversidade edáfica. Nas amostras contaminadas por tinta e concreto, observou-se saturação altíssima por cálcio — 75,82% e 74,93%, respectivamente — refletindo o efeito da lixiviação de compostos cimentícios. Ambientalmente, a saturação por hidrogênio em altos níveis está diretamente associada a pH ácido, o que pode reduzir a diversidade microbiana, favorecer a mobilização de metais pesados e aumentar o risco de lixiviação de nutrientes, comprometendo a fertilidade do solo. Por outro lado, o excesso de cálcio em ambientes desequilibrados pode deslocar outros cátions do complexo de troca, interferir no balanço iônico, dificultar o crescimento vegetal e até contribuir para processos de salinização quando associado a outros sais dissolvido.

5.2 Mapa da distribuição espacial de teor de contaminantes no solo

5.2.1 pH (H_2O)

A figura 5 mostra a distribuição espacial do teor de pH no solo do canteiro da obra estudada.



Os valores de pH variam entre 3,9 e acima de 10, com destaque para contrastes marcantes entre os pontos de solo virgem e os contaminados por atividades específicas da obra.

- Solo Virgem (SV): localizados nas áreas com coloração roxa e violeta, indicam pH entre 4,6 e 6,4, caracterizando um solo de acidez natural moderada, típico de regiões com predominância de Latossolo Vermelho Distroférico.
- Lavagem de Formas (LF): destacam-se em tons mais escuros de roxo (3,9 a 5,4), indicando acidificação intensa do solo, sobretudo no ponto LF2. Isso está relacionado à presença de desincrustantes ácidos e desengraxantes, frequentemente utilizados na limpeza das formas metálicas, os quais alteram drasticamente o equilíbrio químico local.
- Tintas (T): representadas por tons intermediários entre lilás e verde, com valores de pH entre 7,4 e 8,5, caracterizando alcalinização leve a moderada, possivelmente decorrente dos solventes e aditivos presentes nas tintas.

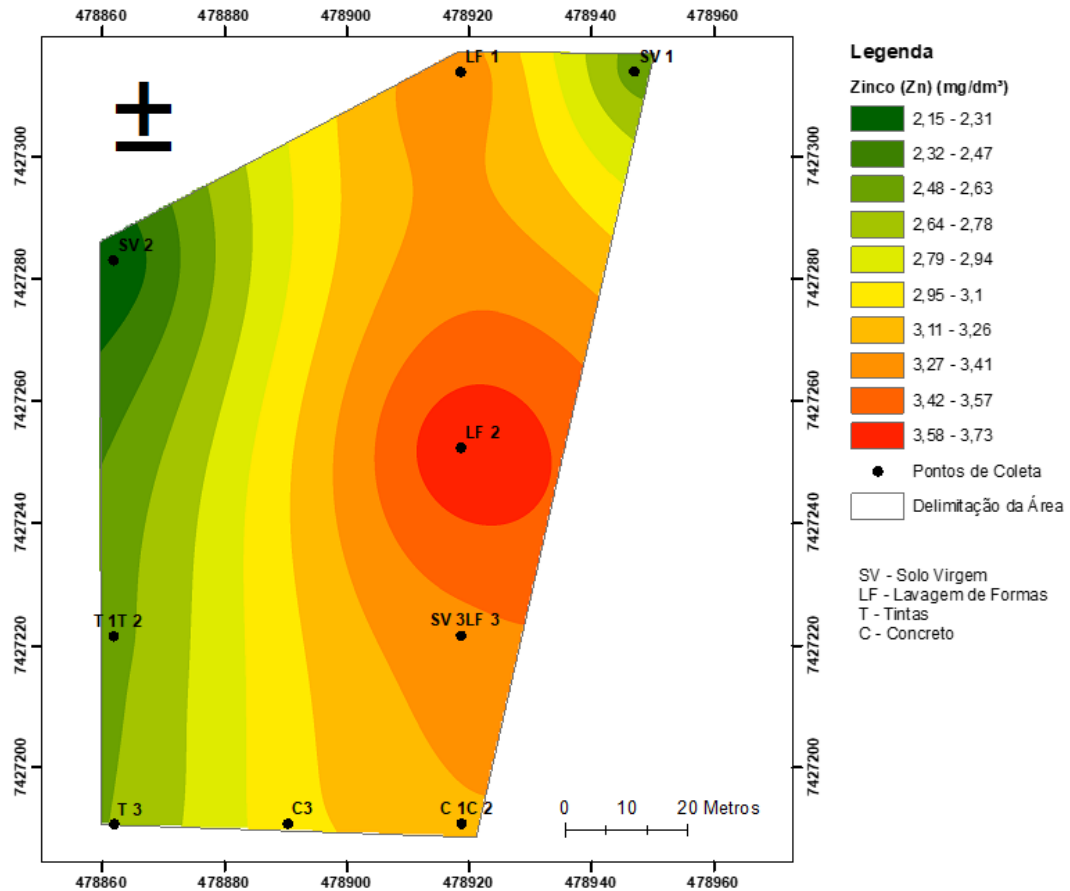
- Concreto (C): localizados nas regiões em tons verde-escuro a verde-claro, com pH superior a 9,8, indicando alcalinização severa. Essa elevação se deve à lixiviação de compostos como hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e outros álcalis presentes na matriz do concreto.

O ponto de menor pH foi verificado na região de lavagem de formas (LF2), com valores inferiores a 5, evidenciando acidificação crítica e o ponto de maior pH está associado ao setor de concreto (C1 e C2), com valores superiores a 10, revelando forte alcalinização. Essa variação extrema entre acidificação e alcalinização compromete seriamente a atividade microbiológica, a absorção de nutrientes pelas plantas, e pode causar mobilização de metais pesados, tornando-os mais biodisponíveis e, portanto, mais tóxicos.

5.2.2 Zinco (Zn)

A figura 6 mostra a distribuição espacial do teor de zinco (Zn) no solo do canteiro da obra estudada.

Figura 6 - Mapa de distribuição espacial do teor de zinco (Zn) no solo (em mg/dm³)



Fonte: Autoria própria (2025)

Os valores variam entre 2,15 e 3,73 mg/dm³, com maiores concentrações na região central da área, especialmente no ponto LF2 (lavagem de formas), evidenciado pela coloração em vermelho, que indica os maiores níveis de contaminação.

- Solo Virgem (SV): apresenta as menores concentrações de zinco, variando de 2,15 a 2,47 mg/dm³, conforme mostrado pelas faixas verdes e verde-amareladas, o que representa a condição de base natural do solo sem influência antrópica.
- Lavagem de Formas (LF): O ponto LF2 apresenta o pico de concentração de zinco da área, na faixa de 3,58 a 3,73 mg/dm³, indicando forte contaminação. Essa elevação pode ser associada à presença de resíduos de desmoldantes, graxas e compostos químicos utilizados na limpeza das formas metálicas, os quais frequentemente contêm traços de metais pesados, como o zinco.

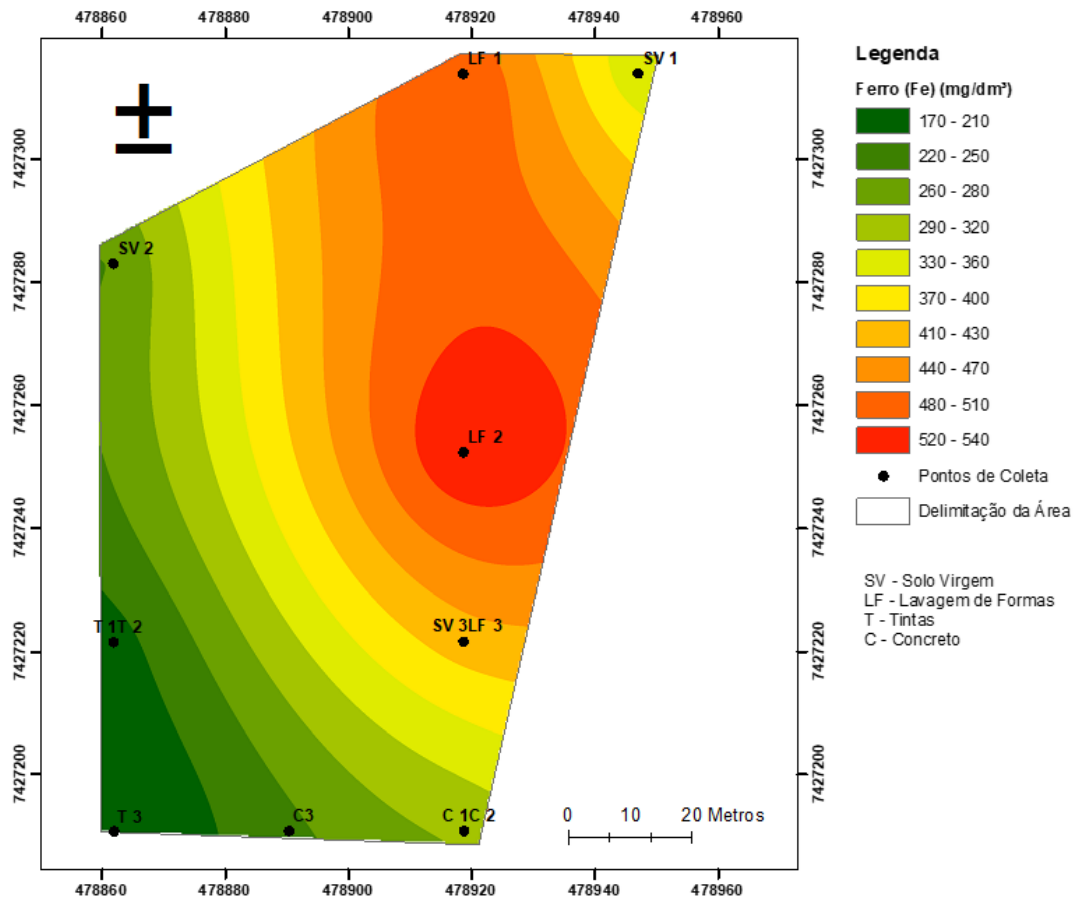
- Tintas (T): concentrações intermediárias, entre 2,48 e 3,11 mg/dm³, visíveis nas áreas amarelas, o que pode ser atribuído ao uso de pigmentos à base de zinco nas formulações de tintas e vernizes.
- Concreto (C): teores discretamente elevados em relação ao solo virgem, mas abaixo dos pontos de lavagem de forma e tinta, reforçando que o concreto, embora contribua, não é o principal responsável pelo aumento de zinco.

A visualização demonstra que o maior impacto na elevação dos níveis de zinco ocorreu no ponto LF2, com concentrações superiores a 3,7 mg/dm³ — um aumento expressivo quando comparado ao solo virgem (cuja média gira em torno de 2,3 mg/dm³). Esse aumento de aproximadamente 62% evidencia um possível risco ambiental, visto que, em concentrações elevadas, o zinco pode: inibir o crescimento radicular e a absorção de nutrientes; interferir no metabolismo microbiano do solo e contaminar águas subterrâneas por lixiviação.

5.2.3 Ferro (Fe)

A figura 7 mostra a distribuição espacial do teor de ferro (Fe) no solo do canteiro da obra estudada.

Figura 7 - Mapa de distribuição espacial do teor de ferro (Fe) no solo (em mg/dm³)



Fonte: Autoria própria (2025)

Os valores de ferro variam entre 170 mg/dm³ e mais de 540 mg/dm³, demonstrando um aumento expressivo na região central da área analisada, especialmente no ponto LF2, associado à lavagem de formas metálicas. A variação ocorre do verde escuro (níveis mais baixos) ao vermelho intenso (níveis críticos).

- Solo Virgem (SV): teores mais baixos, na faixa de 170 a 250 mg/dm³, representando a condição natural do solo, visualmente expressa pelas faixas verdes.
- Lavagem de Formas (LF): LF2 é o ponto mais crítico da área, com concentrações acima de 520 mg/dm³, localizado em zona de vermelho intenso, indicando contaminação severa por ferro. Isso sugere que os produtos químicos utilizados na limpeza das formas metálicas (desincrustantes e desengraxantes) promoveram a liberação de íons metálicos, aumentando significativamente a concentração de ferro no solo.

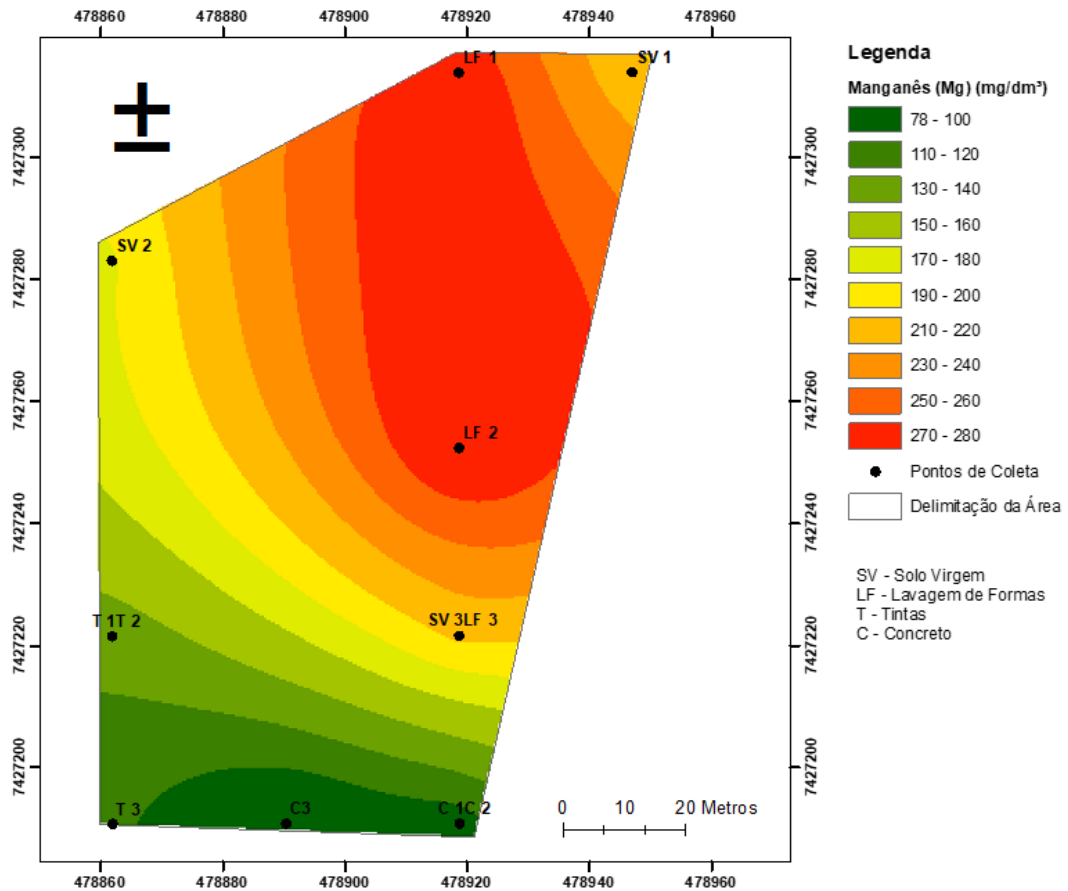
- Tintas (T): teores moderados, entre 220 e 280 mg/dm³, em áreas verde-amareladas, também indicando potencial contribuição de pigmentos metálicos presentes nas tintas para o aumento do teor de ferro.
- Concreto (C): níveis levemente elevados, entre 210 e 250 mg/dm³, mas inferiores aos demais pontos contaminados; influência relativamente baixa, mas ainda perceptível.

O gráfico comprova que a lavagem de formas metálicas foi a atividade que causou o maior aumento nos teores de ferro, atingindo níveis superiores a 540 mg/dm³, ou seja, cerca de 6 vezes mais que o valor do solo virgem (82,85 mg/dm³) registrado nas análises laboratoriais. Esse acúmulo de ferro no solo pode acarretar consequências ambientais relevantes, como: toxicidade para a biota do solo; risco de contaminação das águas subterrâneas e alterações na dinâmica de nutrientes e na fertilidade do solo.

5.2.4 Mangânes (Mn)

A figura 8 mostra a distribuição espacial do teor de mangânes (Mn) no solo do canteiro da obra estudada.

Figura 8 - Mapa de distribuição espacial do teor de manganês (Mn) no solo (em mg/dm³)



Fonte: Autoria própria (2025)

O teor de manganês varia na área entre 78 mg/dm³ e mais de 280 mg/dm³, com gradiente crescente do sul para o norte da área amostrada. Observa-se uma intensa elevação dos níveis de Mn nas regiões centrais e superiores, principalmente nos pontos impactados por lavagem de formas.

- Solo Virgem (SV): apresentam os menores teores de Mn, entre 78 e 140 mg/dm³, distribuídos em faixas verde-escura a verde-clara, condizentes com um solo natural.
- Lavagem de Formas (LF): pontos localizados em zonas de maior concentração, com LF2 ultrapassando 280 mg/dm³, evidenciado pelas faixas vermelhas intensas. Essa é a área mais crítica, indicando que a lavagem de formas metálicas com produtos desincrustantes e ácidos está fortemente associada ao aumento expressivo de manganês no solo. Provavelmente, os resíduos contêm óxidos metálicos ou estão facilitando a liberação e mobilização de Mn naturalmente presente no solo.

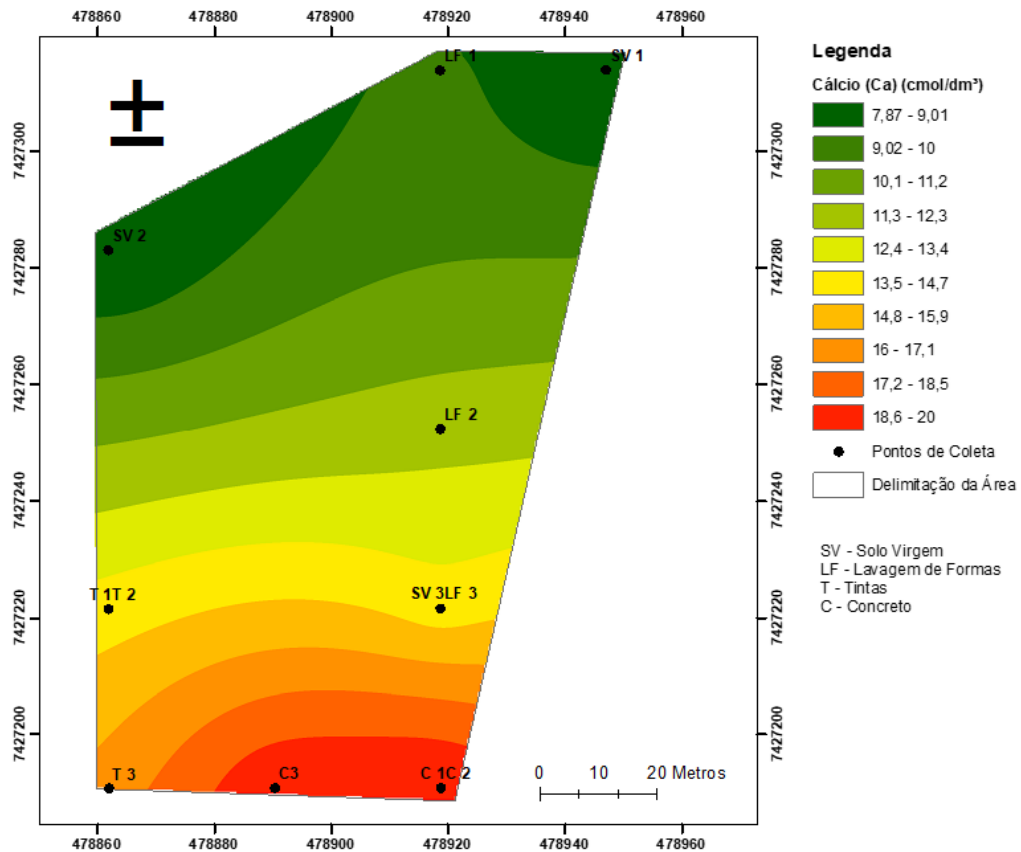
- Tintas (T): apresentam valores intermediários (entre 120 e 160 mg/dm³), com predominância de faixas amarelas a verde-amareladas, sugerindo contaminação moderada. A presença de pigmentos metálicos em tintas pode justificar esse aumento.
- Concreto (C): apresentam teores levemente elevados (entre 100 e 140 mg/dm³), porém menores que os pontos associados à lavagem de formas, localizados nas faixas verdes claras. O concreto não parece ser a principal fonte de manganês, embora contribua para alguma alteração.

O gráfico demonstra que o maior impacto sobre o teor de manganês no solo foi causado pela lavagem de formas metálicas, especialmente no ponto LF2. Esse excesso pode acarretar toxicidade ao solo, interferir na atividade microbiana, mobilização de metais pesados e potencial contaminação de águas subterrâneas.

5.2.5 Cálcio (Ca)

A figura 9 mostra a distribuição espacial do teor de cálcio (Ca) no solo do canteiro da obra estudada.

Figura 9 - Mapa de distribuição espacial do teor de cálcio (Ca^{2+}) no solo (em cmol/dm^3)



Fonte: Autoria própria (2025)

A área representada mostra um gradiente crescente de cálcio no solo do norte para o sul da área amostrada, com os maiores teores localizados nos pontos contaminados por resíduos de concreto e os menores em áreas de solo virgem.

- Solo Virgem (SV): pontos SV1, SV2 e SV3 estão associados às menores concentrações de cálcio, variando entre 7,87 e 10,0 cmol/dm^3 (faixas verde-escuras e médias), esses valores são compatíveis com solos naturais não impactados, o que valida seu uso como referência.
- Lavagem de Formas (LF): pontos LF2 e LF3 situam-se em áreas de concentração intermediária de cálcio (13,4 a 15,8 cmol/dm^3 , faixas amarelas e laranja-claro), embora significativa, apresenta impacto moderado sobre os níveis de cálcio, provavelmente devido ao uso de produtos químicos com menor concentração de íons cálcio.
- Tintas (T): pontos T1, T2 e T3 mostram teores que aumentam progressivamente de norte para sul, T1 e T2 → faixas amareladas (13,4 a 14,7 cmol/dm^3) e T3 → transição para faixa laranja (15,9 a 17,1 cmol/dm^3). Isso sugere que a lavagem de pincéis e materiais pode contribuir para elevação

moderada a significativa do cálcio, dependendo da concentração e da frequência.

- Concreto (C): pontos C1, C2 e C3 apresentam os maiores níveis de cálcio do mapa, localizados nas faixas vermelha e laranja-escura (17,2 a 20 cmol/dm^3). Essa elevação acentuada confirma que o concreto, rico em hidróxidos e carbonatos de cálcio, é o principal responsável pela alcalinização e sobrecarga de Ca^{2+} no solo.

De maneira geral, o solo virgem apresentou condições químicas compatíveis com ambientes naturais, servindo como referência de qualidade. Já os solos impactados mostraram alterações expressivas, com destaque para a drástica mudança no pH, que compromete processos biogeoquímicos fundamentais. Houve também aumento da CTC e saturação por cátions indesejáveis, como o cálcio em excesso (tinta e concreto) e o sódio (lavagem de formas). A presença elevada de metais, especialmente ferro e manganês, indica risco de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas, além de toxicidade para a biota do solo.

Segundo a ABNT NBR 15.515-2 (2011), solos com concentrações químicas fora dos padrões ou com restrições de uso devem ser considerados contaminados. A Resolução CONAMA nº 420/2009 reforça que alterações como pH extremo, salinidade elevada e presença de contaminantes caracterizam áreas potencialmente contaminadas, sujeitas a investigação e remediação. Assim, os resultados obtidos demonstram que o descarte inadequado de resíduos da construção civil pode configurar infração ambiental e gerar responsabilização civil.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise aprofundada dos principais aspectos e impactos ambientais ao solo decorrentes da contaminação de obras de paredes de concreto armado moldadas in loco, com ênfase na identificação e quantificação dos principais contaminantes.

Por meio da coleta e análise criteriosa das amostras de solo, foi possível constatar a presença significativa de agentes contaminantes, cuja atuação se refletiu especialmente na alteração dos níveis de pH. Os resultados indicaram variações expressivas quando comparados ao solo de referência (pH 6,46), evidenciando uma redução de 45,66% (pH 3,51) nos pontos expostos ao efluente proveniente da lavagem de fôrmas metálicas e nas áreas afetadas por efluentes de tintas e concreto, variação ainda mais acentuadas, com aumento de 48,29% (pH 9,58) e 73,69% (pH 11,22), respectivamente. Além disso, observou-se um aumento significativo no teor de matéria orgânica, que passou de 14,94% no solo virgem para 48,32% nos pontos contaminados com efluentes da lavagem de fôrmas.

Quanto aos elementos químicos presentes no solo, destacou-se o acentuado aumento de micronutrientes como o ferro, que passou de 82,85 mg/dm³ para 822,24 mg/dm³ (aumento de aproximadamente 892,2%), e o manganês, que subiu de 144,79 mg/dm³ para 356,35 mg/dm³ (crescimento de cerca de 146,1%), aumentos provenientes do efluente de lavagem de forma. Embora essenciais em pequenas quantidades, tais micronutrientes, quando presentes em concentrações elevadas, podem se tornar tóxicos, prejudicando o equilíbrio biológico do solo e afetando negativamente o desenvolvimento vegetal. No grupo dos macronutrientes, o enxofre apresentou destaque, com um salto de 32,65 mg/dm³ no solo virgem para 102,02 mg/dm³ nas amostras contaminadas, resultado diretamente associado à lavagem das formas metálicas.

Concluimos que de todas as análises realizadas, constatou-se que o solo contaminado pelos efluentes provenientes da lavagem de fôrmas foi o que apresentou as alterações mais significativas nos parâmetros avaliados, evidenciando potencial poluente.

Tais alterações confirmam os impactos adversos que determinadas práticas da construção civil podem causar ao meio ambiente, reforçando a necessidade de implementação de medidas mitigadoras. Dentre as ações que podem ser adotadas, destaca-se o tratamento físico dos efluentes gerados e a destinação correta, sendo

uma das possíveis soluções a mobilização de uma estrutura de decantadores equipada com filtros conectados ao sistema de esgoto. Essa medida visa possibilitar o pré-tratamento dos efluentes gerados durante as etapas construtivas, promovendo a retenção de partículas sólidas e a redução da concentração de poluentes antes de seu encaminhamento ao sistema de tratamento adequado, contribuindo significativamente para a preservação da qualidade do solo e da água no entorno do empreendimento.

Destacamos assim a importância da adoção de boas práticas ambientais e técnicas construtivas que minimizem o impacto ambiental das atividades de construção civil, em especial no que tange ao manejo correto dos resíduos e efluentes para à prevenção da contaminação do solo e das águas subterrâneas. A conformidade com as normas ambientais, tais como a Resolução CONAMA nº 420/2009 e demais legislações correlatas, as quais são imprescindíveis para garantir a sustentabilidade dos empreendimentos e a proteção dos recursos naturais.

Por fim, o estudo contribui para a ampliação do conhecimento técnico e científico sobre os impactos ambientais causados pela construção de paredes de concreto armado, fornecendo subsídios para a elaboração de políticas públicas, procedimentos operacionais padrão e ações de controle ambiental mais eficazes. Recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem a avaliação do impacto a longo prazo dessas contaminações e explorem tecnologias inovadoras para a recuperação de solos afetados em áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

ABRECON. **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduo da Construção Civil e Demolição**. Pesquisa Setorial ABRECON 2020, 2020. Disponível em: <https://abrecon.org.br/documentos-e-informa/pesquisa-setorial-abrecon-2020>. Acesso em 28 jan. 2024.

AGOPYAN, V., JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2011. *E-book*. p.1.

ALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo. Oficina de Textos, 2009.

ALVES, C. E. T.; QUELHAS, O. L. G. **A ecoeficiência e o ecodesign na indústria da construção civil: uma abordagem à prática do desenvolvimento sustentável na gestão de resíduos com uma visão de negócios**. Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco, 2004. 10p.

ALLISON, L.E.; BOLLEN, W.B. & MOODI E, C.D. **Total carbon**. In: **BLACK, C.A. et al., ed. Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 2, p. 1346-1366

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15515-2: Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2: Investigação confirmatória**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implementação e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14725-4: Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 1: Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14725-4: Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 2: Sistema de classificação de perigo.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14725-4: Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ).** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12284: Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Áreas de vivência em canteiros de obras.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

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 sólidos 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5732: Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, p.2, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, p.26-29, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212: Execução de concreto dosado em central - Procedimento.** Rio de Janeiro, p.4, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento.** Rio de Janeiro, p.1-12, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7483: Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido — Especificação.** Rio de Janeiro, p.3-5, 2021.

BORGES, J. F. B. (2013). **Gestão de projetos na construção civil.** Revista Especialize On-line IPOG -Goiânia, 1(5), 1–16.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo.** Tese (Doutorado em Engenharia) — Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, USP, São Paulo, 1997.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 7 jan. 2025.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, 02 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. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: Casa Civil, 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acr.pdf>.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**. Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Alterada pela Resolução nº 469/2015 (altera o inciso II do art. 3º e inclui os § 1º e 2º do art. 3º). Alterada pela Resolução nº 448/12 (altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 e revoga os artigos 7º, 12 e 13). Alterada pela Resolução nº 431/11 (alterados os incisos II e III do art. 3º). Alterada pela Resolução nº 348/04 (alterado o inciso IV do art. 3º); Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305.

BRASIL. **Resolução nº 448, de 13 de maio de 2011**. Publicada no DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA_n.430.2011.pdf

BRASIL. **Resolução nº 430, de 18 de janeiro de 2012.** Publicada no DOU Nº 14, quinta-feira, 19 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em:

https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=652.

BRITO, P. G. M. **Estudo sobre a reutilização de água de lavagem interna de caminhão betoneira na produção de concreto.** Brazilian Journal of Development. Curitiba, v.6, n.9, p.71255-71269, 2009.

CAMARGO, O. A, *et al.* **Adsorção e dessorção competitivas de Cd, Cu, Ni, Pb e Zn em amostras de um Latossolo vermelho amarelo distroférico até 5m de profundidade.** Pesquisa para Instituto Agrônômico, Embrapa Meio Ambiente e IAC/Unicamp, 2005.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC de Campinas.** Instituto Agrônômico. Campinas, 2009.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. **Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6: 83-88, 1982.

CARVALHO, A.P. PEREIRA, P.P.; FERREIRA, M.E. & PESSOA DA CRUZ, M.C., eds. **Solos altamente susceptíveis à erosão.** Jaboticabal, UNESP/SBCS, 1994. p.39-49

CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.** São Paulo, 2001.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações em colunas de lixiviação.** Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2014.

CUNHA, Alessandra M., *et al.* **Construção Civil**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. E-book. p.10.

CUSTÓDIO, B. P. **Otimização do Sistema de tratamento de efluentes. Estudo de caso: indústria de tintas a base de água**. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, 2014.

DONADIO, P. A., ABRAFATI. **Manual básico sobre tintas. Água química**, 2011.

DUARTE, M. R.; BUENO, M. S. G., **Fundamentos ecológicos aplicados à RAD para matas ciliares do interior paulista**. Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista, Guaratinguetá, SP, 2006.

FAZENDA, Dilson. **Desafios e oportunidades para a indústria de tintas no Brasil**. 2012.

IRIANY, A.; NGABU, W.; ARIYANTO, D.; PRAMOEDYO, H. **Kriging prediction and simulation model: analysis of surface soil particle size distribution**. **Mathematical Modelling of Engineering Problems**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 1169–1180, 2025. DOI: 10.18280/mmep.120408. Acesso em: 16 jun. 2025.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

JORGE, J.A. **Eficácia de métodos de oxidação de matéria orgânica do solo para análise granulométrica**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4: 118-121, 1980.

KLEIN, S. **Diretrizes de gestão ambiental na indústria da construção civil**. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, jun. 2002

LARUCCIA, M. M. **SUSTENTABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. ENIAC Pesquisa, Guarulhos (SP), p. 69-84, v. 3, n. 1, jan.-jun. 2014.

LEITE, J. C. P. S; NETO, M. T. R. **MEIO AMBIENTE E OS EMBATES DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Belo Horizonte, v. 6, n. 2, Jul/Dez. 2014.

MEHLICH, A. **Determination of cation and anion exchange properties of soils**. *Soil Science*, 66: 429-445, 1948.

PAIVA NETO, J.E. de; CATANI, R.A.; QUEIROZ, M.S. & KÜPPER, A. **Contribuição ao estudo dos métodos analíticos e de extração para caracterização química dos solos do Estado de São Paulo**. Revista de Agricultura, Piracicaba, 21: 417-458, 1946.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G. K.; TEIXEIRA, A. F. W. G. **MANUAL DE METODOS DE ANALISE DE SOLO – 3º EDIÇÃO**. EMBRAPA, 2017.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 285p. 2001

RANDI, T. H. **Comparativo entre a alvenaria estrutural e sistema construtivo em concreto armado**. Graduação em Instituição Anhanguera. Bauru, 2020.

ROTH, C. G; GARCIAS. C. M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental** Desenvolvimento em Questão, vol. 7, núm. 13, 2009. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

SANTOS, M. V, *et al.* **A UTILIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DO TIPO RADIER**. 2016. Dissertação para Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia, Sergipe, 2015.

SANTOS, H. G. dos, *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, 2018.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2009.

SPADOTTO, A, *et al.* **Impactos ambientais causados pela construção civil.**

Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 173-180, jul./dez. 2011.

VAGELER, P. **Die Kationen-und wasserhaus halt der mineralboden.** Berlin, Julius Springer, 1932. 336 p.

WALKLEY, A. & BLACK, J.A. **An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method.** Soil Science, 37: 29-38, 1934

YAMANAKA, Hélio Tadashi, *et al.* **Guia técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Séria P+L.** 2008.

ANEXOS

SOLICITANTE **SABRINA REGINA MENDES**

DATA COLETA ***

PROPRIETÁRIO **SABRINA**DATA ENTRADA **20/05/2025**

PROPRIEDADE ***

DATA SAÍDA **29/05/2025**

TALHÃO ***

PROFUNDIDADE ***

CÓD.LAB. **109845/744192**MUNICÍPIO/UF **NÃO INFORMADO-NÃO INFORMADO**ID AMOSTRA **SOLO VIRGEM 1 (BASE)**
PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

DETERMINAÇÃO	cmol _c /dm ³	DETERMINAÇÃO	TEOR
CTC (pH 7,0)	7,26	Matéria Orgânica (M.O.S)	g/dm ³
CTC (efetiva)	5,13		14,94
CTC (determinada)	***		mg/L
		Fósforo Remanescente (P-Rem.)	13,77

REAÇÃO DO SOLO

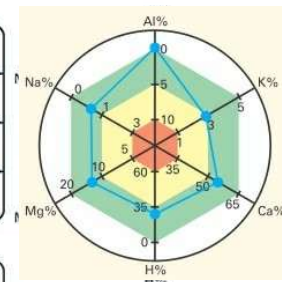
DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	DETERMINAÇÃO	cmol _c /dm ³
pH em CaCl ₂	5,93	Acidez Potencial (H + Al)	2,13
pH em H ₂ O	6,46	Acidez Não Trocável (H ⁺)	2,13
pH em SMP	7,14	Acidez Trocável (Al ³⁺)	N.D.

MACRONUTRIENTES CATIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	cmol _c /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio (Ca ²⁺)	3,95			
Magnésio (Mg ²⁺)	0,93			
Potássio (K ⁺)	0,20			
Sódio (Na ⁺)	0,05			

ÍNDICES DE SATURAÇÃO
LEGENDA

Ca%	54,41
Mg%	12,81
K%	2,75
Na%	0,69
H%	29,34
Al%	0,00
V%	70,66



	EQUILIBRADO
	LIMITE DE TOLERÂNCIA
	DESEQUILÍBRIO
	EXCESSIVO

MACRONUTRIENTES ANIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	5,17			
Fósforo Mehlich 3	2,51			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	32,65			

RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DA SATURAÇÃO

Bases Trocáveis	MÍNIMO cmol _c /dm ³	MÁXIMO cmol _c /dm ³
Cálcio (Ca ²⁺)	0,00	0,77
Magnésio (Mg ²⁺)	0,00	0,52
Potássio (K ⁺)	0,02	0,16

MICRONUTRIENTES
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Boro (B)	0,72			
Cobre (Cu ²⁺)	9,23			
Ferro (Fe ²⁺)	82,85			
Manganês (Mn ²⁺)	144,79			
Zinco (Zn ²⁺)	0,55			

CAPACIDADE TAMPÃO - NÍVEL CRÍTICO

mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
9,40	5,63	1,28
Fósforo	Enxofre	Zinco

VALORES RELATIVOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

PARÂMETRO	%	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	55			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	580			
Zinco (Zn ²⁺)	43			

N.D. NÃO DETECTADO. *** ENSAIO NÃO SOLICITADO.RG, 096 REV 04


Alessandre Durães
Gerente TécnicoJuliane Araújo
Gerente da QualidadeCarlos Eduardo de C. Almeida
Eng.º Agrônomo | CREA-PR 127660/D

LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO: QUÍMICA DE SOLO

DETERMINAÇÃO	REFERÊNCIA	L.Q.
Alumínio Cloreto de Amônio por Espectrofotometria	IAC 2001	0,011 cmol _c /dm ³
Cálcio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,12 cmol _c /dm ³
Enxofre Fosfato de Cálcio por Espectrofotometria	IAC 2001	2,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich I por Espectrofotometria	Embrapa 2009	1,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,5 mg/dm ³
Fósforo Remanescente Cloreto de Cálcio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,8 mg/L
Magnésio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,08 cmol _c /dm ³
Matéria Orgânica Dicromato de Sódio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,52 g/dm ³
pH Cloreto de Cálcio por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
pH SMP por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
Potássio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,02 cmol _c /dm ³
Sódio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,004 cmol _c /dm ³

L.Q = Limite de Quantificação

RG. 096 REV. 04

Obs. Este relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto na íntegra.

SOLICITANTE **SABRINA REGINA MENDES**

DATA COLETA ***

PROPRIETÁRIO **SABRINA**DATA ENTRADA **20/05/2025**

PROPRIEDADE ***

DATA SAÍDA **30/05/2025**

TALHÃO ***

PROFUNDIDADE ***





CÓD.LAB. **109845/744191**MUNICÍPIO/UF **NÃO INFORMADO-NÃO INFORMADO**ID AMOSTRA **SOLO CONTAMINADO COM TINTA 2**
PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

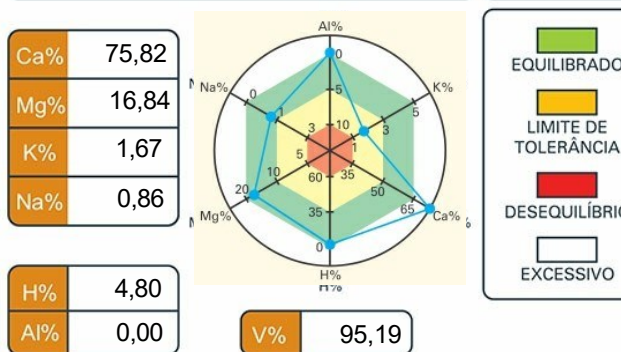
DETERMINAÇÃO	cmol _e /dm ³	DETERMINAÇÃO	TEOR
CTC (pH 7,0)	18,53	Matéria Orgânica (M.O.S)	g/dm ³
CTC (efetiva)	17,64		12,52
CTC (determinada)	***		mg/L
		Fósforo Remanescente (P-Rem.)	




REAÇÃO DO SOLO

DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	DETERMINAÇÃO	cmol _e /dm ³
pH em CaCl ₂	9,52	Acidez Potencial (H + Al)	0,89
pH em H ₂ O	9,58	Acidez Não Trocável (H ⁺)	0,89
pH em SMP	8,31	Acidez Trocável (Al ³⁺)	N.D.

MACRONUTRIENTES CATIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	cmol _e /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio (Ca ²⁺)	14,05			
Magnésio (Mg ²⁺)	3,12			
Potássio (K ⁺)	0,31			
Sódio (Na ⁺)	0,16			






ÍNDICES DE SATURAÇÃO
LEGENDA

MACRONUTRIENTES ANIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	17,07			
Fósforo Mehlich 3	1,02			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	86,21			

RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DA SATURAÇÃO

Bases Trocáveis	MÍNIMO cmol _e /dm ³	MÁXIMO cmol _e /dm ³
Cálcio (Ca ²⁺)	0,00	0,00
Magnésio (Mg ²⁺)	0,00	0,59
Potássio (K ⁺)	0,25	0,62




MICRONUTRIENTES
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Boro (B)	0,17			
Cobre (Cu ²⁺)	9,60			
Ferro (Fe ²⁺)	108,71			
Manganês (Mn ²⁺)	113,35			
Zinco (Zn ²⁺)	1,15			

CAPACIDADE TAMPÃO - NÍVEL CRÍTICO

mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
6,97	4,18	1,10
Fósforo	Enxofre	Zinco

VALORES RELATIVOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

PARÂMETRO	%	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	245			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	2.062			
Zinco (Zn ²⁺)	105			

N.D. NÃO DETECTADO. *** ENSAIO NÃO SOLICITADO.RG, 096 REV 04


Alessandre Durães
Gerente TécnicoJuliane Araújo
Gerente da QualidadeCarlos Eduardo de C. Almeida
Eng.º Agrônomo | CREA-PR 127660/D

LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO: QUÍMICA DE SOLO

DETERMINAÇÃO	REFERÊNCIA	L.Q.
Alumínio Cloreto de Amônio por Espectrofotometria	IAC 2001	0,011 cmol _c /dm ³
Cálcio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,12 cmol _c /dm ³
Enxofre Fosfato de Cálcio por Espectrofotometria	IAC 2001	2,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich I por Espectrofotometria	Embrapa 2009	1,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,5 mg/dm ³
Fósforo Remanescente Cloreto de Cálcio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,8 mg/L
Magnésio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,08 cmol _c /dm ³
Matéria Orgânica Dicromato de Sódio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,52 g/dm ³
pH Cloreto de Cálcio por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
pH SMP por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
Potássio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,02 cmol _c /dm ³
Sódio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,004 cmol _c /dm ³

L.Q = Limite de Quantificação

RG. 096 REV. 04

Obs. Este relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto na íntegra.

SOLICITANTE **SABRINA REGINA MENDES**

DATA COLETA ***

PROPRIETÁRIO **SABRINA**DATA ENTRADA **20/05/2025**

PROPRIEDADE ***

DATA SAÍDA **30/05/2025**

TALHÃO ***

PROFUNDIDADE ***

CÓD.LAB. **109845/744193**MUNICÍPIO/UF **NÃO INFORMADO-NÃO INFORMADO**ID AMOSTRA **SOLO CONTAMINADO C/ CONCRETO 4**
PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

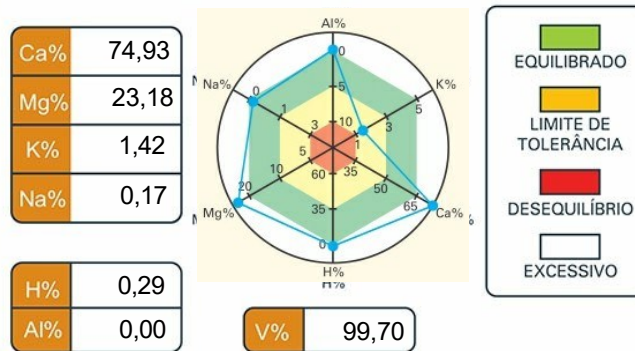
DETERMINAÇÃO	cmol _e /dm ³	DETERMINAÇÃO	TEOR
CTC (pH 7,0)	34,51	Matéria Orgânica (M.O.S)	g/dm ³
CTC (efetiva)	34,41		14,54
CTC (determinada)	***		mg/L
		Fósforo Remanescente (P-Rem.)	

REAÇÃO DO SOLO

DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	DETERMINAÇÃO	cmol _e /dm ³
pH em CaCl ₂	11,28	Acidez Potencial (H + Al)	0,10
pH em H ₂ O	11,11	Acidez Não Trocável (H ⁺)	0,10
pH em SMP	11,22	Acidez Trocável (Al ³⁺)	N.D.

MACRONUTRIENTES CATIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	cmol _e /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio (Ca ²⁺)	25,86			
Magnésio (Mg ²⁺)	8,00			
Potássio (K ⁺)	0,49			
Sódio (Na ⁺)	0,06			

ÍNDICES DE SATURAÇÃO
LEGENDA

MACRONUTRIENTES ANIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	2,03			
Fósforo Mehlich 3	3,40			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	47,70			

RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DA SATURAÇÃO

Bases Trocáveis	MÍNIMO cmol _e /dm ³	MÁXIMO cmol _e /dm ³
Cálcio (Ca ²⁺)	0,00	0,00
Magnésio (Mg ²⁺)	0,00	0,00
Potássio (K ⁺)	0,55	1,24

MICRONUTRIENTES
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Boro (B)	0,17			
Cobre (Cu ²⁺)	11,45			
Ferro (Fe ²⁺)	229,94			
Manganês (Mn ²⁺)	26,01			
Zinco (Zn ²⁺)	3,44			

CAPACIDADE TAMPÃO - NÍVEL CRÍTICO

mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
8,66	5,19	1,23
Fósforo	Enxofre	Zinco

VALORES RELATIVOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

PARÂMETRO	%	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	23			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	919			
Zinco (Zn ²⁺)	280			

N.D. NÃO DETECTADO. *** ENSAIO NÃO SOLICITADO.RG, 096 REV 04


Alessandre Durães
Gerente TécnicoJuliane Araújo
Gerente da QualidadeCarlos Eduardo de C. Almeida
Eng.º Agrônomo | CREA-PR 127660/D

LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO: QUÍMICA DE SOLO

DETERMINAÇÃO	REFERÊNCIA	L.Q.
Alumínio Cloreto de Amônio por Espectrofotometria	IAC 2001	0,011 cmol _c /dm ³
Cálcio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,12 cmol _c /dm ³
Enxofre Fosfato de Cálcio por Espectrofotometria	IAC 2001	2,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich I por Espectrofotometria	Embrapa 2009	1,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,5 mg/dm ³
Fósforo Remanescente Cloreto de Cálcio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,8 mg/L
Magnésio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,08 cmol _c /dm ³
Matéria Orgânica Dicromato de Sódio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,52 g/dm ³
pH Cloreto de Cálcio por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
pH SMP por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
Potássio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,02 cmol _c /dm ³
Sódio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,004 cmol _c /dm ³

L.Q = Limite de Quantificação

RG. 096 REV. 04

Obs. Este relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto na íntegra.

SOLICITANTE SABRINA REGINA MENDES

DATA
COLETA

* * *

PROPRIETÁRIO SABRINA

DATA
ENTRADA

20/05/2025

PROPRIEDADE * * *

DATA
SAÍDA

29/05/2025

TALHÃO * * *

PROFUNDIDADE * * *

CÓD.LAB.

109845/744194

MUNICÍPIO/UF NÃO INFORMADO-NÃO INFORMADO

ID AMOSTRA LAVAGEM DE FORMA

PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

DETERMINAÇÃO	cmol _e /dm ³	DETERMINAÇÃO	TEOR
CTC (pH 7,0)	50,00	Matéria Orgânica (M.O.S)	g/dm ³ 48,32
CTC (efetiva)	22,59		mg/L 15,59
CTC (determinada)	* * *		

REAÇÃO DO SOLO

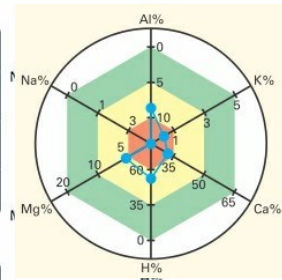
DETERMINAÇÃO	ÍNDICE	DETERMINAÇÃO	cmol _e /dm ³
pH em CaCl ₂	2,53	Acidez Potencial (H + Al)	29,41
pH em H ₂ O	3,51	Acidez Não Trocável (H ⁺)	27,41
pH em SMP	3,61	Acidez Trocável (Al ³⁺)	2,00

MACRONUTRIENTES CATIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	cmol _e /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio (Ca ²⁺)	12,49			
Magnésio (Mg ²⁺)	2,64			
Potássio (K ⁺)	0,28			
Sódio (Na ⁺)	5,18			

ÍNDICES DE SATURAÇÃO
LEGENDA

Ca%	24,98
Mg%	5,28
K%	0,56
Na%	10,36
H%	54,82
Al%	8,85
V%	41,18



	EQUILIBRADO
	LIMITE DE TOLERÂNCIA
	DESEQUILÍBRIO
	EXCESSIVO

MACRONUTRIENTES ANIÔNICOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	10,01			
Fósforo Mehlich 3	N.D.			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	102,02			

RESTITUIÇÃO DO EQUILÍBRIO DA SATURAÇÃO

Bases Trocáveis	MÍNIMO cmol _e /dm ³	MÁXIMO cmol _e /dm ³
Cálcio (Ca ²⁺)	12,51	20,01
Magnésio (Mg ²⁺)	2,36	7,36
Potássio (K ⁺)	1,22	2,22

MICRONUTRIENTES
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

ELEMENTOS	mg/dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Boro (B)	0,75			
Cobre (Cu ²⁺)	14,68			
Ferro (Fe ²⁺)	822,24			
Manganês (Mn ²⁺)	356,35			
Zinco (Zn ²⁺)	5,51			

CAPACIDADE TAMPÃO - NÍVEL CRÍTICO

mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
10,07	6,03	1,33
Fósforo	Enxofre	Zinco

VALORES RELATIVOS
NÍVEL DE SUFICIÊNCIA

PARÂMETRO	%	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Fósforo Mehlich 1	99			
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	1.692			
Zinco (Zn ²⁺)	414			

N.D. NÃO DETECTADO. * * * ENSAIO NÃO SOLICITADO.RG, 096 REV 04


Alessandre Durães
Gerente TécnicoJuliane Araújo
Gerente da QualidadeCarlos Eduardo de C. Almeida
Eng.º Agrônomo | CREA-PR 127660/D

LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO: QUÍMICA DE SOLO

DETERMINAÇÃO	REFERÊNCIA	L.Q.
Alumínio Cloreto de Amônio por Espectrofotometria	IAC 2001	0,011 cmol _c /dm ³
Cálcio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,12 cmol _c /dm ³
Enxofre Fosfato de Cálcio por Espectrofotometria	IAC 2001	2,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich I por Espectrofotometria	Embrapa 2009	1,0 mg/dm ³
Fósforo Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,5 mg/dm ³
Fósforo Remanescente Cloreto de Cálcio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,8 mg/L
Magnésio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,08 cmol _c /dm ³
Matéria Orgânica Dicromato de Sódio por Espectrofotometria	Embrapa 2009	0,52 g/dm ³
pH Cloreto de Cálcio por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
pH SMP por Potenciometria	Embrapa 2009	Faixa 3 a 8
Potássio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,02 cmol _c /dm ³
Sódio Mehlich III por ICP-OES	Embrapa 2009	0,004 cmol _c /dm ³

L.Q = Limite de Quantificação

RG. 096 REV. 04

Obs. Este relatório não pode ser reproduzido sem a aprovação do laboratório, exceto na íntegra.