



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A IMPORTÂNCIA DOS CONTROLES TECNOLÓGICO E DE QUALIDADE NA
ENGENHARIA CIVIL: ESTUDO DE CASO

LUANA ABREU ARAUJO

VARGINHA
2021

LUANA ABREU ARAUJO

A IMPORTÂNCIA DOS CONTROLES TECNOLÓGICO E DE QUALIDADE NA
ENGENHARIA CIVIL: ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Profa. Me. Mag Geisielly Alves Guimarães

VARGINHA
2021

LUANA ABREU ARAUJO

A IMPORTÂNCIA DOS CONTROLES TECNOLÓGICO E DE QUALIDADE NA
ENGENHARIA CIVIL: ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Data de aprovação: 16/08/2021

Banca examinadora:



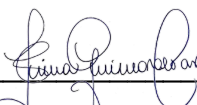
Mag Geisielly Alves Guimarães, Me.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade
Varginha



Denise de Carvalho Urashima, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade
Varginha



Cristina Guimarães César

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Campus
II, Nova Gameleira

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço aos meus pais Luiz Fernando e Roberta pelo amor, confiança, incentivo, apoio incondicional e por todo o esforço que investiram na minha educação sempre. Agradeço também ao restante da minha família, em especial minhas irmãs Nicole e Monique, pelo companheirismo e paciência nos momentos difíceis.

À minha orientadora, professora Mag Guimarães, que desempenhou tal função com tamanha dedicação e paciência, sempre disponível a compartilhar todo seu conhecimento. Também aos demais professores do CEFET Varginha, por toda atenção, incentivo e ajuda com os quais guiaram o meu aprendizado.

Ao meu colega de faculdade e de obra, além de grande amigo, Rodrigo Souza, por todos os conselhos e ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho. Também aos demais colegas do CEFET/MG pelas manifestações de amizade que nunca esquecerei e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

A todos da empresa Franco Serviços e Construções pela autorização do uso de dados da obra, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Em especial ao engenheiro Marlúcio Franco que sempre me orientou nas atividades durante a obra, com enorme depósito de confiança na minha capacidade.

Ao Tribunal de Justiça de Minas Gerais que autorizou o uso de projetos, laudos, resultados dos ensaios e fotos da obra, e assim possibilitou a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço à instituição CEFET/MG, a quem chamo de casa desde 2012, que me proporcionou, além de uma formação acadêmica de alto nível, um desenvolvimento pessoal enorme e me forneceu oportunidades incomparáveis.

RESUMO

Obras de engenharia civil de qualidade e que garantam satisfação ao cliente, além de segurança e conforto, devem se embasar em inspeções técnicas de materiais e serviços durante o ciclo completo da construção aplicáveis às tipologias construtivas. A negligência destas inspeções podem acarretar em inúmeros impactos negativos, tais como manifestações patológicas, geração de resíduos de construção com retrabalhos e gastos com materiais e mão de obra para remediar falhas que poderiam ter sido prevenidas. Assim sendo, este Trabalho de Conclusão de Curso abordou sobre a importância de realizar controles tecnológico e de qualidade em obras de engenharia civil, visando o atendimento a requisitos técnicos, econômicos e ambientais. Como embasamento, foi apresentado o estudo de caso a obra pública do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG), localizado na cidade de Elói Mendes, Minas Gerais. Abordou-se sobre os ensaios especificados para a realização durante a execução de infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, os processos de fiscalização, a interpretação e aplicabilidade dos resultados emitos por laudos. Os serviços de controles tecnológico e de qualidade apresentados incluem a inspeção dos parâmetros do solo para os aterros e acompanhamento da compactação entre camadas, testes de integridade das estacas e controles tecnológicos de concreto. Os custos atribuídos a realização de todos os controles tecnológicos especificados corresponderam a 1,48% do valor global da obra, ou seja, além de importantes para a qualidade final, constituem um baixo investimento em comparação aos inúmeros benefícios. Portanto, ao se abordar a importância da realização de controles tecnológico e de qualidade em obras de engenharia civil, buscou-se a quebra de paradigmas quanto a possíveis entraves técnicos e econômicos que possam dificultar a adoção destas práticas por futuros e atuais profissionais de engenharia civil.

PALAVRAS-CHAVE: controle tecnológico; controle de qualidade; inspeção técnica; engenharia civil.

ABSTRACT

The construction of a building that guarantees customer satisfaction, in addition to safety, comfort and quality, must be based on inspections of technique, materials and services during the complete construction cycle. The negligence of these inspections can lead to numerous negative impacts, such as pathological manifestations, generation of construction waste and expenses with materials and labor to remedy failures that could have been prevented. Therefore, this work addresses the importance of performing technological and quality control in civil engineering constructions, aiming at achieving technical, economic and environmental requirements. The construction of the new forum of Tribunal de Justiça de Minas Gerais, located in Elói Mendes, Minas Gerais, will be presented as a case study, with an approach on tests required during the execution of the infrastructure, mesostructure and superstructure stages, besides the inspection processes, the interpretation and applicability of the results issued by the reports. The technological and quality control services presented includes inspection of soil parameters for landfills and monitoring of compaction between layers, pile integrity tests and technological control of the concrete. The cost attributed to carrying out all technological control corresponds to 1,48% of the overall value of the construction, therefor, in addition to being very important for the final quality, it constitute a low investment compared to the numerous benefits. Therefore, addressing the importance of carrying out technological and quality control in civil engineering constructions, an attempt was made to break paradigms regarding possible technical and economic barriers that could hinder the adoption of these practices by future and current civil engineering professionals.

KEYWORDS: technological control; quality control; technical inspection; civil engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do ensaio de compactação tipo Proctor Normal.....	9
Figura 2: Curvas de compactação de um solo com diferentes energias	11
Figura 3: Transporte do solo de empréstimo do aterro.	12
Figura 4: Seção transversal mista: utilização do solo de corte para execução de aterro	13
Figura 5: Aparelho Speedy para determinação de umidade.	15
Figura 6: Leitura manométrica após a realização do ensaio	17
Figura 7: Execução do ensaio CBR em laboratório.....	19
Figura 8: Ensaio de granulometria por peneiramento.	20
Figura 9: Ensaio de sedimentação	21
Figura 10: Classificação de solos segundo a HBR, adotada pela AASHTO.	24
Figura 11: Estado físico do solo a partir da sua umidade.....	24
Figura 12: Ensaio do Limite de Liquidez.	25
Figura 13: Execução do ensaio do Limite de Plasticidade	26
Figura 14: Representação esquemática do ensaio PIT.....	29
Figura 15: Fatores que influenciam na qualidade final do concreto.	33
Figura 16: Principais etapas de plano de concretagem.....	34
Figura 17: Mapeamento de concretagem.....	35
Figura 18: Execução do ensaio de abatimento do tronco de cone.....	36
Figura 19: Corpos de prova identificados nos moldes.....	38
Figura 20: Esboço dos tipos de ruptura.....	40
Figura 21: Ensaio de extração de testemunhos.	43
Figura 22: Ensaio de dureza superficial pelo método do esclerômetro.	43
Figura 23: Fatores que interferem no módulo de elasticidade do concreto.....	44
Figura 24: Representação esquemática do módulo de deformação secante.....	45
Figura 25: Representação esquemática do módulo de deformação tangente.	45
Figura 26: Ensaio de módulo de elasticidade do concreto.	46
Figura 27: Representação gráfica do prédio Padrão P3 do TJMG.....	49
Figura 28: Metodologia executiva das estacas escavadas.	50
Figura 29: Transporte vertical/horizontal das vigotas protendidas pelo caminhão munck.....	54

Figura 30: Mini-grua utilizada para transporte vertical de materiais e equipamentos.	55
Figura 31: Planejamento semanal de serviços do mês de julho/2020.	56
Figura 32: Planejamento mensal de materiais de serviços do mês de setembro/2020.	56
Figura 33: Ensaios referentes ao controle de execução da movimentação de terra.	58
Figura 34: Ensaios referentes ao controle de execução da infraestrutura.	59
Figura 35: Ensaios referentes ao controle de execução da mesoestrutura e superestrutura.	59
Figura 36: Identificação das áreas do aterro no terreno.	60
Figura 37: Curva de compactação do solo para aterro.	61
Figura 38: Curva peso específico seco x teor de umidade do ensaio ISC para solo de aterro.	62
Figura 39: Ensaio do Limite de Liquidez do solo para aterro.	62
Figura 40: Realização da compactação dos aterros.	64
Figura 41: Execução em campo do ensaio de massa específica aparente.	64
Figura 42: Locação das estacas com a utilização de Estação Total.	65
Figura 43: Perfuração das estacas com trado mecanizado.	66
Figura 44: Concretagem das estacas com auxílio de funil de tremonha.	66
Figura 45: Estaca preparada para execução do ensaio PIT.	67
Figura 46: Execução do ensaio PIT.	68
Figura 47: Média dos sinais de impedância obtidos no ensaio em uma das estacas.	68
Figura 48: Execução de escoramentos de vigas.	70
Figura 49: Execução de fôrmas dos pilares.	70
Figura 50: Cura do concreto utilizando sacos de aniagem.	71
Figura 51: Execução do ensaio de abatimento do concreto em obra.	73
Figura 52: Moldagem de CPs no canteiro de obras.	73
Figura 53: Armazenamento dos CPs para transporte.	74
Figura 54: Certificado de capacitação para realização de ensaios do concreto em obra.	75
Figura 55: Fôrmas e armaduras posicionadas para execução de viga baldrame.	76
Figura 56: Baldrames impermeabilizados com emulsão asfáltica.	76

Figura 57: Mapeamento de concretagem da mesoestrutura.	79
Figura 58: Resultados dos ensaios de resistência à compressão da mesoestrutura aos 7 dias.....	81
Figura 59: Resultados dos ensaios de resistência à compressão da mesoestrutura aos 28 dias.....	82
Figura 60: Comparação das resistências à compressão nas idades de 7 e 28 dias.	83
Figura 61: Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto da mesoestrutura.	84
Figura 62: Distribuição percentual dos custos associados aos serviços de controle tecnológico.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Energias de compactação	9
Tabela 2: Massa de amostra em função da umidade estimada	16
Tabela 3: Trecho da tabela para a determinação da umidade pelo aparelho Speedy.	17
Tabela 4: Classificação dos solos (HBR – AASHTO).....	22
Tabela 5: Número de camadas para a moldagem de corpos de prova.....	37
Tabela 6: Requisitos para a formação de lotes de concreto	41
Tabela 7: Dados para o ensaio do Limite de Plasticidade	63
Tabela 8: Propriedades do concreto usado em obra.....	69
Tabela 9: Características do concreto usado em obra.	69
Tabela 10: Carta traço com as características do concreto.	72
Tabela 11: Informações dos materiais aplicados no concreto.....	72
Tabela 12: Resultados dos ensaios de resistência do concreto da mesoestrutura aos 7 dias.....	80
Tabela 13: Resultados dos ensaios de resistência do concreto da mesoestrutura aos 28 dias.....	81
Tabela 14: Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto da mesoestrutura.	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO - *American Association of State Highway Officials*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI - Alta Resistência Inicial

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CAT - Certidão de Acervo Técnico

CBR - *California Bearing Ratio*

CDC - Código de Defesa ao Consumidor

CPs - Corpos de prova

CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

GC - Grau de compactação

HBR - *Highway Research Board*

IP - Índice de plasticidade

ISC - Índice de Suporte Califórnia

LL - Limite de liquidez

LP - Limite de plasticidade

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

NR - Norma Regulamentadora

PGRS - Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

PIT - *Pile Integrity Testing* (Teste de Integridade de Estacas)

PN - Proctor Normal

SPT - *Standard Penetration Test* (Ensaio de Sondagem à Percussão)

TJMG - Tribunal de Justiça de Minas Gerais

USACE - *United States Corps of Engineers*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	2
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 HISTÓRICO DOS CONTROLES TECNOLÓGICO E DE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	5
2.2 ENSAIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO.....	7
2.2.1 Considerações iniciais.....	7
2.2.2 Controle tecnológico em solos	7
2.2.3 Controle tecnológico em fundações do tipo estacas	27
2.2.4 Controle tecnológico de concreto	32
3. ESTUDO DE CASO	49
3.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA	49
3.1.1 Descrição geral	49
3.1.2 Infraestrutura e mesoestrutura predial	50
3.1.3 Superestrutura predial.....	50
3.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E CONTROLE DE QUALIDADE	51
3.2.1 Delineamentos iniciais da obra	51
3.2.2 Fiscalização de materiais e serviços	53
3.2.3 Planejamento e controle dos processos construtivos.....	54
3.2.4 Especificações técnicas para a entrega da obra.....	57
3.3 CONTROLES DE QUALIDADE E TECNOLÓGICO DA OBRA	58
3.3.1 Considerações iniciais.....	58
3.3.2 Execução e controle de aterro	60
3.3.3 Execução e controle das fundações.....	65
3.3.4 Execução e controle da mesoestrutura e superestrutura	69
3.4 CUSTOS ASSOCIADOS AOS SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO	77
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	78
4.1 EXECUÇÃO E CONTROLE DE ATERRO.....	78

4.2 EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO	79
4.3 CUSTOS ASSOCIADOS AOS SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO	84
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	86
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A obtenção de desempenho e segurança previstos em projetos de engenharia civil é garantida, essencialmente, pela execução de controles de processos durante toda a etapa de construção (SABBATINI, 2003). Controles tecnológicos de materiais e serviços são fundamentais para certificar o cumprimento de seus requisitos técnicos, econômicos e ambientais, garantindo-se a durabilidade e o desempenho de suas funções e, portanto, o padrão de qualidade estabelecido pelo projeto e normas técnicas. É a partir de tais controles que se pode prever ou detectar “não conformidades” e viabilizar intervenções corretivas nas estruturas em questão (VIA TÉCNICA, 2014).

Projetos de engenharia civil de qualidade que garanta satisfação ao cliente, além de segurança e conforto, devem se embasar em controles tecnológico e de qualidade, assim como as fiscalizações desde o princípio da concepção da obra. Configuram-se na amostragem dos serviços e na realização de ensaios nas diversas etapas de execução, se iniciando na seleção de materiais e sua aplicação, até as fases posteriores. A fiscalização e verificação do atendimento das especificações vigentes presentes no projeto devem acontecer de maneira adequada para que possam ser corrigidas possíveis equívocos que venham a ocorrer, garantindo o desempenho final da obra (FORTES; MERIGHI, 2004).

É importante ressaltar que o controle tecnológico não se restringe apenas aos procedimentos realizados na obra, mas sim todo o processo de produção, manipulação e transporte e, deste modo, vai além dos ensaios estendendo a sua abrangência. O planejamento prévio é essencial para que todo o ciclo de qualidade seja cumprido, por exemplo, o estabelecimento de quais materiais e serviços serão ensaiados. Esse ciclo é composto por duas partes: o controle de produção e o de recebimento. O primeiro é exercido por quem gera os produtos, tratando-se de um controle interno. O controle de recebimento é realizado por quem fiscaliza e aceita os produtos ou serviços executados no canteiro de obras (PEREIRA, 2008).

A aplicação do controle e gestão de qualidade na obra garantem maior produtividade e possibilita a redução de erros que possam comprometer o desempenho dos elementos construtivos, o prazo de finalização ou até a

inviabilização destas. Tendo em vista todos os fatores que são influenciados pela realização do controle de qualidade das obras da construção civil, procedimentos de gestão encaixam-se como peça fundamental para subsidiar os gestores de informações consistentes, uma vez que, durante a realização do planejamento, é imprescindível ter conhecimento antecipado sobre todo processo construtivo do objeto a ser executado (FACHINI; SOUZA, 2006).

Portanto, este trabalho irá discorrer sobre a importância de se realizar controles tecnológicos e de qualidade nas obras de engenharia civil, apresentando-se como estudo de caso a obra pública do Tribunal de Justiça de Minas Gerais, localizado na cidade de Elói Mendes, Minas Gerais, explanando a maneira que essa questão é tratada diante uma situação real.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo geral

Abordar a importância de se realizar o controle tecnológico e de qualidade em obras de engenharia civil, visando o atendimento a requisitos técnicos, econômicos e ambientais.

1.2.2 Objetivos específicos

Como pontos específicos desta pesquisa destacam-se os itens abaixo:

- Discorrer sobre normas técnicas aplicáveis a controles tecnológicos de obras;
- Apresentar um estudo de caso de obra pública com abordagem de controles tecnológicos nas etapas de infraestrutura (fundação em estacas), mesoestrutura (vigas baldrame e blocos de coroamento) e superestrutura (pilares, vigas e lajes), pontuando os ensaios realizados em cada etapa e a sua implantação;
- Analisar o custo estimado para a realização de controles tecnológicos em obra de engenharia civil do tipo predial.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

A insatisfação de clientes com a qualidade das construções ou a necessidade de reparos das manifestações patológicas surgidas em curto e médio prazos levanta o

questionamento em relação à necessidade da otimização do controle tecnológico dentro da construção civil.

No contexto geral da obra, é importante gerenciar todas as etapas da construção, desde a preparação do terreno até o acabamento, sendo necessário controlar o recebimento dos materiais e o acompanhamento dos serviços e processos, além da gestão dos ensaios em laboratório.

Segundo Fortes e Merigui (2004), a implantação de serviços de controle tecnológico e de qualidade em obras de construção civil equivalem de 0,5% a 1,5% do orçamento global, sendo que os gastos decorrentes de manutenção corretiva, recuperação ou substituição de materiais são estimados em até 12%. Assim sendo, pode ser observado que essas práticas, além de importantes para a qualidade final da obra, constituem em baixo investimento referente ao custo global da obra.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O presente trabalho se restringe a apresentar apenas os controles tecnológico e de qualidade que foram especificados pela fiscalização da obra discorrida como estudo de caso. Ou seja, existem inúmeros outros ensaios e processos importantes para a garantia final da qualidade de uma construção, que não serão abordados nesta pesquisa.

A aplicação desses ensaios varia de acordo com as metodologias construtivas que são empregadas em uma construção, sendo que os ensaios abordados serão:

- Movimentação de terra:
 - Caracterização do solo: ensaio de compactação tipo *Proctor Normal*, Índice de Suporte Califórnia, granulometria, limites de consistência;
 - Controle do aterro: determinação de umidade pelo *Speedy Test*, determinação da massa específica aparente *in loco* pelo método do frasco de areia;
- Infraestrutura:
 - Resistência à compressão do concreto;
 - Ensaio de integridade da estaca;
- Mesoestrutura e Superestrutura:
 - Resistência à compressão do concreto;
 - Módulo de elasticidade do concreto.

Além disso, como a obra estudo de caso foi acompanhada pela autora apenas nos primeiros nove meses de execução, algumas seções de controle presentes nas especificações técnicas não serão abordados por não terem sido acompanhados durante o período compreendido para este estudo de caso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DOS CONTROLES TECNOLÓGICO E DE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

A criação de instrumentos de controle industrial no Brasil, objetivando-se a qualidade, iniciou-se em meados do século XX devido ao crescimento industrial da época (CARROMEU *et al.*, 2012). Segundo Helene e Terzian (1993), o início do controle tecnológico na construção civil no país está relacionado com a instalação do Gabinete de Resistência dos Materiais pela Politécnica da Universidade Católica em 1899, atual Universidade de São Paulo (USP), e a partir deste gabinete, tem-se diversos movimentos a favor do controle tecnológico.

Em 1905, a Politécnica de São Paulo publicou o Manual de Resistência dos Materiais, um documento contendo informações sobre as propriedades físicas, mecânicas e químicas dos materiais utilizados na construção civil, incluindo alguns estudos inéditos sobre concreto, além de determinação dos coeficientes de resistência, tração e compressão de vários tipos de madeiras. O sucesso desse manual ajudou a reforçar a importância do ensino prático no Brasil (RIEMMA; NAKATA, 2013).

Em 1940 foi fundada a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) com o intuito de criar um padrão de qualidade para evitar conflitos e auxiliar na comparação de pesquisas relacionadas a mesma temática. A partir de 1949, a ABNT começou a ganhar reconhecimento com a publicação e difusão de normas técnicas de âmbito nacional (ABNT, 2011).

Na década de 1980 o setor da construção civil passou por um período de desarticulação e desestruturação com uma de suas maiores crises nacional, fazendo com que a competição entre as empresas aumentasse de modo significativo (CARDOSO, 2003). Nessa situação, distintas áreas de atuação dentre as empresas requereram mudanças devido ao cenário competitivo, forçando investimentos em programas de qualidade para terem produtos com durabilidade, confiabilidade e com melhores custos frente a seus adversários. Benetti, Siliprandi e Jabur (2011) abordam a implantação de programas de qualidade como uma das estratégias adotadas pelas empresas, como resposta à necessidade de ampliar ou conservar uma posição no mercado.

Portanto, devido a necessidade de destaque nos serviços, os controles tecnológico e de qualidade surgiram como aliados das empresas da construção civil e vêm ganhando importância desde então. De acordo com Oliveira (2013), o nível de exigência do consumidor com relação à qualidade de produtos e serviços adquiridos tornou-se mais evidente a partir da promulgação do Código de Defesa do Consumidor (CDC), por meio da Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990 (BRASIL, 1990), a qual introduziu diversos direitos e garantias aos consumidores com a instituição do Código Civil pela Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (BRASIL, 2002).

Além disso, a partir da década de 2010 houve um aumento de órgãos de defesa do consumidor como o Programa de Proteção e Defesa do Consumidor (PROCON), tornando os consumidores mais esclarecidos sobre os seus direitos e, neste contexto, as empresas de construção civil necessitaram de padronizar os seus processos e a implantar os conceitos de qualidade neste setor (OLIVEIRA, 2013).

Segundo o CDC, a responsabilidade do construtor pela qualidade da obra permanece após o recebimento pelo consumidor ou pelo administrador, este último para obras públicas, uma vez que muitos dos problemas originados pelas falhas se manifestam somente na sua fase de utilização. No Artigo nº 26 do CDC, o direito de reclamar pelos vícios aparentes ou de fácil constatação expira em 30 dias, tratando-se de fornecimento de serviço e de produtos não duráveis e 90 dias para produtos duráveis (BRASIL, 1990). De acordo com o Artigo nº 27, só terá direito à indenização pelo construtor a ocorrência que for comprovadamente detectada nos cinco primeiros anos, contados a partir do conhecimento do dano e de sua autoria (BRASIL, 1990).

As falhas construtivas que causam manifestações patológicas (estruturais e de durabilidade) podem resultar em custos pós ocupação, onerando o custo previsto da construção do empreendimento, pois no Artigo nº 618 do Código Civil (BRASIL, 2002) está prevista a responsabilidade objetiva da construtora em prestar garantias por suas obras no período de cinco anos, a contar do recebimento da obra pela contratante, respondendo por sua solidez e segurança do trabalho, bem como em razão dos materiais, como do solo.

Em situações com ocorrências de manifestações patológicas após cinco anos, há necessidade de emissão de parecer técnico para verificar as devidas responsabilidades. Além disso, no Artigo nº 205 do Código Civil (BRASIL, 2002) é

estabelecido o prazo de até dez anos para o cliente mover ação contra a construtora ou o incorporador a partir do surgimento das falhas construtivas.

Com o intuito de resguardar os princípios éticos nas práticas de construção civil e de forma eficaz, é importante o seu planejamento preliminar de modo a evitar custos com não conformidades. Essas medidas incluem a elaboração de projetos executivos e de especificações técnicas por profissionais habilitados, o acompanhamento da execução de todas as etapas dos processos construtivos, próprios ou terceirizados, atestes das propriedades dos insumos por ensaios de controles tecnológicos, dentre outros (PEREIRA, 2008).

2.2 ENSAIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO

2.2.1 Considerações iniciais

Nesta seção serão discorridos os ensaios de controle tecnológico que compõem o conjunto de testes acompanhados na obra predial abordada neste trabalho como estudo de caso.

2.2.2 Controle tecnológico em solos

2.2.2.1. Compactação do solo

A compactação do solo é um método de estabilização que acontece pela aplicação de energia mecânica visando um maior contato entre as partículas, de modo a aumentar a massa específica e resistência ao cisalhamento do solo, além de diminuir a permeabilidade e compressibilidade. Quando um solo é transportado e depositado em outro local onde se deseja executar um aterro, este apresenta um estado fofo e pouco resistente, estando suscetível a deformações.

Segundo Pinto (2006), a prática da compactação de solos tem como objetivo aumentar o contato entre os grãos e torná-lo mais homogêneo. Deste modo, irá promover o aumento da densidade e redução do índice de vazios, melhorando as diversas propriedades do solo.

Ainda segundo o autor, essa atividade é realizada em distintas obras de movimentação de terra visando a estabilização de maciços terrosos, como a execução de aterros ou seções mistas em obras prediais e de infraestrutura, barragens de terra, pavimentação, dentre outras (PINTO, 2006). Por isso, antes do seu início, deve-se

obter a curva de compactação do solo por meio de ensaios preliminares em laboratório, visando-se analisar e controlar a qualidade de aterros e solos compactados.

A obtenção desta curva é um procedimento no qual se aplicam repetidas cargas no solo confinado em um cilindro metálico, reduzindo seu volume e, portanto, o índice de vazios, gerando um aumento de sua massa específica seca. A redução de volume ocorre devido à expulsão de ar, entretanto sem alteração em termos de teor de umidade do solo e volume de sólidos (SANTOS, 2008).

Quando a umidade do solo não é muito elevada, a saída do ar é facilitada, pois o ar se encontra em forma de canalículos intercomunicados. A redução do atrito pela água e os canalículos de ar permitem uma massa específica maior quando o teor de umidade é maior. Porém, a partir de um certo teor de umidade, a compactação já não consegue expulsar o ar dos vazios, porque o grau de saturação já é elevado e o ar está ocluso, envolto por água. Portanto, existe um teor de umidade, denominado de umidade máxima, que corresponde a uma massa específica seca máxima (PINTO, 2006).

A metodologia do ensaio de compactação foi desenvolvida por Ralph Proctor em 1933, sendo normatizado nos Estados Unidos pela *American Association of State Highway Officials* (AASHO), o qual surgiu da necessidade de se controlar da compactação de solos em obras (SANTOS, 2008). No Brasil, o referido ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7182:2016, que consiste em compactar uma amostra de solo em um molde cilíndrico, determinando-se a umidade e o peso específico seco para diferentes teores de água incorporados em uma mesma amostra em solos. Segundo a norma, o objetivo do ensaio é determinar a relação entre o teor de umidade (%) e a massa específica aparente seca (ρ_d) do solo quando compactado.

Existem três tipos de ensaios *Proctor*, o Normal, o Intermediário e o Modificado, e a diferença entre eles está basicamente na variação de energia utilizada na compactação devido a diferença na massa do soquete, na altura de queda e na quantidade de golpes (ABNT NBR 7182:2016). A Tabela 1 apresenta a diferença de cada tipo de ensaio *Proctor*. Na Figura 1 tem-se o cilindro e soquete usados no ensaio de compactação *Proctor* Normal (PN).

Tabela 1: Energias de compactação

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno * (1000 cm ³)	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande (2300 cm ³)	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

*OBSERVAÇÃO: O cilindro pequeno pode ser utilizado somente quando a amostra, após a preparação, passa integralmente na peneira 4,8 mm.

Fonte: ABNT NBR 7182:2016, adaptada.

Figura 1: Etapas do ensaio de compactação tipo Proctor Normal.



Fonte: Da autora.

Após a realização do procedimento, o ensaio é repetido para diferentes teores de umidade e para cada um deles é determinada a massa específica aparente seca. Com os valores obtidos, é traçada uma curva marcando-se nas ordenadas as massas

específicas aparente seca e nas abcissas os teores de umidade correspondentes (SANTOS, 2008). O valor de massa específica aparente seca é obtida pela Equação 1:

$$\rho_d = \frac{M_u \cdot 100}{V \cdot (100 + w)} \quad (1)$$

Sendo,

ρ_d : massa específica aparente seca (g/cm³)

M_u : massa úmida do solo compactado (g)

V : volume útil do molde cilíndrico (cm³)

w : teor de umidade do solo compactado (%), obtido pela Equação 2:

$$w = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Sendo,

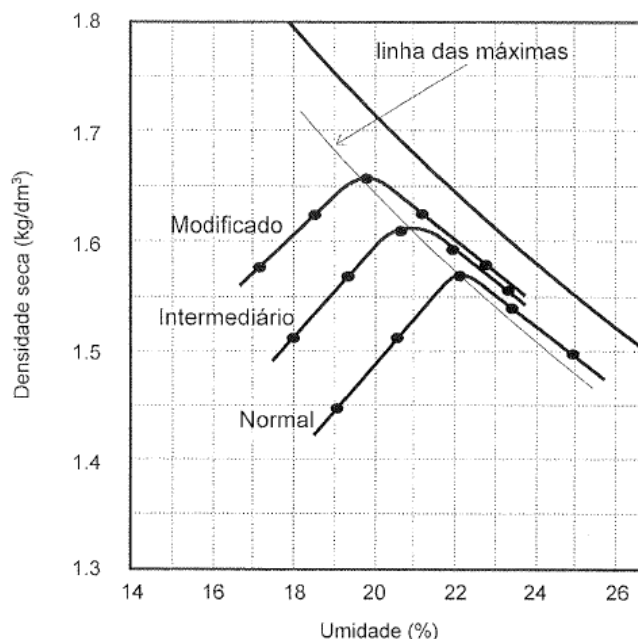
M_w : massa de água (g);

M_s : massa da amostra seca (g).

Para o traçado desta curva é conveniente a determinação de, pelo menos, cinco pontos, de forma que dois deles se encontrem no ramo ascendente (ramo seco), um próximo à umidade ótima e os outros dois no ramo descendente da curva (ramo úmido), sendo o mínimo necessário são quatro pontos (PINTO, 2006).

A massa específica aparente seca máxima ($\rho_{dm\acute{a}x}$) é a ordenada máxima da curva de compactação e a umidade ótima (w_{ot}) é o teor de umidade correspondente a massa específica seca máxima. As curvas de saturação relacionam a massa específica aparente seca com a umidade, em função do grau de saturação.

Como se verifica na Figura 2, que representa resultados de ensaios realizados com energias diferentes por meio da curva de compactação, o aumento da energia de compactação acarreta o aumento da densidade máxima aparente seca e a ligeira diminuição da umidade ótima.

Figura 2: Curvas de compactação de um solo com diferentes energias

Fonte: PINTO, 2006.

Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que quanto maiores os esforços de compactação, os grãos do solo estarão mais próximos uns dos outros. Porém, com pequenas umidades ocorrerá atrito grão-a-grão, dificultando os esforços de compactação e, conseqüentemente, a adequada junção entre eles, de forma a atingir grandes densidades (WERK, 2000).

Este comportamento também é observado no ramo úmido das curvas, sendo que quando a umidade do solo for muito grande, este estará quase saturado, não oferecendo resistência à compactação. Então, as densidades serão tanto mais baixas quanto maiores forem os teores de umidade, pois os filmes de água em torno dos grãos crescerão de espessura à medida que as umidades crescem. Assim sendo, no ponto correspondente à umidade ótima, a espessura do filme de água é próxima e estritamente necessária para saturar os vazios correspondentes à máxima densidade possível de ser obtida com o esforço de compactação empregado (WERK, 2000).

As energias de compactação em campo são obtidas a partir de diferentes equipamentos utilizados para a execução desse serviço, podendo ser feita manualmente ou por meio de equipamentos de pressão, impacto ou vibração, como cilindro estático pé de carneiro, cilindro estático rolo liso, rolo compactador de rodas pneumáticas, rolos cilíndricos vibratórios, entre outros. Embora os dois meios sejam eficientes, o uso de equipamentos reduz consideravelmente o tempo de trabalho.

Essa energia de compactação no campo deve ser compatível com a energia de laboratório (*Proctor Normal*, *Intermediário* ou *Modificado*). O tipo de energia adotado no ensaio é essencial, pois a conferência da adequação do grau de compactação (GC) é feita de acordo com o tipo de ensaio realizado, sendo esses limites normatizados pela norma DNIT 108/2009-ES.

Portanto, o conhecimento da curva de compactação dos solos pela realização de ensaios laboratoriais previamente aos serviços de movimentação de terra, é essencial para se obterem os parâmetros para o controle tecnológico desta prática em obra (SANTOS, 2008).

Como exemplificação, apresentam-se serviços de movimentação de terra e de compactação de solos referentes à obra de duplicação da BR MGC 459 (Figura 3), ocorridos em 2018, como transporte de solos por caminhão basculante, espalhamento e regularização de camadas de solos por motoniveladora, procedimento de compactação com rolo pé de carneiro e ajustes da umidade de compactação.

Figura 3: Transporte do solo de empréstimo do aterro.



(a) Transporte do solo de empréstimo do aterro;



(b) Serviços de espalhamento e regularização de solos por motoniveladora;



(c) Compactação do aterro pelo pé de carneiro;



(d) Ajuste de umidade do solo em campo.

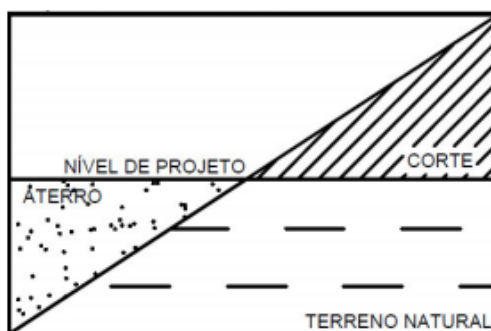
Fonte: GUIMARÃES, 2019.

O solo utilizado em um aterro pode ser proveniente de um empréstimo ou de uma compensação longitudinal de volumes. Segundo Souza (2018), o empréstimo, ou

aquisição de material, ocorre quando o volume dos cortes na terraplenagem for insuficiente para a construção dos aterros. Esta operação considera a escavação complementar em local escolhido em função da localização, da distância e da qualidade do solo e transporta-se o material até o aterro. Quando o volume de material escavado é indesejado, seja por excesso ou por condições geotécnicas insatisfatórias, essa porção, denominada bota-fora, é depositada em áreas externas à região onde ocorre os serviços.

Compensação longitudinal de volumes é o processo de aproveitamento do material escavado nos cortes para preenchimento dos aterros. Esse método deve ser aproveitado sempre que possível, dependendo da qualidade do solo de corte, para evitar nova escavação, para que haja a compensação longitudinal de volumes reduzindo custos desnecessários (SOUZA, 2018). A Figura 4 esquematiza o processo de compensação.

Figura 4: Seção transversal mista: utilização do solo de corte para execução de aterro



Fonte: DUARTE, 2013.

Para o controle das condições de compactação em campo, realizam-se ensaios para a determinação da massa específica aparente *in situ* nas camadas compactadas. Tais determinações podem ser feitas pelo método do cilindro de cravação (ABNT NBR 9813:2016) ou pelo método do frasco de areia (ABNT NBR 7185:2016). Este último foi o método adotado para o controle de compactação na obra predial abordada neste trabalho como estudo de caso. Os dois ensaios possuem a mesma finalidade e proporcionam resultados próximos, porém o método do cilindro de cravação é aplicado somente a solos de granulação fina, isento de pedregulhos, coesivos e não muito duros (ABNT NBR 9813:2016).

Portanto, o ensaio da determinação da massa específica aparente pelo método do frasco de areia pode ser realizado em qualquer tipo de solo que possa ser

escavado com a utilização de ferramentas manuais, mas que seja suficientemente coesivo para que as paredes da cavidade aberta permaneçam estáveis durante os procedimentos de ensaio. O equipamento empregado neste ensaio é um frasco plástico com cone de metal na abertura superior e uma bandeja com orifício e rebaixo para encaixe do cone do frasco de areia.

Primeiramente, em laboratório determina-se a massa específica aparente seca da areia, que será utilizada para determinação do volume extraído de solo. No local da realização da compactação, é escavado um círculo do diâmetro do orifício da bandeja, sendo esta utilizada como molde, e cerca de 15 cm de profundidade. Na cavidade escavada e com auxílio da bandeja, é despejado a areia contida no frasco. Possuindo o peso do frasco de areia antes e após a abertura do mesmo na cavidade e o valor da massa específica da areia, é possível se obter o valor do peso específico aparente do solo ali extraído (ABNT NBR 7185:2016) pela Equação 3 abaixo:

$$\gamma_d = \gamma_{areia} \frac{M_h}{M_{10}} \cdot \frac{100}{100 + w} \quad (3)$$

Sendo,

γ_d : massa específica aparente do solo (g/cm³);

γ_{areia} : massa específica aparente da areia (g/cm³);

M_h : massa do solo da cavidade no terreno (g);

w : teor de umidade do solo extraído no terreno (%);

M_{10} : massa de areia que preencheu a cavidade do terreno (g).

Com a obtenção da massa específica aparente *in situ*, determina-se o GC das camadas do solo pela Equação 4, verificando-se, portanto, se a execução das camadas do aterro está de acordo com o especificado em projeto. A massa específica aparente seca do aterro é obtida pelo ensaio do frasco de areia *in loco* e a massa específica aparente seca máxima pela curva de compactação (DNIT 108/2009-ES).

$$G.C. = \frac{\gamma_{d,aterro}}{\gamma_{d,máximo}} \quad (4)$$

Sendo,

$\gamma_{d,aterro}$: massa específica aparente seca do aterro (g/cm³);

$\gamma_{d,máximo}$: massa específica aparente seca máxima (g/cm³).

Para o ensaio do tipo *Proctor* Normal os limites de aceitação são (DNIT 108/2009-ES):

- Corpo do Aterro: $GC \geq 95\% PN$;
- Camada Final: $GC \geq 100\% PN$.

Além disso, o controle tecnológico de compactação inclui ensaios dos teores de umidade nas camadas compactadas. O teor de umidade é definido como a relação entre a massa de água existente nos vazios do solo e a massa seca das partículas sólidas, expressa em porcentagem (ABNT NBR 6502:1995).

A previsão do comportamento dos solos demanda o conhecimento do teor de umidade em que este se encontra, sendo de suma importância a determinação deste fator. A garantia de estabilidade e comportamento funcional de uma obra acontece devido ao desempenho do terreno em que está sendo apoiada, de modo que este índice físico influencia diretamente no comportamento físico-mecânico dos solos (SOUZA, 2018).

Existem metodologias para a determinação da umidade do solo, sendo a mais precisa o método da estufa, normatizada pela ABNT NBR 6457:2016. Porém, um método mais simples e aplicável em campo é a determinação do teor de umidade *in situ* pelo aparelho *Speedy* (Figura 5). Este procedimento é preconizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) em seu Método de Ensino - ME 052/94, antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

Figura 5: Aparelho *Speedy* para determinação de umidade.



Fonte: GUIMARÃES, 2020.

A determinação do teor de umidade de solos com a utilização deste método acontece devido a reação química da água existente em uma amostra com o carbureto de cálcio presente em ampolas de vidro, realizada em ambiente confinado, conforme Equação 5 (DNIT ME 052/94):



Sendo,

CaC_2 : carbureto de cálcio;

H_2O : água presente na amostra;

Ca(OH)_2 : hidróxido de cálcio;

C_2H_2 : gás acetileno.

O gás acetileno ao expandir-se gera pressão proporcional à quantidade de água existente na amostra. Portanto, a leitura dessa pressão em um manômetro permite a avaliação da quantidade de água em uma amostra, e em consequência, do seu teor de umidade (SOUZA, 2018).

Para a preparação da amostra, a norma apresenta a Tabela 2 que relaciona a massa da amostra em função da sua umidade estimada.

Tabela 2: Massa de amostra em função da umidade estimada

Umidade estimada (%)	Massa de amostra (g)
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

Fonte: DNER - ME 052/94, adaptada.

Com a realização o ensaio, obtém-se a leitura de pressão manométrica (kg/cm^2) pela reação entre o carbureto e a água presente na amostra (Figura 6), cujo valor será correlacionado à massa de amostra úmida utilizada no ensaio (g) para a obtenção do valor de leitura (h_1) na tabela de aferição do aparelho *Speedy* (Tabela 3).

Figura 6: Leitura manométrica após a realização do ensaio

Fonte: GUIMARÃES, 2020.

Tabela 3: Trecho da tabela para a determinação da umidade pelo aparelho *Speedy*.

Pressão final Kg/cm ²	Peso de amostra úmida utilizada		
	20 g	10 g	5 g
0,10	0,50	1,00	2,00
0,15	0,70	1,50	3,10
0,20	1,00	2,00	4,20
0,25	1,20	2,50	5,20
0,30	1,50	3,10	6,40
0,35	1,80	3,60	7,50
0,40	2,00	4,10	8,70
0,45	2,30	4,70	9,90
0,50	2,50	5,20	11,10

Fonte: GUIMARÃES, 2020, adaptada.

A umidade pelo método *Speedy* é obtida pela Equação 6.

$$W = \frac{h_1}{100 - h_1} \cdot 100 \quad (6)$$

Sendo,

W : umidade do solo (%);

h_1 : valor de leitura na tabela de aferição do aparelho *Speedy*.

O ensaio *Speedy* determina a umidade do solo de maneira indireta, ou seja, a partir de outra propriedade do solo a ela relacionada por meio de fórmula, a pressão manométrica pela reação entre o carbureto e a água presente na amostra. Como a

umidade ótima deste solo foi determinada por um método direto, secagem em estufa em laboratório, é necessário realizar uma aferição do método *Speedy*.

2.2.2.2. Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR), foi proposto pelo engenheiro O.J. Porter e posteriormente aprimorado pelo *United States Corps of Engineers* (USACE). Este ensaio tem como objetivo avaliar a resistência dos solos pela determinação da capacidade suporte de um solo compactado. É um método de ensaio adotado por órgãos rodoviários e demais projetos para controles de aterros compactados, sendo introduzido no Brasil em 1966 pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza que o adaptou à realidade brasileira (MILLÉO, 2012).

O ensaio é regulamentado pela norma ABNT NBR 9895:2016 e consiste em determinar a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente, sendo esta relação expressa em porcentagem.

O procedimento acontece em três etapas, sendo a primeira delas a compactação de corpos de prova, onde é determinada a curva de compactação que correlaciona a massa específica aparente seca com o teor de umidade, conforme detalhado no item 2.2.2.1. Depois disso, esses corpos de prova dentro do molde cilíndrico são colocados imersos em água por quatro dias, medindo-se a expansão de 24 em 24 horas (MALANCONI, 2013). Por fim, é medida a resistência a penetração com o uso de prensa CBR acoplado a um relógio comparador para obtenção de dados de penetração (mm) por carga (N). O resultado do ensaio é dado em porcentagem, por exemplo, um resultado de CBR igual a 15% significa que a resistência a penetração do solo testado é de 15% do valor da brita padronizada. Quanto maior for o índice CBR, maior a resistência do solo.

A obtenção da resistência do solo em comparação a uma brita padrão é fundamental para a construção de pavimentações, principalmente em estradas e rodovias, bem como para controle de aterros (MALANCONI, 2013). A Figura 7 apresenta a execução do ensaio CBR em laboratório:

Figura 7: Execução do ensaio CBR em laboratório



Fonte: RODRIGUES, 2015, adaptada.

A obtenção da resistência do solo em comparação a uma brita padrão é fundamental para a construção de pavimentações, principalmente em estradas e rodovias, bem como para controle de aterros (MALANCONI, 2013).

A norma DNIT 108/2009-ES, que define a sistemática para execução de aterros, determina que os materiais a serem utilizados devem se enquadrar nos seguintes parâmetros quanto ao ISC:

- Corpo do aterro:
 - $ISC \geq 2\%$;
 - $\text{expansão} \leq 4\%$.
- Camada final do aterro:
 - $ISC \geq 2\%$;
 - $\text{expansão} \leq 2\%$.

O atendimento aos preceitos citados acima deve ser efetivado por meio de análise técnico-econômica, considerando as alternativas de disponibilidade de materiais ocorrentes e incluindo-se, pelo menos, uma alternativa com a utilização de material com $ISC \geq 6\%$ (DNIT 108/2009-ES).

2.2.2.3 Granulometria

O ensaio de análise granulométrica (ABNT NBR 7181:2016, versão corrigida em 2018) é o processo utilizado para a determinação das dimensões das partículas e suas proporções relativas de ocorrência para se obter o traçado da curva granulométrica de um determinado solo. A partir da curva granulométrica, que é a relação entre os diâmetros das partículas (mm) e a distribuição percentual de massa (%), obtêm-se a sua classificação em relação aos percentuais presentes, cujos parâmetros são empregados em projetos geotécnicos para se estimar o comportamento dos solos (NOGUEIRA, 2005). Por exemplo, obtenção de parâmetros para materiais filtrantes, bases estabilizadas de pavimentos, cortes e aterros, permeabilidade, capilaridade, entre outros.

A determinação da granulometria de um solo pode ser feita por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação. Esta diferenciação se dá pela composição do solo a ser estudado, sendo que para materiais granulares, emprega-se o processo por peneiramento para partículas de tamanho maior que 0,075 mm (ABNT NBR 6502:1995), com uso de peneiras padronizadas em laboratório (Figura 8).

Figura 8: Ensaio de granulometria por peneiramento.



(a) Peneirador mecânico



(b) Sequência de peneiras de 75 mm até 0,075 mm

Fonte: GUIMARÃES, 2020.

Para solos finos, que apresentam diâmetros menores que 0,075 mm, é utilizado o processo por sedimentação dos sólidos em meio líquido (Figura 9) com defloculante

(solução de hexametáfosfato de sódio) por meio da lei de Stokes, que correlaciona a velocidade de queda das partículas esféricas em relação ao seu diâmetro, como apresentado na Equação 7. Para solos que possuem partículas grossas e finas, a análise granulométrica é feita de forma completa por peneiramento e sedimentação.

Figura 9: Ensaio de sedimentação



Fonte: GUIMARÃES, 2020.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \cdot \mu} \cdot D^2 \quad (7)$$

Sendo,

v : velocidade de queda de partículas esféricas;

γ_s : massa específica do material (kg/m^3);

μ : viscosidade do fluido (Pa.s);

D : diâmetro da esfera (m).

De acordo com a classificação da *Highway Research Board* (HBR), utilizada pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulometria, limites de consistência e do índice de grupo. A classificação de solos em função da granulometria divide-se conforme a Tabela 4, determinando-se o grupo do solo por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. O

primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir, será a classificação correta (DNIT, 2006).

Tabela 4: Classificação dos solos (HBR – AASHTO).

CLASSIFICAÇÃO GERAL	Materiais granulares 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							Materiais silto - argilosos			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-A	A-1-B		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.

Fonte: DNIT (2006), adaptada.

Apesar da importância deste ensaio, as propriedades dos solos não dependem somente das dimensões das partículas, mas também de fatores como composição mineralógica, estrutura e história geológica (NOGUEIRA, 2005). Nas argilas, por exemplo, a plasticidade e consistência são as propriedades que mais influenciam o comportamento mecânico dos solos. Deste modo, os ensaios de limites de consistência são de suma importância para a classificação e a estimativa do comportamento desses tipos de solo, conforme abordado no tópico seguinte (PINTO, 2006).

2.2.2.4 Limites de Consistência

A determinação dos limites de consistência (ou limites de *Atterberg*) abrange ensaios laboratoriais de caracterização básica do solo, sendo que estes permitem determinar a consistência do solo estudado. O termo consistência é referente a propriedade de um solo ser menos ou mais deformável (ABNT NBR 6502:1995). Em função do teor de umidade, o solo pode apresentar comportamentos diversos, sendo que quando muito úmido, ele se comporta como um líquido; quando perde parte dessa água, fica plástico e trabalhável; quando mais seco, se torna quebradiço (PINTO, 2006).

Segundo Ribeiro e Souza (2018), a passagem de um estado de consistência para outro é gradual. No estado viscoso ou líquido, a massa de solo apresenta propriedades e aparência de uma suspensão, ou seja, não possui forma própria e tem resistência ao cisalhamento nula. No estado plástico, a massa de solo pode ser moldada sem apresentar variação sensível do seu volume, ruptura ou fissuramento. No estado friável ou semissólido, a massa de solo tem a aparência de um sólido, porém apresenta redução de volume se for submetido à secagem. No estado sólido, a secagem da massa de solo não mais provoca redução de seu volume.

A consistência do solo é afetada por fatores, tais como a granulometria e teor de matéria orgânica. Portanto, é importante conhecer as relações entre os limites de *Atterberg*, granulometria e matéria orgânica para realizar a caracterização dos solos que pode servir de subsídio para se planejar o manejo do solo e prevenir efeitos adversos da compactação (RIBEIRO; SOUZA, 2018).

Os limites de consistência para um solo fino estão indicados a seguir segundo a ABNT NBR 6502:1995:

- Limite de Contração (CC): teor de umidade que indica os limites entre os estados semissólido e sólido;
- Limite de Plasticidade (LP): teor de umidade que indica os limites entre os estados plástico e semissólido;
- Limite de Liquidez (LL): teor de umidade que indica os limites entre os estados líquido e plástico.

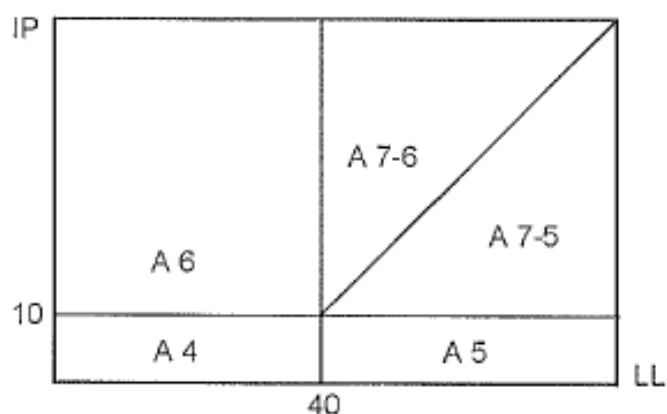
A diferença entre os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) resulta no Índice de Plasticidade (IP), que classifica o solo com relação à plasticidade, podendo este ser não plástico, pouco plástico, plasticidade média ou muito plástico, tais como (PINTO, 2006):

- Fracamente plásticos: $1 < IP < 7$
- Mediamente plásticos: $7 < IP < 15$
- Altamente plásticos: $IP > 15$

Ressalta-se a classificação estabelecida pela *Highway Research Board* (HBR) da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) conforme Figura 10, de modo que: o grupo A-4 é composto por solos siltosos com pequena quantidade de material grosso e de argila (baixa compressibilidade); o grupo

A-5 é composto por solos siltosos com pequena quantidade de material grosso e argila, rico em mica e diatomita (alta compressibilidade); o grupo A-6 é composto por argilas siltsas medianamente plásticas com pouco material grosso (baixa compressibilidade) podendo conter misturas de materiais argilosos com areia e pedregulho e o grupo A-7 é composto por argilas plásticas com presença de matéria orgânica e alta compressibilidade (DNIT, 2006).

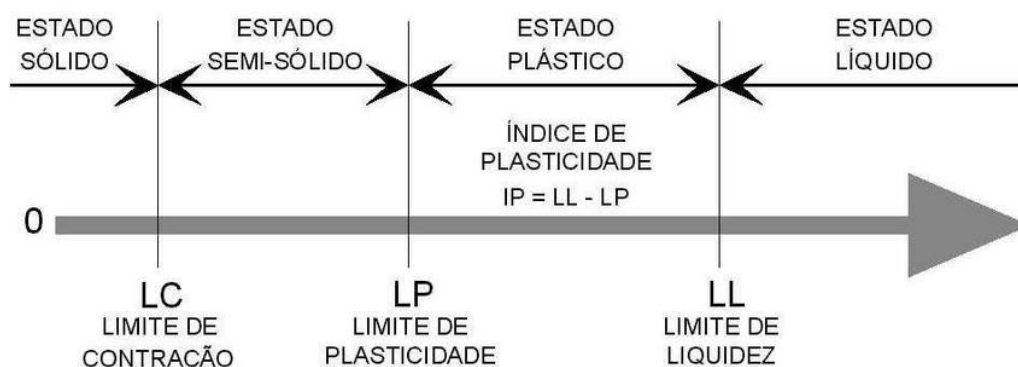
Figura 10: Classificação de solos segundo a HBR, adotada pela AASHTO.



Fonte: PINTO, 2006.

A Figura 11 apresenta o estado de consistência em que o solo se encontra de acordo com sua umidade e as mudanças de estado para os limites de *Atterberg*.

Figura 11: Estado físico do solo a partir da sua umidade.



Fonte: SANTANA *et al.*, 2007.

Os parâmetros de LL são obtidos pela norma ABNT NBR 6459:2016 e de LP pela norma ABNT NBR 7180:2016.

O ensaio de LL consiste na homogeneização com água destilada de um solo deformado, seco em temperatura ambiente e peneirado em malha de 0,42 mm, para a formação de pastas de consistências variadas. Essa pasta é transferida para o

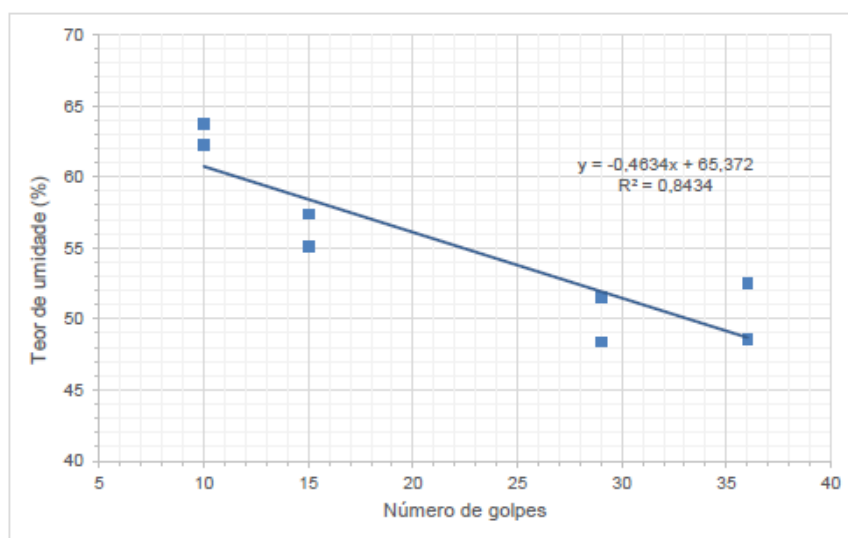
aparelho de Casagrande calibrado ocupando cerca de 2/3 da concha do aparelho e formando uma camada de cerca de 1,0 cm de altura. É feita uma ranhura no centro da pasta do solo utilizando o cinzel padrão (Figura 12a) e são aplicados dois golpes por segundo na amostra até que a ranhura se feche em uma extensão de 1,0 cm, anotando o número de golpes necessário (ABNT NBR 6459:2016).

A amostra da região em que a ranhura se fecha é retirada para determinação do teor de umidade. Esse procedimento é realizado até a obtenção de dois pontos abaixo e dois pontos acima de 25 golpes, possibilitando a construção de um gráfico de teor de umidade (%) por número de golpes, exemplificado na Figura 12b. O LL do solo é determinado por meio da equação de regressão linear da reta, o qual se refere ao teor de umidade referente a 25 golpes. O LL obtido no exemplo da Figura 12b é de 53,79%.

Figura 12: Ensaio do Limite de Liquidez.



(a) Procedimento com uso do aparelho Casagrande.



(b) Exemplo de gráfico teor de umidade x nº de golpes do ensaio do Limite de Liquidez

Fonte: Da autora.

O ensaio de LP consiste na homogeneização com água destilada de um solo deformado, seco em temperatura ambiente e peneirado em malha de 0,42 mm, por cerca de 15 a 30 minutos, formando pastas de consistências próximas ao limite de plasticidade do solo. Em seguida, cerca de 10 g da pasta é rolada em placa de vidro esmerilhada até obtenção de um cilindro de cerca de 100 mm de comprimento e diâmetro igual ao do cilindro gabarito do teste (3 mm) e até o aparecimento de fissuras (Figura 13) (ABNT NBR 7180:2016).

Em seguida o solo cilíndrico é submetido ao ensaio de determinação do teor de umidade. Como resultado, o LP é a média dos valores de umidade encontrados durante o ensaio, sendo que os valores de umidade não devem diferir da média em mais de 5% (PINTO, 2006).

Figura 13: Execução do ensaio do Limite de Plasticidade



Fonte: Da autora.

2.2.2.5 Manifestações patológicas na execução de aterros

Referente ao controle do aterro, a ausência ou a má execução da compactação do solo pode gerar patologias diversas, como recalques, deslizamento de taludes e erosões devido à incidência de águas pluviais, sendo que a execução de ensaios de compactação e outros se aliam para evitar essas manifestações que podem ser prejudiciais à funcionalidade da edificação (GADOTTI, 2021). Assim sendo, é de suma importância o acompanhamento técnico de obras de fundações e terraplanagem com o auxílio de laboratório de campo e engenheiro especializado.

2.2.3 Controle tecnológico em fundações do tipo estacas

2.2.3.1 Conceitos iniciais

Em qualquer obra, a fundação é o item que suporta toda a carga estrutural e a transmite ao terreno. Erros na escolha, no dimensionamento ou na execução das fundações podem gerar transtornos e riscos, além do alto custo para reforços e reparos (SINHORINI, 2017).

De acordo com Cintra e Aoki (2010), a fundação é o sistema formado pelo elemento estrutural e o elemento geotécnico, ou seja, é a combinação entre resistência estrutural aos esforços solicitantes e a adequada rigidez do solo, que evita deformações excessivas.

As fundações são classificadas de acordo com a transferência de cargas para o solo e quanto à profundidade da cota de apoio (CINTRA; AOKI, 2010). As fundações diretas são classificadas pela transmissão das cargas para o solo preponderantemente sob a base da fundação, tais como as fundações rasas e os tubulões. Nas fundações indiretas as cargas são transferidas ao terreno preponderantemente pela superfície lateral (resistência de fuste) ou pela combinação desta com a base (resistência de ponta), tais como as estacas (ABNT NBR 6122:2019).

As fundações rasas são aquelas em que a cota de assentamento da base é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação (altura), como os blocos, alicerces, sapatas e radier. As fundações profundas configuram-se com a cota de assentamento oito vezes a sua menor dimensão (base) e, no mínimo, com comprimento de três metros. Tubulões e estacas classificam-se como fundações profundas (ABNT NBR 6122:2019).

As estacas são elementos de fundação profunda que são executados inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que haja a descida de pessoas, como no caso do tubulão. Além disso, são caracterizadas pela solicitação tanto da resistência lateral quanto de ponta, podendo ser fabricados com diferentes materiais, como aço, madeira, concreto ou pela combinação destes (ABNT NBR 6122:2019).

As fundações devem ser executadas de maneira segura do ponto de vista estrutural e geotécnico. A segurança e a confiabilidade dos elementos de fundação dependem diretamente dos detalhamentos de projetos e do controle do processo executivo. Desse modo, o controle de qualidade na execução das fundações é

fundamental para que haja uma eficiente transmissão das cargas para o solo e uma boa funcionalidade do elemento estrutural (GUEDES *et al.*, 2018).

Durante o processo de execução, alguns danos podem surgir ao longo do fuste fazendo com que a integridade ou a capacidade de carga da estaca possam ser comprometidas (SINHORINI, 2017). Por exemplo, para as estacas escavadas, ou seja, moldadas *in loco*, pode ocorrer o estrangulamento, presença de espaços vazios ao longo do fuste, separação do concreto durante o lançamento, dentre outros. E mesmo após a instalação, as estacas podem ser danificadas devido à movimentação lateral do solo consequente da presença de equipamentos pesados, ou falhas de muros de contenção (HUSSEIN; LIKINS, 2005).

Portanto, pela possibilidade de possíveis danos nas estacas, é necessária a execução de ensaios para verificações de qualidade e conformidade dos elementos de fundação executados, como o teste de integridade das estacas (PIT), executado na obra referenciada como estudo de caso nas estacas escavadas *in loco* (GUEDES *et al.*, 2018).

2.2.3.2 Pile Integrity Testing (PIT)

O teste de integridade de estacas PIT (do inglês, *Pile Integrity Testing*) é um ensaio dinâmico de baixa deformação que pode ser executado tanto em estacas do tipo hélice contínua, estacas moldadas *in situ* ou pré-fabricadas. O ensaio detecta falhas potencialmente danosas às fundações, como fissuras significativas, redução no diâmetro e descontinuidades ao longo do fuste, e em alguns casos, o PIT pode ser utilizado ainda para a determinação do comprimento de estacas pré-existent (SINHORINI, 2017). Conforme Cintra *et al.* (2013), o ensaio PIT apresenta como vantagem o fato de ser realizado em todas as estacas, ao contrário dos ensaios de prova de carga dinâmica PDA (do inglês, *Pile Driving Analyzer*).

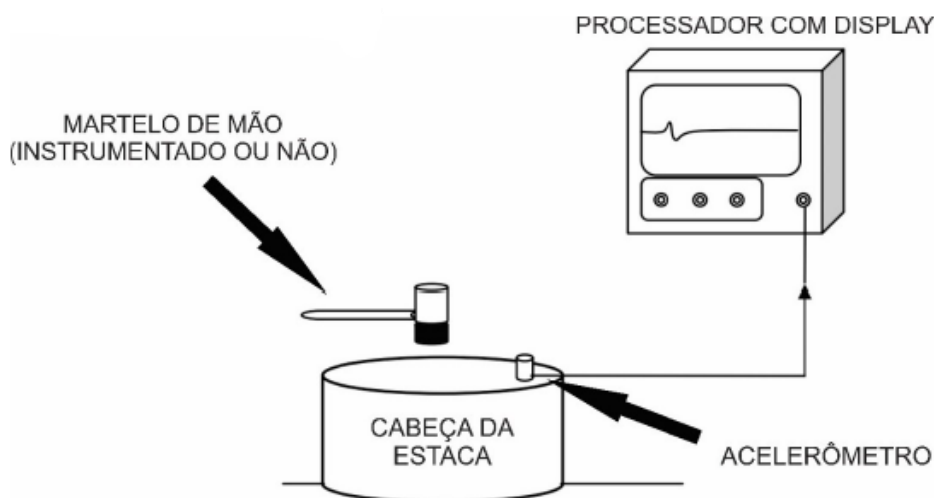
O PIT não possui uma norma brasileira que regulamenta a execução do ensaio, sendo que a ABNT NBR 6122:2019 apenas sugere a execução de ensaios dinâmicos. O ensaio é regulamentado pela norma americana ASTM D5882:2016.

Hertlein e Davis (2006) descrevem que o ensaio consiste na batida de um martelo portátil na cabeça da estaca, gerando uma onda de compressão que desce canalizada pelo fuste e se comporta como uma onda unidimensional em uma barra. Parte da onda é refletida para cima onde há qualquer variação de impedância ao longo da estaca, sendo a impedância a resistência oferecida pelo meio à propagação da onda

(SINHORINI, 2017). De acordo com Cintra *et al.* (2013), alterações na seção das estacas, densidade e módulo de elasticidade do concreto são situações que alteram o sinal de impedância, gerando-se reflexões na onda de tensão que propagam em direção ao topo da estaca.

Ao topo da cabeça da estaca são acoplados sensores que mensuram as respostas do ensaio, conforme representado na Figura 14.

Figura 14: Representação esquemática do ensaio PIT



Fonte: HERTLEIN; DAVIS, 2006, adaptada.

Para a preparação da estaca previamente à execução do ensaio, o material de topo deve ser manipulado de tal modo que não haja irregularidades a fim de garantir uma transmissão adequada da onda de tensão ao longo da estaca. O sensor que é acoplado no topo da estaca deve ser fixado por meio de material viscoso, por exemplo, cera de petróleo, que permite fixá-lo adequadamente. O teste deve ser executado pelo menos três vezes, a fim de obter resultados representativos e chegar a um resultado médio a partir da análise desses resultados individuais (GUEDES *et al.*, 2018).

A verificação da integridade é realizada examinando-se a forma da curva de velocidade por tempo e qualquer alteração de impedância ocorrida ao longo da estaca pode ser vista como uma variação de velocidade (ASTM D5882:2016). A velocidade de propagação esperada em estacas de concreto situa-se entre 3.600 m/s a 4.400 m/s (SOLOCONSULT, 2020).

Quando a estaca é atingida pelo impacto do martelo uma onda de tensão é gerada e esta onda se propaga ao longo do fuste com uma velocidade que é função exclusivamente das características do material da estaca. A velocidade de propagação é dada pela Equação 10 (CINTRA *et al.*, 2013).

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (10)$$

Sendo,

c : velocidade de propagação da onda na estaca (m/s);

E : módulo de elasticidade do material da estaca (GPa);

ρ : densidade de massa do material da estaca (kg/m³).

Esta onda provoca uma deformação de baixa intensidade, porém com uma aceleração apreciável. O sinal do acelerômetro é amplificado e digitalizado para um computador portátil, onde o programa PIT é utilizado para obtenção e tratamento dos resultados, bem como integra o registro de aceleração para obter a curva de variação da velocidade, no topo da estaca, com o tempo, para cada golpe aplicado.

A impedância da estaca é a resistência imposta à mudança de velocidade das partículas causada pelo golpe desferido em sua cabeça e é calculada pela Equação 11 (CINTRA *et al.*, 2013).

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \therefore Z = \rho \cdot c \cdot A \quad (11)$$

Sendo,

Z : impedância da estaca;

E : módulo de elasticidade do material da estaca (GPa);

c : velocidade de propagação do material da estaca (m/s);

ρ : densidade de massa do material da estaca (kg/m³);

A : área da seção transversal da estaca (m²).

Qualquer alteração de impedância ocorrida ao longo da estaca pode ser vista como uma variação de velocidade. Um aumento de impedância causa uma queda de velocidade, e uma diminuição o seu aumento (SOLOCONSULT, 2020).

A localização do ponto de variação de impedância é determinável por meio do tempo gasto pela onda para ir do ponto onde está instalado o sensor até o ponto de variação da velocidade e voltar até o sensor. Desta forma a variação devida à ponta da estaca é observada o tempo calculado pela Equação 12 (CINTRA *et al.*, 2013).

$$t = \frac{2 \cdot L}{c} \quad (12)$$

Sendo,

t : tempo para a onda percorrer todo o comprimento da estaca e retornar ao sensor (s);

L : comprimento da estaca (m);

c : velocidade de propagação da onda no material da estaca (m/s).

Segundo Sinhorini (2017), as principais vantagens do ensaio são:

- Execução rápida e simples em comparação a outros ensaios de integridade de estacas, sendo possível a realização de 50 ensaios por dia com as estacas previamente preparadas;
- Capaz de detectar danos na superfície do fuste;
- Equipamento leve e portátil, exigindo um mínimo de recursos da obra durante os ensaios;

Como desvantagens e limitações, enumeram-se (SINHORINI, 2017):

- Dificuldade de detecção de segundo dano abaixo de uma maior variação de características do material da estaca;
- Difícil interpretação dos sinais obtidos em alguns casos, inclusive por influência do atrito lateral (que também provoca reflexões da onda);
- Impossibilidade de distinguir entre variação de área de seção e variação de qualidade do concreto (peso específico e/ou módulo de elasticidade);
- Limitação de comprimento da estaca (30 vezes o diâmetro equivalente);
- Dificuldade de detecção de dano muito próximo à ponta da estaca.

2.2.3.3 Manifestações patológicas em fundações por estacas escavadas

A fundação por estaca escavada é difícil de ser monitorada apenas de forma visual, pois a profundidade em que os processos acontecem impossibilita a detecção de falhas e erros por observação, desde a perfuração até a concretagem. Neste contexto, os principais erros de execução de fundações em estacas moldadas *in loco* podem ser (GADOTTI, 2021; MARCELLI, 2007):

- Desmoronamento das paredes de escavação durante a concretagem, causando descontinuidade ou estrangulamento do fuste, comprometendo seu desempenho;
- Execução de estaca próxima a elementos recentemente concretados, na presença de solos instáveis ou pouco resistentes, causando comprometimento da integridade;
- Variação do diâmetro da estaca pela presença de solos muito moles, incapazes de resistir à pressão, causando seccionamento do fuste;
- Queda de material na base, causando redução da resistência de ponta;
- Presença de situação de artesianismo, comprometendo a concretagem;
- Estrangulamento por amassamento das armaduras da fundação.

Após a detecção dessas patologias, o projetista geotécnico analisa possíveis reparos a serem executados na reabilitação da fundação, de modo que possam desempenhar a função estrutural esperada. Portanto, a falta de ensaios para controle tecnológico de fundações profundas pode resultar na sua vulnerabilidade.

2.2.4 Controle tecnológico de concreto

2.2.4.1 Introdução

O concreto é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes e água e, eventualmente, aditivos químicos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

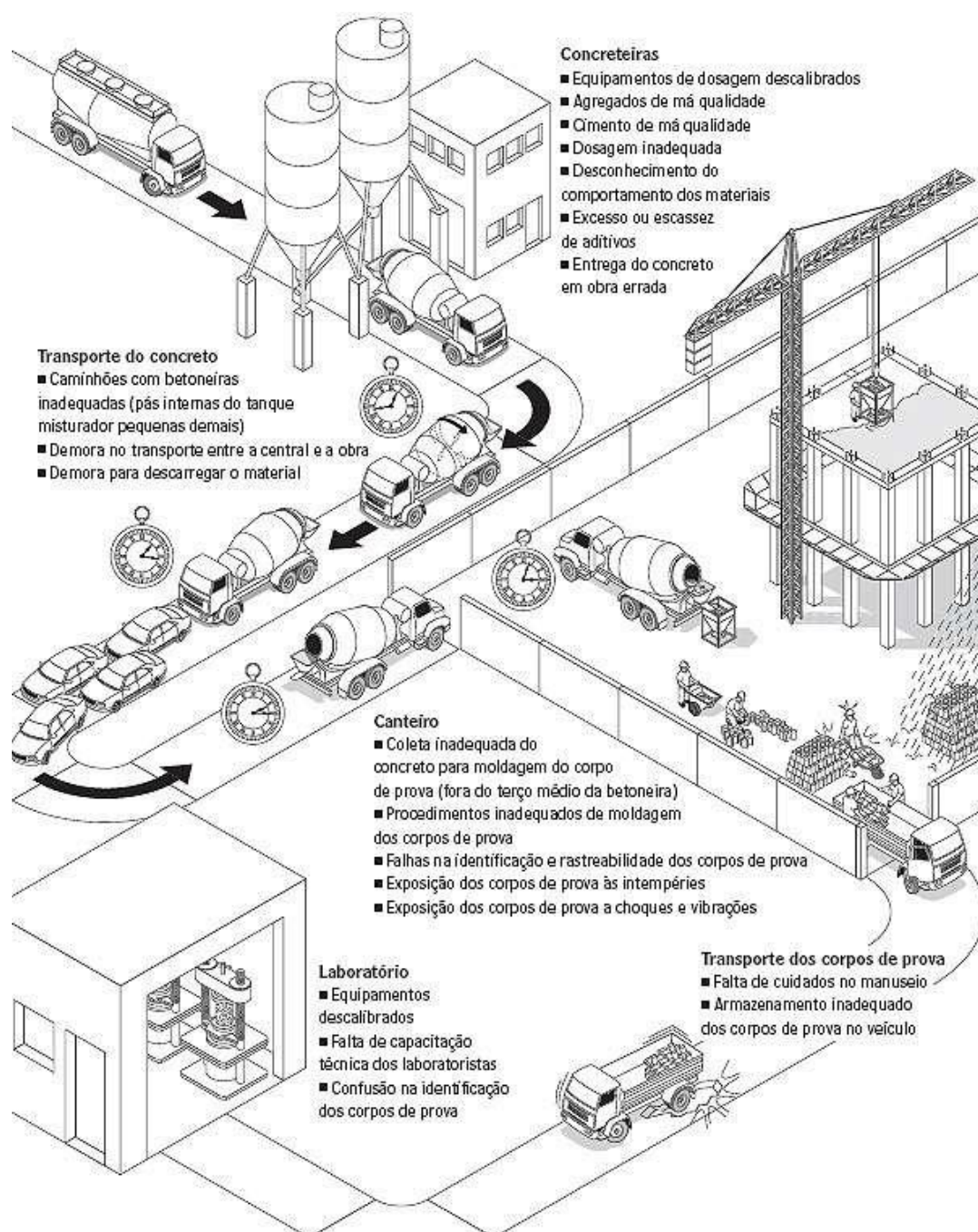
Segundo Martins e Maia Filho (2015), o concreto, por ser um material heterogêneo, depende de diversos fatores para desempenhar sua função estrutural, sendo necessário controlar essencialmente a qualidade dos materiais envolvidos, desde a armazenagem até a etapa da aplicação e processos de cura, para a garantia da boa performance do material.

A principal forma de avaliar a qualidade do concreto é por meio dos ensaios de abatimento do tronco de cone (ABNT NBR 16889:2020) e resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2018) com o rompimento de corpos-de-prova moldados antes da concretagem (ABNT NBR 5738:2015).

Todavia, na maioria das vezes apenas os ensaios mecânicos podem não representar a realidade da estrutura em estudo, devido às condições de lançamento,

cura e adensamento que também são fatores determinantes da qualidade e que podem afetar diretamente o desempenho do material (GUZMAN *et al.*, 2011). Portanto, Faria (2009) aborda a concreteira, os sistemas de transporte, a tipologia e estrutura do canteiro de obras, o laboratório de realização dos ensaios e as condições de transporte dos corpos de prova até o laboratório como fatores determinantes da qualidade do concreto, conforme Figura 15.

Figura 15: Fatores que influenciam na qualidade final do concreto.



Fonte: FARIA, 2009.

Neste contexto, torna-se importante que a obra tenha um plano de concretagem estabelecido, que corresponde a um conjunto de medidas a serem tomadas antes do lançamento do material para assegurar a qualidade da estrutura concretada (ABESC, 2000), como sumarizado na Figura 16. Assim sendo, correspondem a verificações preliminares quanto as fôrmas, escoramentos, armaduras, espaçadores, desmoldantes, bem como a controles durante o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, conforme requisitos na norma ABNT NBR 14931:2004.

Figura 16: Principais etapas de plano de concretagem.



Fonte: ABESC, 2000.

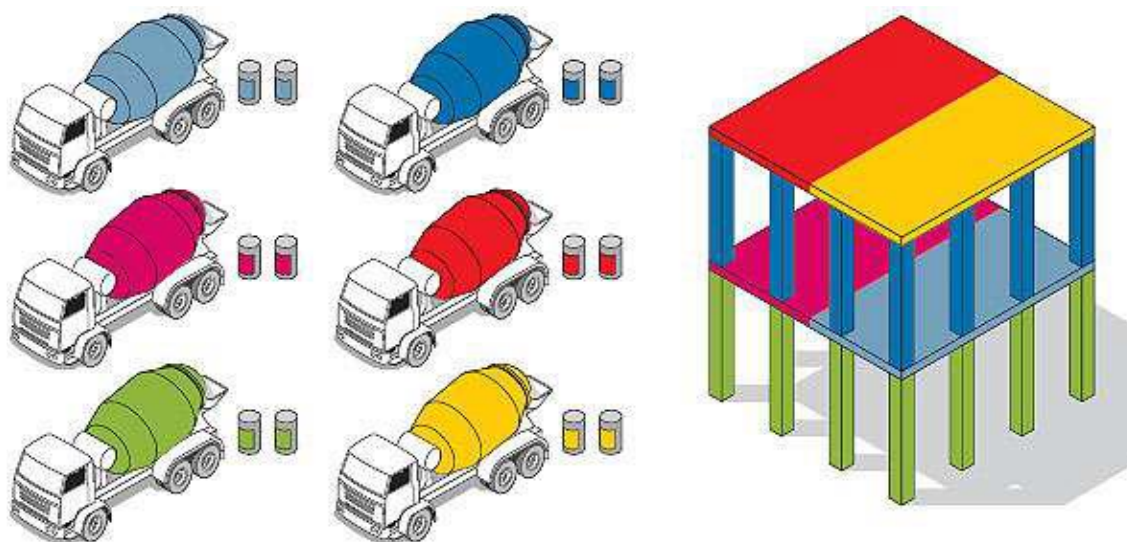
A verificação da conformidade do concreto é normatizada pela ABNT NBR 12655:2015. A primeira verificação é a conferência do lacre do caminhão com o código em nota fiscal, pois em casos de incompatibilidade, as características esperadas não são asseguradas, justificando-se a devolução do lote.

É necessário também a conferência de vários parâmetros presentes na nota fiscal, como a resistência à compressão especificada aos 28 dias, o abatimento e sua tolerância, a carta de traço, assim como o tipo e dosagem de aditivos, se aplicável. Após a checagem do documento, o concreto está liberado para ser analisado quanto ao seu abatimento e, posteriormente, a moldagem de exemplares para ensaios de resistência.

Após os ensaios laboratoriais, em caso de o concreto não atender a resistência de projeto aos 28 dias, é necessário identificar em qual elemento estrutural foi lançado e a qual lote ele pertence, sendo que essa informação é obtida a partir da rastreabilidade do concreto por meio do mapeamento de concretagem. Assim sendo, em situações de não conformidade, possibilita-se a realização de intervenções técnicas (ABESC, 2000). Em alguns casos esse ensaio é realizado em outras idades, comumente aos 7 e aos 14 dias, para a aplicação de intervenções mais rápidas, se necessário. Segundo Faria (2009), o procedimento de rastreabilidade do concreto deve ser feito da seguinte forma:

- Desenhar um croqui da estrutura a ser concretada;
- Moldar pelo menos dois corpos-de-prova para cada caminhão betoneira que chegar na obra, os quais devem ser identificados pela nota fiscal, placa do caminhão e hora de chegada;
- Atribuir uma cor a cada caminhão betoneira, que servirá como distinção no momento do rastreamento;
- Colorir no croqui a área de lançamento do concreto correspondente aos caminhões betoneira, com a cor definida para cada lote (Figura 17).

Figura 17: Mapeamento de concretagem.



Fonte: FARIA, 2009.

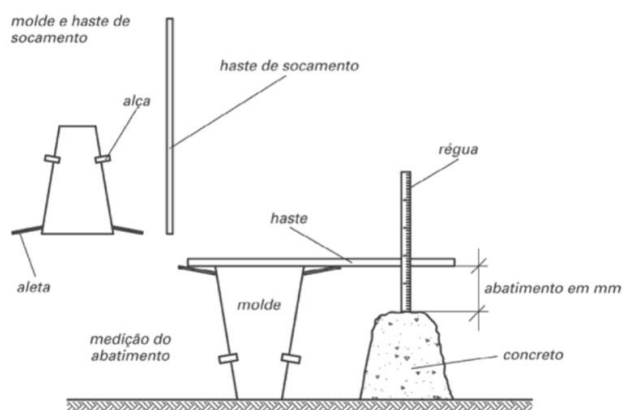
2.2.4.2 Abatimento do tronco de cone

Antes da moldagem dos corpos-de-prova deve ser feito o ensaio para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ou *Slump Test*),

seguindo as orientações da ABNT NBR 16889:2020. Neste caso, deve-se coletar uma amostragem de concreto para este ensaio após o descarregamento em torno dos primeiros 50 litros de concreto (ABNT NBR 16886:2020). Isto é importante pois os primeiros volumes de concreto retirados no caminhão betoneira podem não apresentar homogeneidade adequada e, por isso, devem ser descartados (HELENE; TERZIAN, 1993).

O ensaio de abatimento do tronco de cone consiste em preencher um cone metálico tronco-cônico em três etapas, adensando-se cada camada com 25 golpes com haste de socamento (ABNT NBR 16889:2020). Logo após retira-se o molde para a realização da medida de abatimento em relação a sua altura inicial, cujo resultado deverá estar de acordo com o especificado na carta de traço. A Figura 18 exemplifica a realização deste ensaio.

Figura 18: Execução do ensaio de abatimento do tronco de cone.



(a) Ilustração do ensaio.

Fonte: SENAI-SP, 2013.



(b) Obtenção de abatimento do tronco de cone.

Fonte: Da autora.

2.2.4.3 Resistência à compressão de corpos de prova de concreto

A resistência à compressão se refere aos resultados obtidos ao ensaiar-se corpos de prova cilíndricos em prensa. A idade destes corpos de prova varia e, quando não for indicada, se refere à idade de 28 dias (HELENE; TERZIAN, 1993). A moldagem dos corpos de prova e seu rompimento devem estar de acordo com as normas ABNT NBR 5738:2015 e ABNT NBR 5739:2018, respectivamente. Além disso, são necessárias a moldagem de pares de corpos de prova para cada lote, ou caminhão betoneira analisados, e por idade de rompimento, de modo a possibilitar a análise por controle da resistência do concreto (ABNT NBR 12655:2015).

Segundo a ABNT NBR 5738:2015, as dimensões do corpo de prova cilíndricos devem ser tais que a altura seja igual ao dobro do diâmetro, sendo permitidos corpos de prova com 10 cm, 15 cm e 20 cm de diâmetro, com variação de 1%, e alturas com variação de 2%. Além disso, ainda segundo a norma, o molde deve ser constituído de material não absorvente e não reativo com cimento, garantindo a estanqueidade e evitando a perda de água, bem como ser aberto na extremidade superior para permitir a desmoldagem do concreto sem a sua danificação.

Os moldes cilíndricos devem ser lubrificados utilizando-se óleo mineral e devem dispor de identificação para a adequada rastreabilidade dos corpos de prova. O número de golpes e quantidade de camadas devem ser conforme a Tabela 5, dadas as dimensões básicas do molde e o tipo de adensamento empregado (ABNT NBR 5738:2015).

Tabela 5: Número de camadas para a moldagem de corpos de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: ABNT NBR 5738:2015, adaptada.

É importante ressaltar que a norma declara que a dimensão básica do corpo de prova deve ser no mínimo quatro vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto (ABNT NBR 5738:2015).

O volume de concreto a ser obtido para a moldagem dos corpos de prova deve corresponder à pelo menos 1,5 vezes a quantidade requerida para as moldagens e não pode ser menor do que 30 litros, a ser obtido entre os primeiros 15% de descarga inicial até se atingir 85% do volume total do caminhão betoneira (ABNT NBR 16886:2020).

A haste utilizada para o adensamento do concreto é a mesma empregada para os ensaios de abatimento do tronco de cone e as camadas dispostas devem apresentar volumes semelhantes. A primeira camada deve ter toda a sua espessura atravessada pela haste de adensamento, mas sem golpear à base em demasia. A camada posterior deve ter sua espessura total atravessada, com a haste penetrando cerca de 2 cm na camada anterior. A última camada é constituída de volume excessivo de concreto, completando inteiramente o molde e, após adensada, deve ter seu excesso removido por rasamento com a borda do molde com uso de régua metálica (ABNT NBR 5738:2015). Os corpos de prova devem ser adequadamente identificados e a superfície protegida de intempéries, como exemplificado na Figura 19.

Figura 19: Corpos de prova identificados nos moldes.



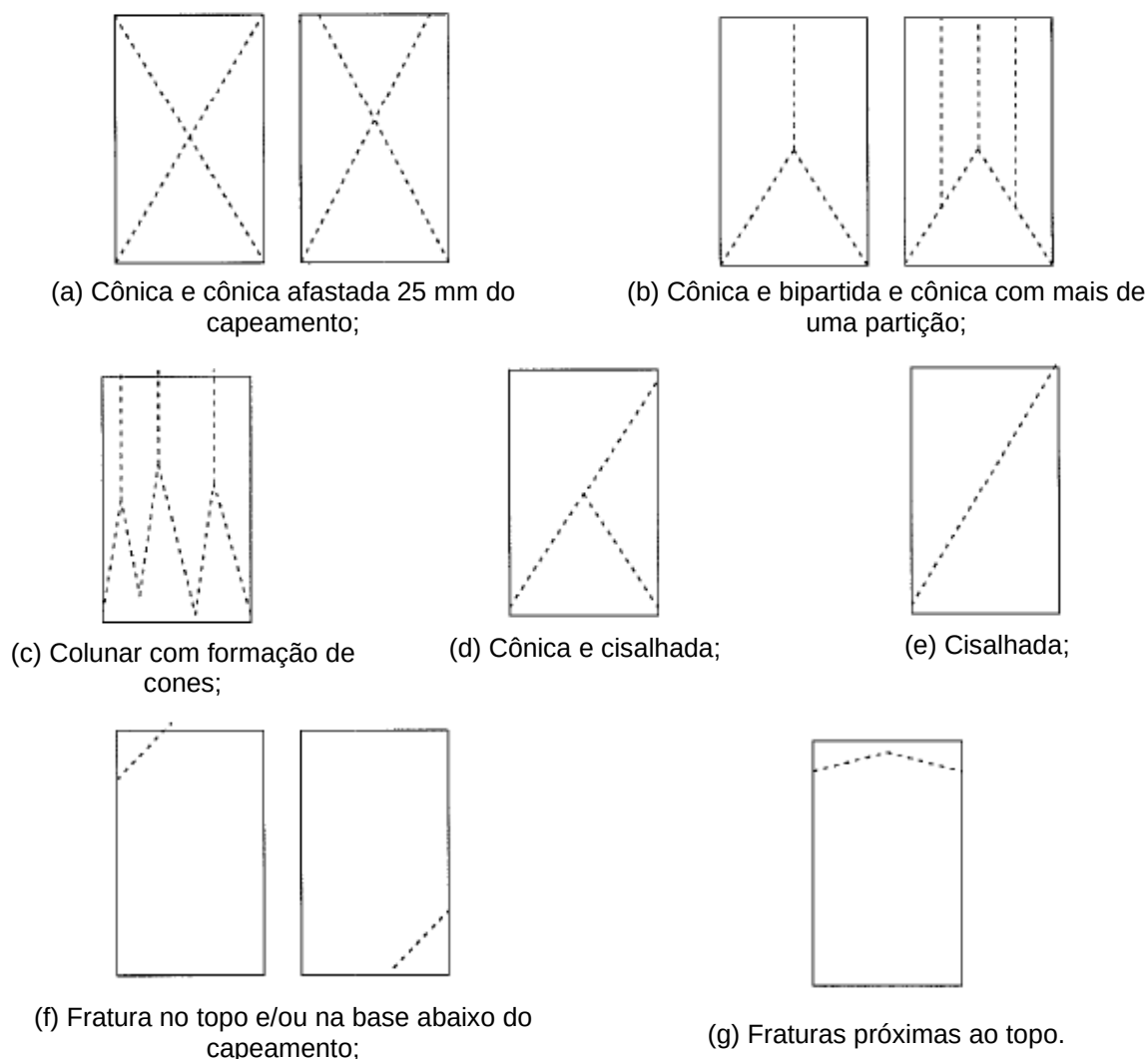
Fonte: Da autora.

Após a moldagem, os corpos de prova devem ser armazenados em local nivelado e coberto pelas primeiras 24 horas, livre de vibrações que possam interferir em sua forma ou propriedades durante o início de pega e cura inicial. Depois disso, o concreto pode ser transportado para o local de ensaio, desmoldados e submetidos a cura em câmaras úmidas ou em tanques de imersão (ABNT NBR 9479:2006) até que a idade de rompimento seja atingida. Uma vez atingida as idades de rompimento, os corpos de prova são retirados da cura e submetidos à retificação ou capeamento, de modo a tornar as superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova e, assim, assegurar a transferência igual das cargas de compressão (ABNT NBR 5739:2018).

O ensaio de resistência à compressão é realizado em equipamento adequadamente calibrado (a cada 12 meses) nas idades especificadas, inclusive aos 28 dias, sendo que o carregamento aplicado deve ocorrer de forma contínua à velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s até o final do ensaio (ABNT NBR 5739:2018).

A resistência à compressão é obtida dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova. O certificado de resultados de ensaio deve indicar as seguintes informações (ABNT NBR 5739:2018):

- número de identificação do corpo de prova;
- data de moldagem e do ensaio;
- idade do corpo de prova;
- resistência à compressão, expressa com aproximação de 0,1 MPa;
- tipo de ruptura do corpo de prova, conforme Figura 20.

Figura 20: Esboço dos tipos de ruptura.

Fonte: ABNT NBR 5739:2018, adaptada.

2.2.4.4 Tipos de controle da resistência do concreto

De acordo com a norma ABNT NBR 12655:2015, os controles de resistência à compressão do concreto aos 28 dias, em relação ao valor de resistência à compressão característica (f_{ck}) indicado em projeto, podem ser realizados por amostragens total ou parcial. Entende-se como amostragem total a moldagem de corpos de prova em cada betonada, ou seja, de todos os caminhões betoneiras. Amostragem parcial corresponde a obtenção de exemplares de corpos de prova em caminhões betoneiras distintas, cujos resultados irão compor a análise da resistência à compressão característica estimada (HELENE; TERZIAN, 1993).

Para fazer o controle do concreto, é preciso moldar pares de corpos de prova para cada idade, executar os ensaios de resistência à compressão e realizar inferências para determinar se o concreto está aprovado ou não. O primeiro passo é fazer a

divisão dos lotes que atendam aos requisitos da ABNT NBR 12655:2015, indicados na Tabela 6.

Tabela 6: Requisitos para a formação de lotes de concreto

Identificação	Solicitação principal dos elementos da estrutura*	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	Três dias de concretagem**	

OBSERVAÇÕES: *Para amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote;

**Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias.

Fonte: ABNT NBR 12655, 2015, adaptada.

Na amostragem total não há limite para a quantidade de exemplares. Contudo, para amostragens parciais, é necessário considerar quantidades mínimas de exemplares (pares de corpos de prova) segundo as classes de resistência do concreto, tais como (ABNT NBR 12655:2015):

- Mínimo de 6 exemplares para concretos do Grupo I ($f_{ck} \leq 50$ MPa);
- Mínimo de 12 exemplares para concretos do Grupo II ($f_{ck} > 50$ MPa).

Segundo a ABNT NBR 12655:2015, para a análise por amostragem total, o valor da resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é dado pela Equação 13.

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada} \quad (13)$$

Sendo,

$f_{c,betonada}$: resistência à compressão do exemplar que representa o concreto da betonada.

Referente a análise por amostragem parcial, para lotes com números de exemplares $6 \leq n < 20$, o valor estimado da resistência característica à compressão ($f_{ck,est}$), na idade especificada é dada pela Equação 14 (ABNT NBR 12655:2015).

$$F_{ck,est} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m \quad (14)$$

Sendo,

m : igual a $n/2$, sendo “ n ” o número de exemplares. Despreza-se o valor mais alto se o número de exemplares for ímpar.

$f_1, f_2, \dots, f_m$: valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Para amostragens parciais com número de exemplares $n \geq 20$, aplica-se a Equação 15 (ABNT NBR 12655:2015).

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \cdot s_d \quad (15)$$

Sendo,

f_{cm} : resistência à compressão média dos exemplares do lote (MPa);

s_d : desvio padrão da amostra com “ n ” exemplares (MPa), conforme Equação 16:

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2} \quad (16)$$

Em casos de lotes não conformes, é necessário avaliar requisitos de projeto para determinar se a parte da estrutura executada com esse lote pode ser considerada aceita, levando em conta os valores obtidos nos ensaios de controle. Em caso negativo, deve ser feita uma nova análise estrutural pelo engenheiro responsável pelo projeto da estrutura, com o objetivo de verificar o atendimento dos estados limites último e de serviço das peças estruturais executadas com esse lote de concreto (HELENE; TERZIAN, 1993).

As análises estruturais podem ser realizadas por extração de testemunhos da estrutura (Figura 21) de acordo com a ABNT NBR 7680-1:2015 ou por análise da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão (Figura 22) a partir da ABNT NBR 7584:2012.

Figura 21: Ensaio de extração de testemunhos.



Fonte: MARTINS; MAIA FILHO, 2015, adaptada.

Figura 22: Ensaio de dureza superficial pelo método do esclerômetro.



Fonte: ESTACECHEN, 2020.

2.2.4.5 Determinação de módulo de elasticidade do concreto

No aspecto da deformação, os materiais submetidos aos esforços podem apresentar comportamentos plástico, elástico ou elasto-plástico. A deformação elástica é aquela em que o material deformado retorna ao seu formato original após a retirada da carga, enquanto na deformação plástica não há esse retorno (PACHECO, 2014). A maioria dos materiais passa por um comportamento elástico, antes de atingir uma deformação plástica, que é irreversível (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

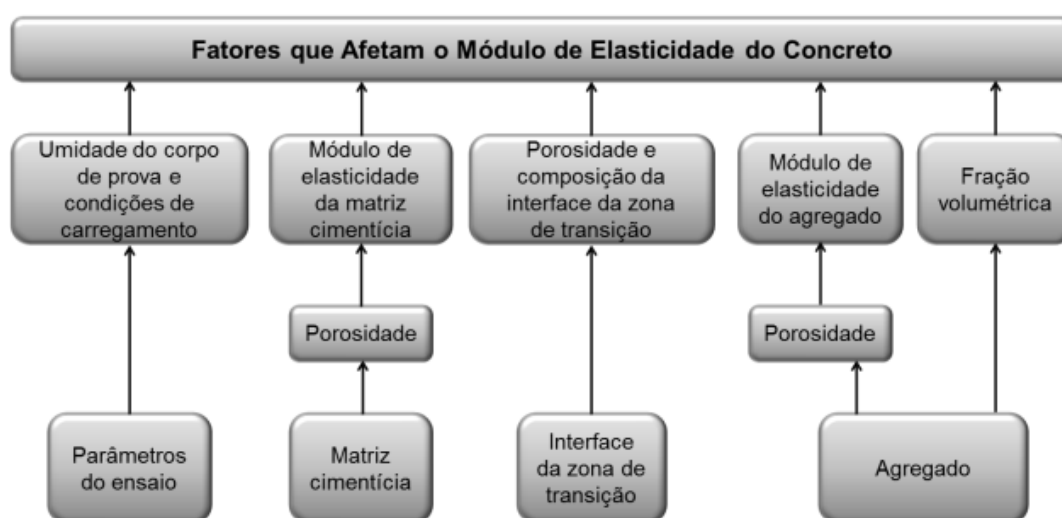
O módulo de elasticidade do concreto é, portanto, um dos parâmetros utilizados nos cálculos estruturais, que relaciona a tensão aplicada à deformação instantânea obtida, conforme a ABNT NBR 8522:2017.

O diagrama tensão-deformação de concretos, diferentemente dos materiais homogêneos, não segue a lei de *Hooke*, que determina uma proporcionalidade entre os valores dessas grandezas em corpos ideais e nem sempre apresenta

proporcionalidade entre a tensão aplicada e a deformação específica resultante (PACHECO, 2014).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), o módulo de elasticidade do concreto pode ser afetado por diversos fatores, indicados na Figura 23, tais como método de ensaio, tensões limites de elasticidade, geometria dos corpos de prova, grau de saturação do concreto, dentre outros.

Figura 23: Fatores que interferem no módulo de elasticidade do concreto.

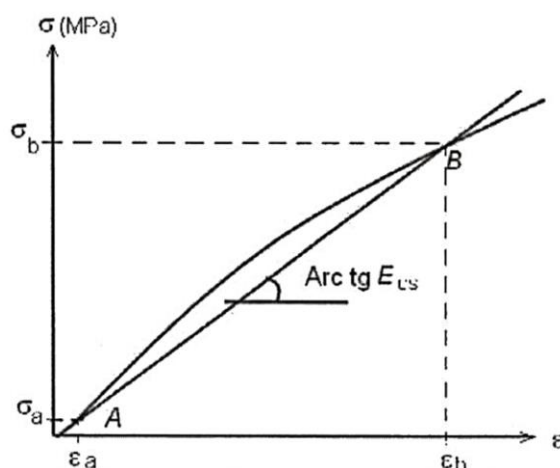


Fonte: MEHTA; MONTEIRO, 2014, adaptada.

Devido a importância desse parâmetro para o desempenho das estruturas de concreto armado, a determinação do módulo de elasticidade vem sendo adotado como procedimento de controle tecnológico de concreto, em conjunto aos ensaios de abatimento e de resistência à compressão (PACHECO, 2014).

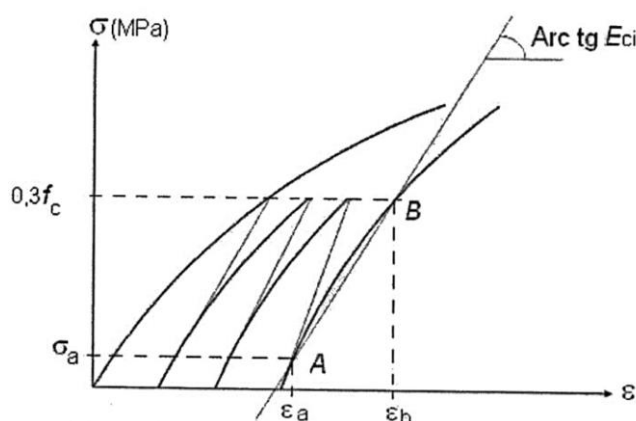
O ensaio estático de módulo de elasticidade do concreto é regulamentado pela ABNT NBR 8522:2017. A norma define módulo de deformação secante do concreto (E_{cs}) como uma propriedade cujo valor é o coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão-deformação. Como apresentado na Figura 24, esta reta é obtida pelo traçado entre dois pontos A e B, iniciados na tensão σ_a , até a tensão considerada no ensaio. O valor de módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}) é considerado equivalente ao módulo de deformação secante entre a tensão σ_a e σ_b , para o carregamento estabelecido para este método. A tensão σ_b equivale a 30% do valor da resistência à compressão do concreto (f_c) (Figura 25).

Figura 24: Representação esquemática do módulo de deformação secante.



Fonte: ABNT NBR 8522:2017.

Figura 25: Representação esquemática do módulo de deformação tangente.



Fonte: ABNT NBR 8522: 2017.

Para a determinação do módulo de elasticidade, a norma prevê que devem ser rompidos no mínimo dois corpos de prova para que a resistência à compressão do concreto possa ser definida, de modo a estimar o valor da tensão σ_b , que é equivalente à 30% de f_c . Já para a determinação do módulo de elasticidade tangente, devem ser rompidos três corpos de prova, conforme previsto em norma.

A determinação do módulo de elasticidade consiste em aplicações de ciclos de carregamento e descarregamento sucessivos, sendo feitas medições de deformações específicas relativas às tensões de 0,50 MPa (σ_a) e 30% da tensão de ruptura (f_c), possibilitando o cálculo do módulo de elasticidade tangente inicial. Para a medição da deformação dos corpos de prova durante o ensaio, a norma permite a utilização de medidores elétricos ou mecânicos, exemplificado na Figura 26 um compressômetro com relógio comparador (LENZ, 2016).

Figura 26: Ensaio de módulo de elasticidade do concreto.



Fonte: LENZ, 2016.

Após a determinação do valor de E_{ci} pelos ensaios, pode-se calcular o módulo de elasticidade secante (E_{cs}) pela Equação 17 (ABNT NBR 6118:2014):

$$E_{cs,calc} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (17)$$

Sendo,

$E_{cs,calc}$: módulo de deformação secante;

E_{ci} : módulo de deformação tangente inicial determinado em ensaio (valor médio);

α_i : parâmetro em função da resistência característica à compressão do concreto, obtido pela Equação 18 (ABNT NBR 6118:2014):

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (18)$$

2.2.4.6 Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

Quanto às estruturas de concreto, a ausência do controle tecnológico na sua produção pode ocasionar a utilização de materiais que não atendam às especificações do projeto ou às normas técnicas. O controle da produção do concreto se dá por atividades relacionadas ao processo de fabricação na central dosadora de concreto, transporte até o canteiro de obras, bem como de todos os serviços de pré-concretagem de inspeção e durante a execução das estruturas.

No caso de concretos dosados em centrais, estas devem realizar o controle de produção continuamente para acompanhar a qualidade das matérias-primas e a homogeneidade do concreto, conforme requisitos abordados na norma ABNT NBR 7212:2021.

A falta do acompanhamento dos serviços pode ocasionar distintas manifestações patológicas. A norma ABNT NBR 14931:2004 trata das condições de concretagem, por exemplo, os valores de recobrimento das armaduras em função das classes de agressividade ambiental, que são considerados em projetos e requerem controle antes e durante a concretagem. Caso esta etapa por negligenciada, as armaduras podem ficar expostas ao ambiente, com consequente corrosão e comprometendo do desempenho estrutural.

As patologias em concreto mais recorrentes são os vazios de concretagem. O concreto, quando misturado e lançado adequadamente, transforma-se em uma massa homogênea com o agregado gráúdo completamente envolto pela argamassa. Na ocorrência de erros de lançamento ou de adensamento, ocorrerá a segregação do agregado gráúdo da massa de concreto e consequente surgimento de concretos com vazios e permeável, bem como a superfície destes com menores resistências e ausência do recobrimento das armaduras (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

2.2.4.7 Responsabilidades atribuídas à execução de estruturas de concreto

De acordo com a ABECE (2010), as responsabilidades atribuídas à execução de estruturas de concreto são divididas em quatro partes, sendo elas: os projetistas, a concreteira, a construtora e o laboratório de controle. Cada parcela possui suas atribuições, as quais em conjunto possam garantir a qualidade das estruturas concretadas ao final da obra. Portanto, a seguir enumeram-se as atribuições e responsabilidades técnicas neste serviço (ABECE, 2010):

- Responsabilidades dos projetistas:
 - Especificação das características dos materiais;
 - Conhecimento do sistema construtivo;
 - Atendimento às normas técnicas;
 - Integração entre todos os projetistas.
- Responsabilidades das concreteiras:

- Fornecimento de concretos que atendam às normas e especificações técnicas, bem como: tecnologia, materiais, equipe técnica, equipamentos e logística.
- Responsabilidades da construtora:
 - Aquisição de concretos que atendam às normas e especificações técnicas, bem como suas características;
 - Correto transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto;
 - Mão de obra qualificada.
- Responsabilidades do laboratório de controle:
 - Execução de ensaios para avaliação do concreto nos estados frescos e endurecido a partir de requisitos normativos;
 - Manutenção de equipamentos, mão de obra qualificada;
 - Agilidade e confiabilidade nos procedimentos laboratoriais.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 APRESENTAÇÃO DA OBRA

3.1.1 Descrição geral

O objeto do estudo de caso é uma obra pública do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG), localizada na cidade de Elói Mendes, Minas Gerais, executada pela empresa Franco Serviços e Construções, sediada em Belo Horizonte, Minas Gerais. A abordagem apresentada baseou-se na experiência profissional da autora, que trabalhou na referida obra como Técnica de Obras Civas no período de 03/2020 a 01/2021¹.

A obra predial do Fórum de Elói Mendes é composta por 2.149,75 m² de área construída, distribuída em dois pavimentos, sendo o primeiro para acomodação do salão do juri, defensoria, conciliação, arquivo, cela do réu, e o segundo para acomodação das secretarias, gabinetes dos juízes, assessorias, psicossocial, administração, entre outros. O prédio conta com um reservatório superior com área aproximada de 125 m² e um reservatório inferior com área aproximada de 19 m² destinado a coleta de água pluvial para uso como irrigação. Na área externa, a construção conta com bicicletário, estacionamento para motos e estacionamento externo, incluindo vagas para deficiente físico, viaturas e vagas para idosos (TJMG, 2019a). A Figura 27 apresenta o projeto gráfico da edificação predial em construção.

Figura 27: Representação gráfica do prédio Padrão P3 do TJMG.



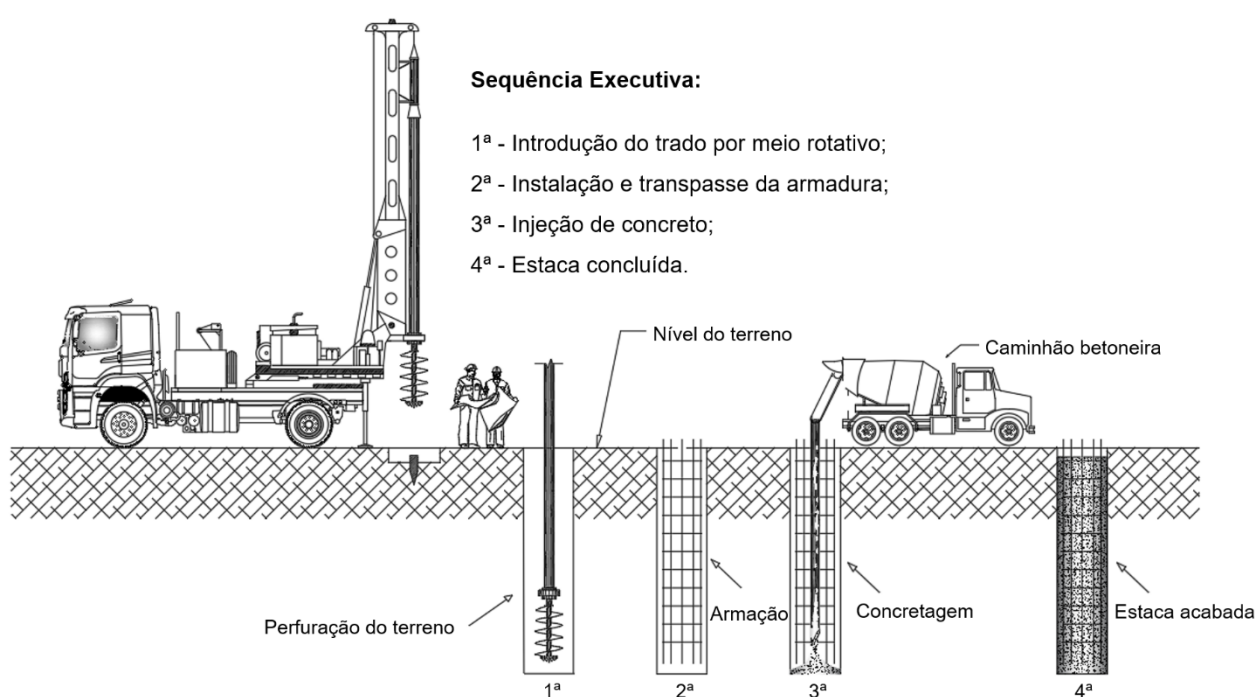
Fonte: MAFRA ARQUITETURA, 2019.

¹ Todas as figuras que apresentam inscrição na parte inferior direita são apresentadas como “da autora”, pois foram registros feitos durante sua atividade na obra, sendo esse uso autorizado pela empresa.

3.1.2 Infraestrutura e mesoestrutura predial

A fundação da obra é composta por 123 estacas de concreto armado de 40 cm de diâmetro escavadas por trado mecanizado, com comprimento útil de 11,0 m e comprimento da armação de 4,0 m. As estacas são agrupadas por blocos de coroamento, podendo conter uma, duas ou até três estacas em cada bloco, e estes são interligados por vigas baldrame. A Figura 28 detalha os processos de escavação e concretagem das estacas.

Figura 28: Metodologia executiva das estacas escavadas.



Fonte: TJMG, 2019b.

O termo mesoestrutura se refere às vigas baldrame e blocos de coroamento, peças estruturais que fazem a ligação da infra com a superestrutura. Esse termo foi adotado em projeto e especificações técnicas do TJMG.

3.1.3 Superestrutura predial

A superestrutura é composta de pilares e vigas de concreto armado e laje com vigotas protendidas, com enchimento com blocos de poliestireno. Ressalta-se que os projetos da obra constam as lajes com treliças pré-fabricadas, que foram alteradas para lajes com vigotas protendidas a partir de proposta apresentada pela empresa executora dos serviços e que foi aprovada pelo órgão fiscalizador do TJMG. Algumas

seções do edifício são compostas por lajes maciças, como nos banheiros e no reservatório superior.

As técnicas construtivas para a execução dos demais serviços de superestrutura estão sumarizadas a seguir (TJMG, 2019a):

- **Estruturas de concreto armado:** execução a partir da concretagem de pilares, vigas e lajes no canteiro de obras;
- **Alvenaria e painéis:** execução de alvenaria em blocos cerâmicos, blocos de concreto, paredes em gesso acartonado (*drywall* resistente ao fogo - RF), acústico, simples e divisórias piso-forro;
- **Esquadrias:** esquadrias em madeira, ferro, alumínio e aço inox estando incluídos: portas, grades, guarda-corpos, corrimãos, alçapões, janelas, brises;
- **Pisos:** os pisos internos serão constituídos por porcelanato, granito e cimentado desempenado. Na área externa da edificação, os pisos serão de bloco de concreto pré-moldado intertravado e piso drenante;
- **Revestimentos internos e externos:** revestimentos de paredes e tetos: reboco, pintura, placas de laminado decorativo de alta pressão, forro fibromineral removível e forros de gesso acartonado. Para as fachadas adotou-se o uso de texturas acrílicas, pintura e granito;
- **Instalações:** instalações hidrossanitárias, inclusive acessórios, instalações elétricas e sistema de proteção contra descargas atmosféricas, instalações de telecomunicações, sistema de segurança eletrônica e instalações de prevenção e combate a incêndio e ar-condicionado.

3.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E CONTROLE DE QUALIDADE

3.2.1 Delineamentos iniciais da obra

As especificações técnicas disponibilizadas pelo TJMG identificam os tipos de serviços, materiais e equipamentos, contendo informações que permitem o planejamento e execução dos métodos construtivos, instalações de canteiro de obras e de demais condições organizacionais, sendo esta dividida em três partes. O caderno A contempla o prédio, que no caso da comarca Elói Mendes é o Padrão P3 do órgão. A parte B diz respeito à seção de implantação (infraestrutura e demais atividades da área externa ao prédio) da construção. O caderno C é de especificação técnica do

elevador. O estudo de caso contempla as especificações técnicas constantes na parte A (TJMG, 2019c) e na parte B (TJMG, 2019d).

O objetivo da especificação técnica é estabelecer critérios de execução da obra e as inspeções dos serviços de engenharia. Nestes documentos, a fiscalização é definida como atividade exercida de modo sistemático pelo órgão e seus prepostos, objetivando a verificação do cumprimento das disposições contratuais, técnicas e administrativas (TJMG, 2019c).

Para a obra em estudo, o órgão estabeleceu visitas semanais ou quinzenais dos fiscais responsáveis pelo acompanhamento técnico por tipologias de serviços. A fiscalização responsável pelas áreas de construção civil e instalações elétricas iniciaram as inspeções a partir da primeira semana de obra; a fiscalização de serviços mecânicos passou a inspecionar os serviços a partir do oitavo mês com a iniciação dos serviços de instalação do sistema de ar condicionado e do elevador. Ressalta-se que a constante presença de fiscais do órgão ao longo da execução da obra contribui para o adequado andamento técnico, físico e financeiro da obra.

Do pessoal técnico e administrativo da empresa executora, foi exigida a contratação de um engenheiro civil residente para acompanhar a obra em horário integral, sendo este inscrito no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) com experiência comprovada por meio de Certidão de Acervo Técnico (CAT) que indica a sua aptidão para o desempenho de atividades pertinentes e compatíveis a obra em questão. A CAT é um documento expedido pelo CREA que permite ao profissional a comprovação de sua experiência técnica, de acordo com as informações constantes nas Anotações de Responsabilidade Técnica (ART) devidamente registradas, sendo um documento hábil para cadastro, participação em licitações, entre outros. A ART por sua vez é um documento que define os responsáveis técnicos pelo desenvolvimento de determinada atividade técnica e fica registrado no CREA de cada profissional.

A equipe de execução dos serviços de produção é composta por um encarregado de instalações, mestre de obras e técnico de segurança do trabalho e a equipe de apoio por vigias, almoxarife e servente para carga e descarga. Além destes profissionais exigidos, por escolha da construtora, poderiam ser contratados funcionários para auxiliarem na execução dos serviços técnicos, neste caso, contando com apoio de um auxiliar de engenharia e uma técnica de obras civis.

A especificação técnica da obra apresentou como exigência preliminar a obrigatoriedade de leitura e compatibilização simultânea entre os projetos: arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, elétrico/SPDA, telecomunicações, segurança eletrônica, sonorização, ar-condicionado, prevenção e combate a incêndio, impermeabilização e sinalização. Neste caso, a construtora deve apresentar a análise de compatibilização e quaisquer possíveis interferências encontradas em até quinze dias do início da obra, para que essas questões sejam discutidas junto à fiscalização a fim de evitar transtornos futuros e alterações de projetos.

Todos os assuntos referentes à obra são tratados por meio de registros em diário de obras, a partir do primeiro dia de serviço, registrando-se as etapas de trabalho, equipamentos, número de operários, ocorrências, contendo os detalhes necessários ao entendimento da fiscalização, que aprova ou retifica as anotações efetuadas.

3.2.2 Fiscalização de materiais e serviços

A especificação técnica para materiais contém referências quanto aos parâmetros que devem ser atendidos, podendo ser utilizado qualquer outra marca de iguais prerrogativas desde que previamente aprovadas pelo órgão. Além disso, à critério da fiscalização, pode ser exigido a alguns materiais ou serviços a apresentação de laudos de controle tecnológico para verificação dos seus parâmetros técnicos, mesmo quando não pré-determinados pela especificação. Todos os ensaios solicitados pela fiscalização devem ser executados por empresas e laboratórios acreditados.

A empresa executora deve fazer uso de controle de qualidade na execução de serviços e aquisição dos materiais contemplados nos escopos técnicos, observando-se as *Planilhas de Controle de Materiais* e as *Planilhas de Controle de Serviços*, que também são fornecidas à construtora juntamente com as especificações técnicas.

A seção de infraestrutura contempla o controle de qualidade referente à execução de fundação pela assessoria técnica de solos, que foi estabelecida a fiscalização ao menos três vezes durante esta etapa de execução. Para a obra em estudo, foi exigido pelo órgão a contratação de profissional especialista em fundações, sob responsabilidade da construtora, para realizar o acompanhamento e a liberação das fundações, incluindo interpretação de resultados dos ensaios de integridade.

Referente à superestrutura, foi exigido à construtora a elaboração de projetos executivos de escoramentos e fôrmas para uma adequada execução e controle dos

serviços de concretagem dos pilares, vigas, lajes, rampas e escadas, inclusive para os balanços da estrutura, fornecidos por empresa especializada.

Os ensaios de controle tecnológicos dos materiais e serviços, objetivo deste estudo de caso, serão abordados no item 3.3.

3.2.3 Planejamento e controle dos processos construtivos

O planejamento dos serviços também é parte fundamental do controle de qualidade na construção civil, sendo que a especificação técnica também aborda questões relacionadas a isto. No planejamento, deve-se descrever o caminho crítico para o desenvolvimento da obra, apontando soluções para as possíveis situações que possam interferir no andamento dos serviços.

Assim sendo, a empresa contratada deve trabalhar com parâmetros de dimensionamento, controle e acompanhamento do quadro de mão de obra própria e de subempreiteira; controle e acompanhamento do custo de cada serviço; controle e dimensionamento dos equipamentos necessários, em função da equipe de trabalho. A Figura 29 corresponde à um caminhão *munk*, equipamento de movimentação vertical/horizontal, que foi utilizado para a colocação das vigotas protendidas utilizadas nas lajes.

Figura 29: Transporte vertical/horizontal das vigotas protendidas pelo caminhão munk.



Fonte: Da autora.

A Figura 30 correspondente ao guincho elétrico (mini-grua) instalado na última laje do prédio após sua concretagem, para facilitar e agilizar o transporte vertical de materiais e equipamentos.

Figura 30: Mini-grua utilizada para transporte vertical de materiais e equipamentos.



Fonte: Da autora.

Baseado no cronograma físico-financeiro da obra, foi sugerida a apresentação de cronogramas semanais de equipamentos, entrada e saída de materiais, contendo especificações, datas de pedidos e prazos de entrega. Também foi solicitado relatório semanal com detalhamento de soluções adotadas para correção das possíveis situações que possam interferir no andamento dos serviços, bem como sugestões de medidas corretivas para a recuperação de atrasos no cronograma, caso ocorra. Contudo, tais medidas corretivas deveriam ser aprovadas pela fiscalização e sem ônus ao TJMG. A

Figura 31 exemplifica o planejamento semanal dos serviços a serem executados. Na Figura 32 tem-se o planejamento de atividades e controle de materiais mensal, indicando-se aqueles que já se encontravam na obra e a data de entrega dos itens comprados.

Figura 31: Planejamento semanal de serviços do mês de julho/2020.

(SEMANA 1) 06/07/2020 até 10/07/2020	
(B.06.02.01) Blocos de fundação do prédio principal - concreto para estruturas	
(B.06.02.03) Cintamento do prédio principal - concreto para estruturas	
(A.20) Reservatório inferior - armação, concreto para laje	
(B.06.02.04.05) Lajes impermeabilizantes - brita 2, manta geotêxtil, lona plástica, armação – tela Q138	
(B.07.01) Muros de arrimo, escadas e rampa de acesso - forma e desforma	
(B.08.02.01) Impermeabilização com imprimação com emulsão asfáltica (estruturas da implantação)	
(SEMANA 2) 13/07/2020 até 17/07/2020	
(B.06.02.04.05) Lajes impermeabilizantes - concreto usinado bombeado fck $\geq$ 15 MPa	
(B.06.02.04.05) Lajes impermeabilizantes - brita 2, manta geotêxtil, lona plástica, armação – tela Q138	
(B.07.01) Muros de arrimo, escadas e rampa de acesso - forma e desforma, armação	
(B.07.01.05.06) Laje da escada - forma sem reaproveitamento, armação e concreto para estruturas	
(A.04.01.01) Pilares - forma e desforma (pilar 1 ao 22)	

Fonte: Da autora.

Figura 32: Planejamento mensal de materiais de serviços do mês de setembro/2020.

MATERIAL/ATIVIDADE	SITUAÇÃO
Vigotas protendidas - cobertura e barrilete	Em obra
EPS Laje de cobertura e barrilete	Em obra
Ferragem CA 50 e CA 60 das vigas e lajes de cobertura, escada 1 e escada 2	Em obra
Escoramento das lajes e vigas de cobertura reescoramento das lajes e vigas do 2º pavimento	Em obra
Malha Q61 - laje de cobertura e barrilete	serão entregues 24/09/2020
Tijolo cerâmico furado esp. 19 cm	5600 unidades entregues na obra
Tijolo cerâmico furado esp. 9 cm	3750 unidades entregues na obra
Tijolo cerâmico furado esp. 19 cm	2800 UN serão entregues dia 25/09/2020
Tijolo cerâmico furado esp. 19 cm	2800 UN serão entregues dia 02/10/2020
Argamassa industrializada para Reboco e assentamento	Serão entregues 28/09/2020
Argamassa industrializada para chapisco	Serão entregues 28/09/2020
Aditivo expensor para argamassa de encunhamento	Serão entregues 28/09/2020
Material elétrico para padrão de entrada	Em obra
Proteção de periferia	Projeto aprovado pela fiscalização e execução já iniciada
Linha de vida	Projeto aprovado pela fiscalização com previsão de início da execução na semana do dia 30/09/2020
Perfil metálico enrijecido (estrutura do telhado)	Etapa de orçamentação
Telhas da cobertura	Etapa de orçamentação
Impermeabilizações da edificação (lajes, cela do réu, instalações sanitárias, reservatórios etc.)	Etapa de orçamentação

Fonte: Da autora.

3.2.4 Especificações técnicas para a entrega da obra

Na entrega da obra, a empresa contratada deve fornecer ao TJMG um Manual De Uso, Operação e Manutenção do Fórum, elaborado por profissional qualificado, contendo:

- Informação aos usuários das características técnicas da edificação;
- Descrição dos procedimentos recomendáveis e obrigatórios para a conservação, uso e manutenção da edificação, bem como para a operação dos equipamentos;
- Informação e orientação aos usuários, em linguagem adequada e de forma didática, com relação as obrigações de atividades de manutenção e conservação, e condições de utilização da edificação;
- Recomendação de ações para prevenir a ocorrência de falhas ou acidentes decorrentes de uso inadequado;
- Recomendação de ações de modo a contribuir para a edificação atingir a sua vida útil de projeto.

A contratada também deverá fornecer *As Built* (como construído) dos projetos de instalação, que diz respeito a um cadastro que representa a configuração exata de todos os elementos construtivos, na concepção real em que foram executados, principalmente as instalações embutidas. São solicitados para os projetos hidrossanitários, elétricos, de entrada de energia, de SPDA, de telecomunicação, de prevenção e combate a incêndio, ar-condicionado, infra e mesoestrutura.

Todas as informações oferecidas pela especificação técnica, mencionadas neste item, são referentes ao controle de qualidade exigido pelo órgão gestor da obra. Essas medidas são exigidas para facilitar o controle da fiscalização e para garantir a qualidade da execução do prédio.

Além dessas obrigаторiedades, são exigidos também ensaios tecnológicos em algumas das etapas dos serviços, que serão mencionados na seção seguinte.

3.3 CONTROLES DE QUALIDADE E TECNOLÓGICO DA OBRA

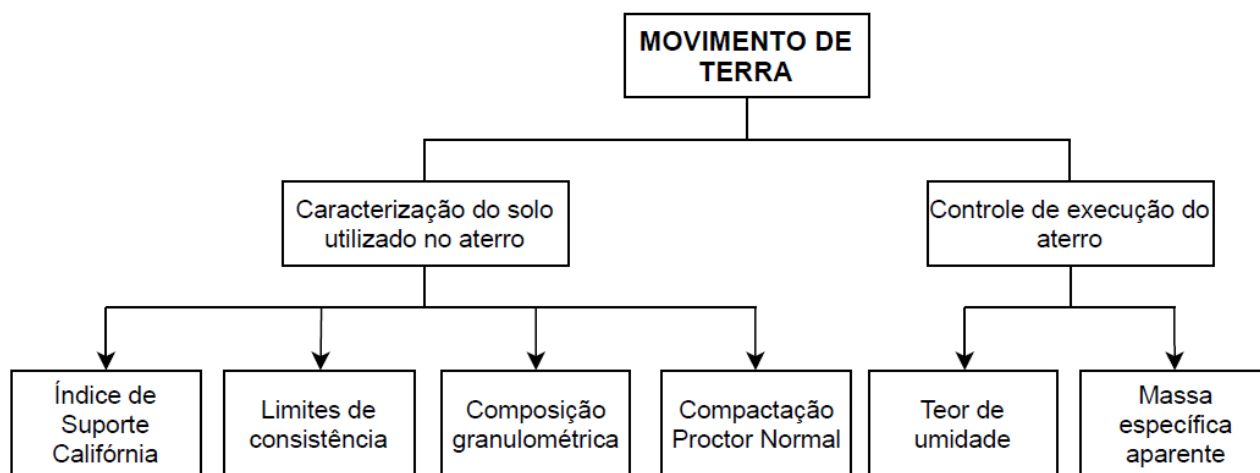
3.3.1 Considerações iniciais

Este tópico aborda os ensaios exigidos pelo TJMG à obra em estudo, presentes também nas especificações técnicas (TJMG, 2019c, 2019d).

Inicialmente, as atividades de controle tecnológico contemplam os serviços de implantação da obra, abrangendo terraplenagem e infraestrutura, além do estacionamento e toda a área externa ao prédio. Devido à seção topográfica do terreno, foi feita a compensação longitudinal de volumes, em que o material proveniente do corte foi utilizado para a execução de aterros compactados.

A Figura 33 sumariza os ensaios exigidos para o controle da execução dos aterros compactados. Com relação à área externa, abrangendo a pavimentação do estacionamento e rampa para entrada de veículos, foram contemplados os mesmos ensaios mencionados para os aterros.

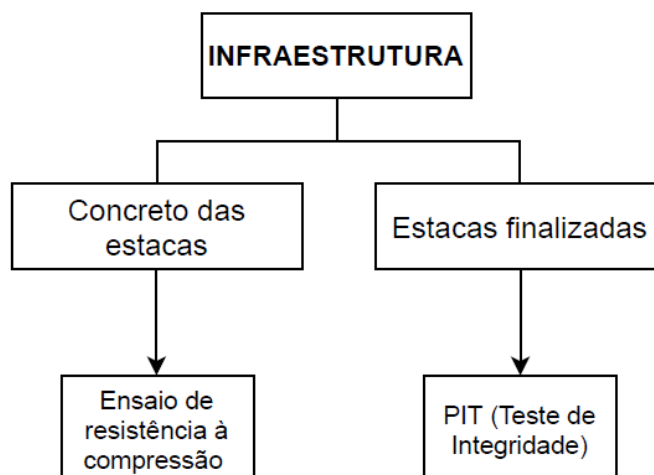
Figura 33: Ensaios referentes ao controle de execução da movimentação de terra.



Fonte: Da autora.

Na seção estrutural, os ensaios exigidos dizem respeito ao controle tecnológico do concreto e controle específico das fundações do tipo estacas escavadas, abordados na Figura 34. Ressalta-se que nesta obra também foram realizados ensaios de prova de carga dinâmica (PDA). Contudo, escolheu-se por abordar neste estudo de caso apenas o teste de integridade (PIT).

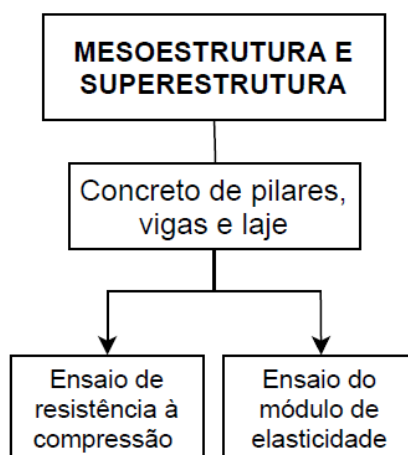
Figura 34: Ensaios referentes ao controle de execução da infraestrutura.



Fonte: Da autora.

Referente à construção do prédio, os ensaios exigidos abrangem principalmente à mesoestrutura e superestrutura de concreto armado, como o controle tecnológico à compressão e para módulo de elasticidade (Figura 35). Além disso, são exigidos testes referentes às esquadrias de madeira, sendo solicitada uma das portas prontas, escolhida aleatoriamente, para verificação da especificação estabelecida pelo TJMG.

Figura 35: Ensaios referentes ao controle de execução da mesoestrutura e superestrutura.



Fonte: Da autora.

Na seção de revestimento externo, é exigida a construção de um painel teste para controle da textura acrílica com área mínima de 3,0 m², executado nas mesmas condições do revestimento a ser aplicado nas áreas correspondentes. Na execução da pavimentação, são exigidos ensaios para controle de insumos e controle da camada de base da pavimentação do estacionamento e rampa de acesso. Para o controle das esquadrias de madeira, é exigido uma porta pronta para ser testada e

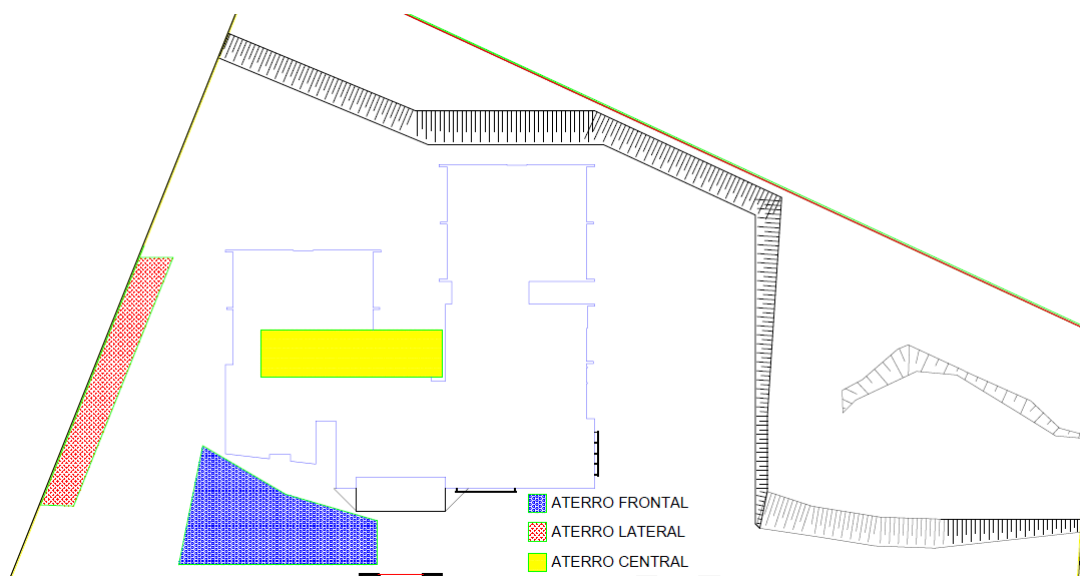
inspecionada quando sua qualidade. Contudo, estes controles de execução não serão abordados por não terem sido acompanhados durante o período compreendido para este estudo de caso.

Os tópicos a seguir abordam os serviços de controle tecnológico referente aos primeiros nove meses da obra.

3.3.2 Execução e controle de aterro

Inicialmente, os serviços de terraplenagem contemplaram cortes no terreno com volume total especificado em projeto igual a 3.681,41 m³. Para a obtenção da conformação topográfica final por nivelamento do terreno, foi especificado a execução de aterro compactado de 189,67 m³, ambos os volumes de corte e aterro obtidos com fator de empolamento adotado de 30% (TJMG, 2019e). No total foram especificados a execução de três aterros, sendo um aterro central na área de construção do prédio e os demais nas áreas externas ao prédio, conforme Figura 36.

Figura 36: Identificação das áreas do aterro no terreno.



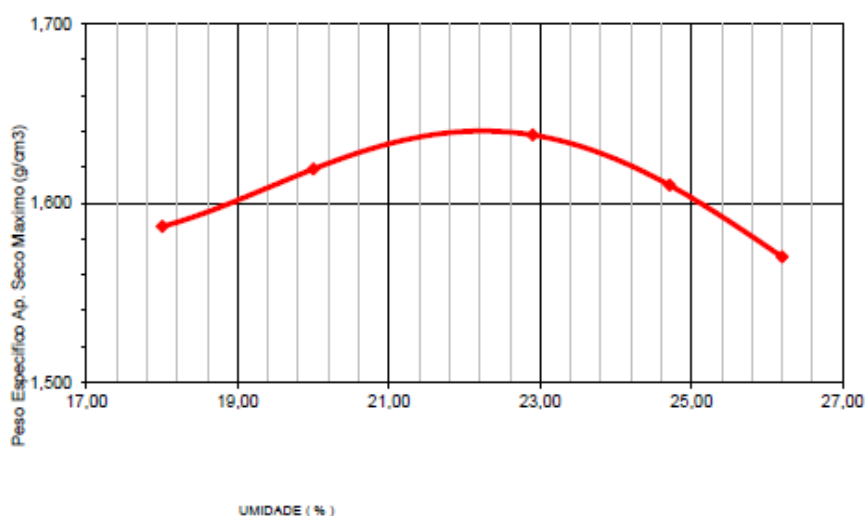
Fonte: ENGEPREST, 2020.

Para viabilizar o emprego do solo de corte no aterro a ser executado, foram realizados ensaios preliminares por empresa especializada, como a obtenção da curva de compactação, Índice de Suporte Califórnia, classificação granulométrica e limites de *Atterberg* (ENGEPREST, 2020), sob responsabilidade de acompanhamento técnico da construtora. A seguir serão apresentados sumariamente os resultados

emitidos pela empresa contratada para o solo de corte, os quais atestaram o seu uso para a compensação de volume nos serviços de movimentação de terra.

A curva de compactação (Figura 37) foi realizada por *Proctor* Normal no laboratório da empresa terceirizada segundo a norma ABNT NBR 7182:2016 abordada no item 2.2.2.1, com obtenção da massa específica aparente seca máxima de $1,638 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima igual a 22,90%.

Figura 37: Curva de compactação do solo para aterro.



Fonte: ENGEPREST, 2020.

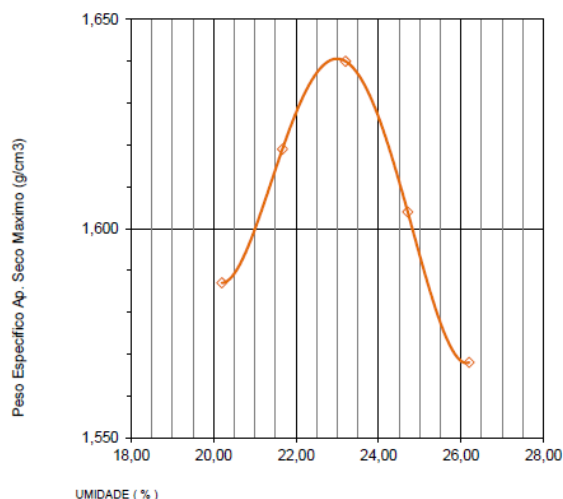
O ensaio para a determinação do índice de suporte Califórnia (ISC) pela norma ABNT NBR 9895:2016 (descrito no item 2.2.2.2) foi feito para a obtenção da curva característica, apresentada na Figura 38. A massa específica aparente máxima obtida foi de $1,64 \text{ g/cm}^3$, com umidade correspondente de 23,20% e expansão de 0,58%. O índice ISC encontrado para o solo foi de 9,80%, ou seja, a resistência à penetração do solo testado é de 9,80% do valor da brita padronizada.

Por meio deste ensaio é possível afirmar que o solo utilizado no aterro atendeu aos valores estabelecidos pela norma DNIT 108/2009-ES, que determina que o solo deve apresentar ISC maior ou igual a 2%, com expansão menor ou igual a 2% (como abordado no item 2.2.2.2).

O ensaio granulométrico foi realizado pela norma DNER 080/1994 a partir do peneiramento de amostras de solo para a sua classificação por composição dos grãos. O solo em análise para aterro é composto por 15,7% de areia média, 10,5% de areia fina e somatório de silte e argila igual a 73,8% (ENGEPREST, 2020). A partir

destes dados, o solo é classificado como argila silto-arenosa, do tipo A-6 pela classificação HBR.

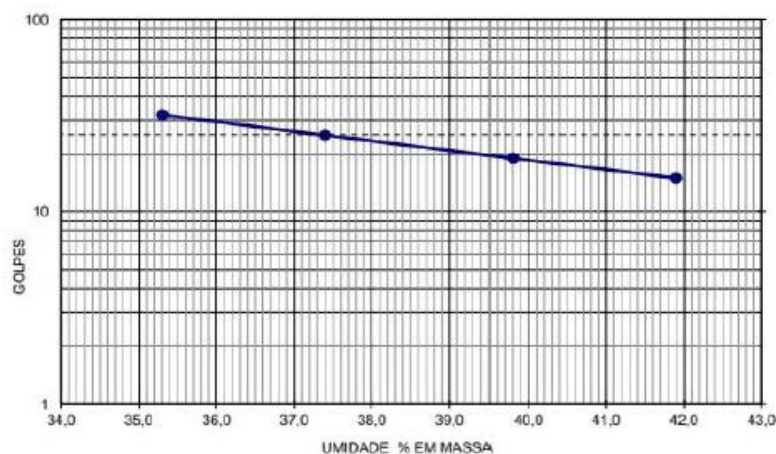
Figura 38: Curva peso específico seco x teor de umidade do ensaio ISC para solo de aterro.



Fonte: ENGEPREST, 2020.

Foram determinados os limites de consistência para o solo, obtendo-se os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) pelas normas ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016, respectivamente (ver item 2.2.2.4). A Figura 39 apresenta o gráfico obtido no ensaio de LL, indicando-se o limite de liquidez igual a 38%, ou seja, a umidade correspondente a 25 golpes no aparelho de Casagrande.

Figura 39: Ensaio do Limite de Liquidez do solo para aterro.



Fonte: ENGEPREST, 2020.

A Tabela 7 sumariza os resultados obtidos para o ensaio de LP (ENGEPREST, 2020), obtendo-se o limite de plasticidade igual a 27%. A partir dos resultados de LL e LP, o solo apresenta índice de plasticidade (IP) de 11%.

O relatório emitido apresentou a classificação pela *Highway Research Board* (HBR) da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) como sendo solo A-6 (ENGEPREST, 2020), ou seja, solo que apresenta argila normalmente em percentuais de 75% ou mais passando na peneira nº 200 (#0,075 mm), podendo conter misturas de materiais argilosos e mais de 64% de areia e pedregulho. Pela classificação normativa brasileira, o solo é do tipo medianamente plástico ($7\% < IP < 15\%$).

Tabela 7: Dados para o ensaio do Limite de Plasticidade

Amostras	Amostra + solo úmido (g)	Amostra + solo seco (g)	Massa água (g)	Massa cápsula (g)	Massa solo seco (g)	Umidade (%)
01	12,716	12,148	0,568	10,061	2,087	27,20
02	12,215	11,767	0,448	10,100	1,667	26,90
03	12,073	11,475	0,598	9,268	2,207	27,10
04	11,264	10,686	0,578	8,529	2,157	26,80
Limite de Plasticidade						27,00 %

Fonte: ENGEPREST, 2020, adaptada.

A partir dos resultados obtidos para o controle tecnológico de solos, foi emitido laudo atestando a aprovação dos volumes de solos de corte para a execução dos aterros compactados (ENGEPREST, 2020) e o restante desse solo foi destinado a uma área de bota-fora concedida e licenciada pela Prefeitura de Elói Mendes/MG, o que foi aprovado pela fiscalização.

Assim sendo, foram iniciados os serviços de execução dos três aterros em conjunto com ensaios em campo, ambos executados pela empresa terceirizada e sob acompanhamento da empresa executora da obra. A Figura 40 apresenta os serviços de compactação dos aterros da obra.

A seguir encontram-se listados os ensaios para controle da execução dos aterros:

- Controle das espessuras das camadas, após a compactação, igual a 30 cm e a última camada de 20 cm, sendo:
 - Aterro central: duas camadas;
 - Aterro frontal: nove camadas;
 - Aterro lateral: quatro camadas.
- Controle da umidade de compactação pelo processo *Speedy Test*;
- Verificação da massa específica aparente *in situ* pelo método frasco de areia (Figura 41);

- Obtenção do grau de compactação (GC) em todas as camadas, utilizando-se os valores da massa específica aparente seca máxima definida em laboratório e a massa específica aparente seca obtida em campo, com limites de aceitação determinados pela norma DNIT 108/2009-ES, conforme mencionado no item 2.2.2.1.

Figura 40: Realização da compactação dos aterros.



Fonte: Da autora.

Figura 41: Execução em campo do ensaio de massa específica aparente.



Fonte: ENGEPREST, 2020.

A empresa executora atestou a conformidade dos três aterros compactados segundo o GC, conforme segue:

“Foram realizados ensaios de compactação na obra do NOVO FORUM DA COMARCA DE ELÓI MENDES/ MG, tendo os ensaios atingido o grau de compactação > 95% PN. E a camada superficial > 100% Sendo assim, esses trechos estão liberados para iniciar a fundação.” (ENGEPREST, 2020, p. 17).

3.3.3 Execução e controle das fundações

O controle da infraestrutura contou com o ensaio de verificação da integridade das estacas e controle tecnológico do concreto quanto a resistência à compressão. Além disso, todas as etapas de infraestrutura foram acompanhadas por uma empresa especializada e seu assessor de fundações, conforme solicitado pelo órgão fiscalizador, que também emitiu laudo de liberação das fundações (SOLOCONSULT, 2020).

A fundação da obra predial contou com 123 estacas escavadas por trado mecanizado, com profundidade de 11,0 m e diâmetro de 40,0 cm, com concreto de resistência característica maior ou igual à 25 MPa aos 28 dias, consumo mínimo de cimento de 300 kg/m³ e abatimento do tronco de cone igual a 10±2 cm.

A locação de cada uma das estacas foi executada por profissional habilitado, utilizando-se equipamentos de precisão tipo Estação Total (Figura 42) a partir das referências de nível e dos vértices de coordenadas implantados no projeto de levantamento topográfico.

Figura 42: Locação das estacas com a utilização de Estação Total.



(a) Visualização geral.



(b) Marcação de estacas após locação.

Fonte: Da autora.

A perfuração das estacas foi realizada com trado curto acoplado a uma haste (Figura 43) até a profundidade especificada em projeto. O equipamento de escavação foi posicionado e nivelado em todas as mudanças de localização, para assegurar a centralização e a verticalidade de todas as estacas.

Figura 43: Perfuração das estacas com trado mecanizado.



Fonte: Da autora.

A fiscalização especificou a realização da concretagem logo após a escavação, ou seja, no mesmo dia da perfuração, com o auxílio de funil de tremonha de comprimento mínimo de 1,5 m para orientar o fluxo de concreto e evitar a sua segregação do longo do fuste (Figura 44).

Figura 44: Concretagem das estacas com auxílio de funil de tremonha.



Fonte: Da autora.

Para o controle do processo executivo, a especificação técnica estabeleceu que não deveriam ser executadas estacas com espaçamento inferior a três diâmetros em intervalo inferior a 12 horas (TJMG, 2019c). Além disso, foi determinado que o lançamento do concreto seja interrompido até 40 cm acima da cota de arrasamento das estacas, sendo esse excesso demolido com auxílio de ponteiros ou marteletes após 28 dias ou até atingir sua resistência de projeto. Tal especificação é baseada no concreto da cabeça da estaca geralmente ser de qualidade inferior, uma vez que pode ocorrer subida de excesso de argamassa ao final da concretagem, ausência de agregados graúdos e possibilidade de contaminação com o solo.

Os ensaios realizados nas 123 estacas foram executados por empresa especializada e sob responsabilidade da construtora, compreendendo-se o Ensaio PIT (*Pile Integrity Test*), detalhado no item 2.2.3. Para a realização deste ensaio, a empresa determinou a preparação das estacas pela construtora, como exemplificado na Figura 45.

Figura 45: Estaca preparada para execução do ensaio PIT.



Fonte: Da autora.

Para a realização do ensaio PIT, é recomendado aguardar até que o concreto atinja sua resistência de projeto, de modo a evitar resultados com variações de resistência do concreto ao longo do fuste, que podem ser detectadas pelo ensaio como possíveis danos.

3.3.4 Execução e controle da mesoestrutura e superestrutura

Os ensaios de controle tecnológico para a execução de concretagens da superestrutura compreenderam a realização de abatimento do tronco de cone (ABNT NBR 16889:2020), moldagem e cura de corpos de prova (ABNT NBR 5738:2015), determinação da resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2018) e módulo de elasticidade (ABNT NBR 8522:2017), conforme detalhado no item 2.2.4.

A resistência à compressão característica (f_{ck}) para os elementos estruturais da mesoestrutura e superestrutura é de 30 MPa aos 28 dias. A Tabela 8 correlaciona os valores do módulo de elasticidade de acordo com as classes de resistência mínima do concreto.

Tabela 8: Propriedades do concreto usado em obra.

F_{ck} - Resistência Mínima à Compressão (kgf/cm²)	E_{cs} - Módulo de Elasticidade Secante (kgf/cm²)	E_{ci} - Módulo de Elasticidade Tangente (kgf/cm²)	F_{ct} - Resistência à Tração Direta (kgf/cm²)
250*	241500	275942	25
300	268384	298012	30

OBSERVAÇÃO: *Dados de f_{ck} igual a 25 MPa especificados para o concreto das estacas.

Fonte: TJMG, 2019b, adaptada.

As informações sobre fator água/cimento, consumo mínimo de cimento e abatimento foram definidas nas especificações técnicas da obra e estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Características do concreto usado em obra.

F_{ck} - Resistência Mínima à Compressão (kgf/cm²)	Fator Água - Cimento	Consumo Mínimo de Cimento (kg/m³)	Abatimento (cm)
250*	0,6	300	10 ± 2**
300	0,6	300	10 ± 2**

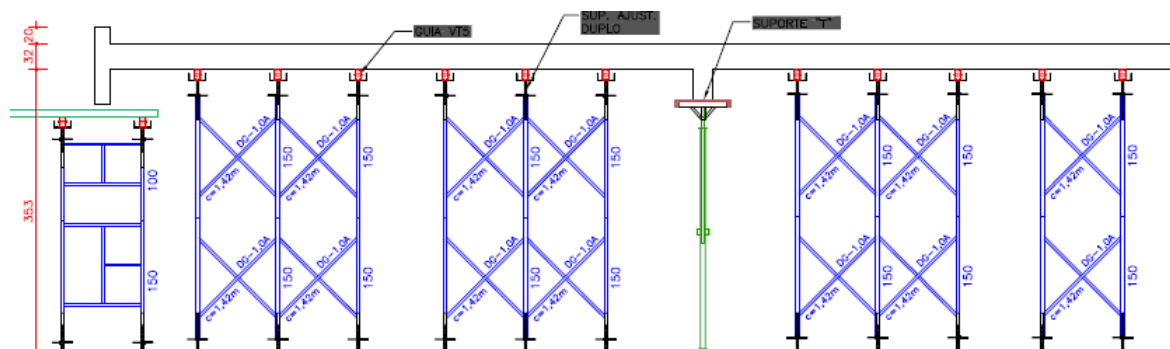
OBSERVAÇÕES: *Dados de f_{ck} igual a 25 MPa especificados para o concreto das estacas;

** O abatimento poderá ser alterado e definido pelo construtor, de acordo com a necessidade da obra, desde que o concreto atinja a resistência pedida em projeto.

Fonte: TJMG, 2019b, adaptado.

A especificação técnica também aborda informações sobre fôrmas, escoramentos e procedimentos para a cura do concreto. Como mencionado anteriormente, a elaboração dos projetos executivos de escoramentos (Figura 48) e fôrmas (Figura 49) foi realizada sob responsabilidade da empresa executora da obra, com elaboração a partir de uma empresa especializada.

Figura 48: Execução de escoramentos de vigas.



(a) Exemplo de detalhamento em projeto do escoramento de vigas.

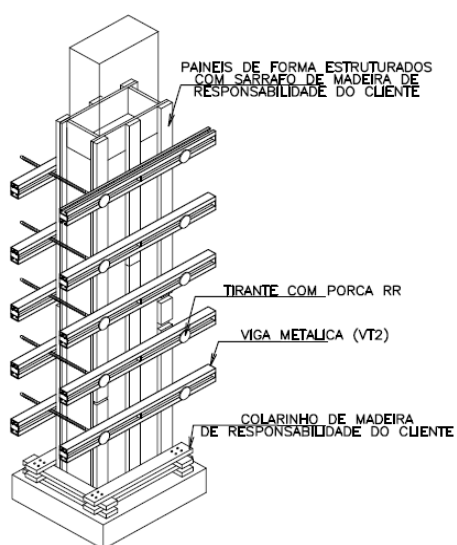
Fonte: TUPI ANDAIMES, ESCORAMENTOS E FORMAS, 2020.



(b) Escoramento de vigas conforme projeto

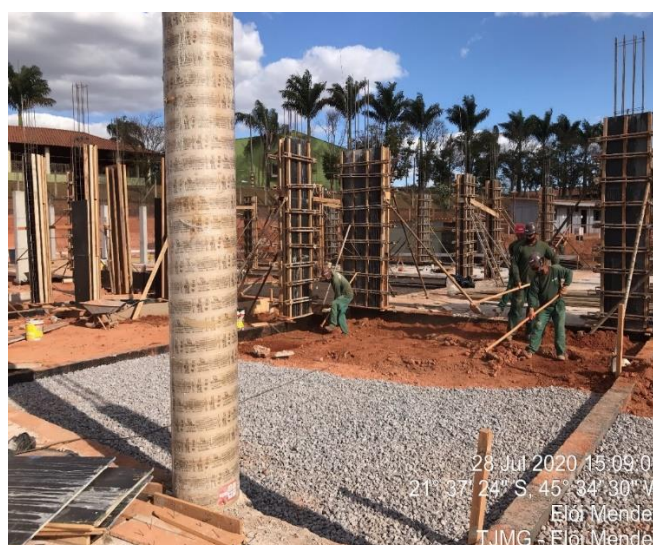
Fonte: Da autora.

Figura 49: Execução de fôrmas dos pilares.



(a) Detalhamento de travamento das formas dos pilares.

Fonte: (a) TUPI ANDAIMES, ESCORAMENTOS E FORMAS, 2020; (b) Da autora.



(b) Pilares com formas devidamente travados, conforme projeto.

Foi especificado que a retirada das fôrmas e dos escoramentos só poderiam ser realizados com concreto suficientemente endurecido para resistir às ações atuantes e não conduzir a deformações maiores que as tolerâncias especificado, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 14931:2004.

Quanto à cura do concreto, foi especificado que elementos estruturais de superfície devem ser curados por via úmida (água potável) até se obter resistência característica à compressão de projeto igual ou maior que 15 MPa (ABNT NBR 14931:2004). Para tanto, as especificações técnicas da obra contêm alternativas de cura do concreto:

- Umedecer a superfície do concreto por aspersão manual de água;
- Manter úmida a superfície do concreto com pequenas barreiras nas bordas da superfície (horizontal) para ocorrer o represamento de lâmina d'água;
- Manter úmida a superfície do concreto com auxílio de sacos de aniagem umedecidos, mantas geotêxteis não tecido umedecidas, camada de areia úmida, camada de serragem úmida ou sacos de cimentos umedecidos.

O método adotado para a cura das lajes, por exemplo, foi manter a superfície úmida com auxílio de sacos de aniagem, conforme a Figura 50.

Figura 50: Cura do concreto utilizando sacos de aniagem.



Fonte: Da autora.

Todo o concreto utilizado na obra foi fornecido por uma única usina dosadora de concreto que atendeu as especificações as normas ABNT NBR 12655:2015 e ABNT NBR 7212:2012 (atualmente cancelada e substituída pela versão de 2021). A empresa forneceu cartas de traço para o concreto de mesoestrutura e superestrutura e que foi aprovada pela fiscalização do órgão, indicado na Tabela 10. O lançamento foi do tipo bombeável e abatimento do tronco de cone igual a 10 ± 2 cm. Na Tabela 11 tem-se a indicação dos materiais empregados na produção do concreto.

Tabela 10: Carta traço com as características do concreto.

fck (MPa)	Cimento (kg/m ³)	Areia Média (kg/m ³)	Areia Industrial (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m ³)	Brita 1 (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo (ml/m ³)	A/C
30	380	441	315	252	751	228	3952	0,60

Fonte: POLIMIX, 2020.

Tabela 11: Informações dos materiais aplicados no concreto.

Material	Tipo	Fornecedor
Cimento	CPV ARI RS	INTERCEMENT BRASIL S/A
Agregado Miúdo 1	Areia Média	CONSTRUTORA LEME EIRELLI
Agregado Miúdo 2	Areia Industrial	MINERAÇÃO SANTO ANTÔNIO
Agregado Graúdo 1	Brita 0	MINERAÇÃO SANTO ANTÔNIO
Agregado Graúdo 2	Brita 1	MINERAÇÃO SANTO ANTÔNIO
Aditivo 1 *	PXT70	MATCHEN - SP

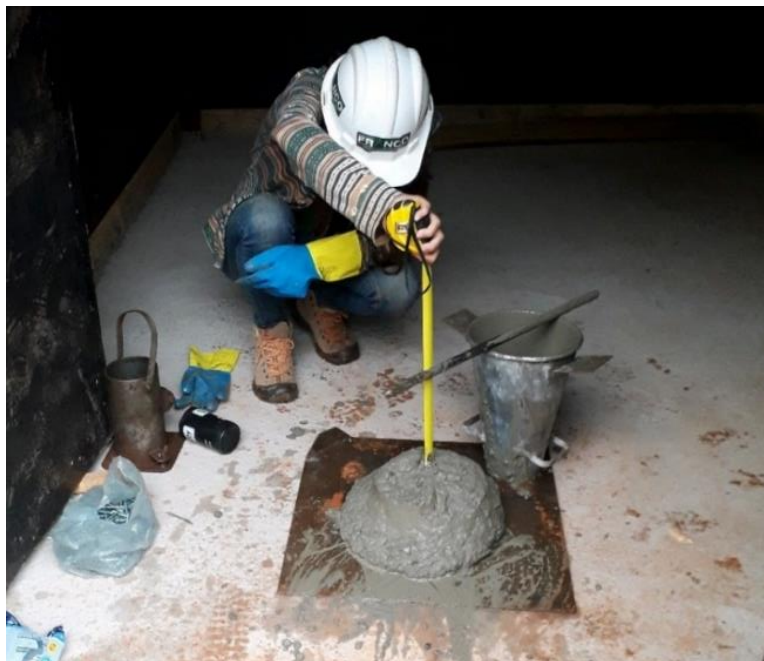
OBSERVAÇÃO: *Aditivo superplastificante para melhorar a trabalhabilidade do concreto.

Fonte: POLIMIX, 2020.

Na chegada de todo caminhão betoneira em obra, foram realizados ensaios de controle tecnológico para verificar suas propriedades no estado fresco e endurecido de acordo com especificado em projeto. A Figura 51 apresenta-se a realização do ensaio de abatimento do concreto na obra.

Após a conferência do abatimento para a aprovação de recebimento do concreto, a concretagem é iniciada e com a obtenção de amostragem do concreto para a moldagem dos corpos de prova (CPs) segundo a norma ABNT NBR 5738:2015 (Figura 52). Para o controle tecnológico do concreto à compressão, a especificação técnica da obra indica a moldagem de CPs a cada caminhão de concreto (7,0 m³) empregado na obra, ou seja, a realização de amostragem total.

Figura 51: Execução do ensaio de abatimento do concreto em obra.



Fonte: Da autora.

Figura 52: Moldagem de CPs no canteiro de obras.



Fonte: Da autora.

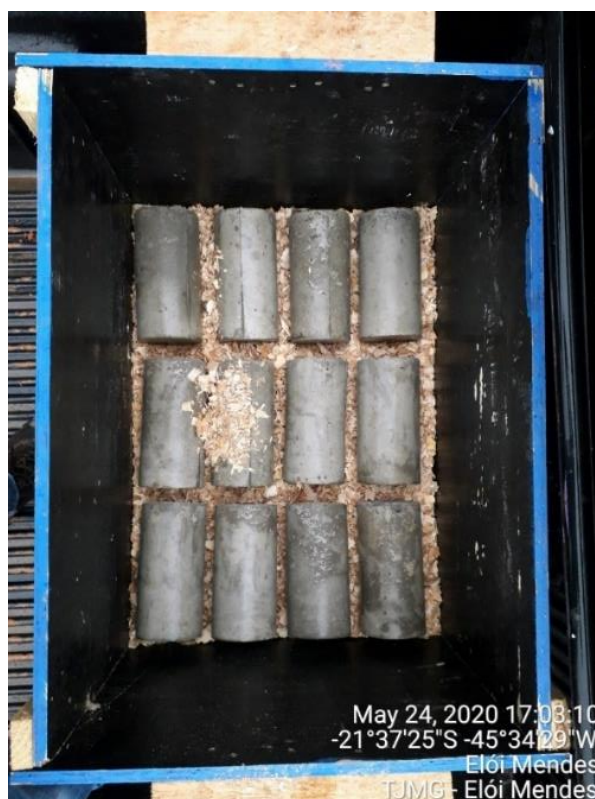
Como procedimento, realizam-se a moldagem de 6 CPs para ensaios de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias. Os ensaios são realizados em laboratório certificado, destinando-se 2 CPs para cada idade de rompimento, sendo que os 2 CPs restantes são reservados a possíveis contraprovas, permanecendo armazenados na obra para serem testados caso o resultado inicial seja inconclusivo.

Para o módulo de elasticidade do concreto, a especificação técnica indica a sua verificação a cada 30 m³ de concreto empregado, a partir da moldagem de 5 CPs para ensaios aos 28 dias segundo a norma ABNT NBR 8522:2017. Dois destes CPs são

rompidos para a definição da resistência à compressão, parâmetro necessário para o ensaio, e os outros três CPs para a determinação do módulo de elasticidade.

Após 24 horas de moldagem, os CPs são desenformados e armazenados em um tanque de água na própria obra para o processo de cura, permanecendo imersos até o transporte ao laboratório, localizado na cidade de Belo Horizonte (MG). A Figura 53 apresenta o procedimento de armazenamento em caixas resistentes e com serragem umedecida entre os CPs para garantir a integridade das peças durante o transporte.

Figura 53: Armazenamento dos CPs para transporte.



Fonte: Da autora.

Os parâmetros para o controle de recebimento do concreto são registrados em formulário que são disponibilizados ao laboratório de realização dos ensaios mecânicos juntamente ao CPs moldados, garantindo-se a adequada rastreabilidade do concreto. Os dados de preenchimento compreendem número de nota fiscal do caminhão, abatimento do concreto, horário de saída do caminhão da central dosadora, horário de chegada em obra e peças concretadas com o lote, dentre outros.

Ao final, depois da liberação de todos os relatórios individuais de resistência à compressão e de módulo de elasticidade de cada lote ensaiado, o laboratório responsável emite Laudo de Aceitação de maneira separada para a infraestrutura,

mesoestrutura e superestrutura. Nos laudos finais estão resumidos todos os valores de resistência e módulo de elasticidade, acompanhados da data de concretagem, número de nota fiscal do caminhão e idade do ensaio final. Além disso está presente no documento uma conclusão contendo a aceitação ou não da estrutura.

Ressalta-se que o órgão fiscalizador da obra exigiu a realização de ensaios de abatimento e moldagem de CPs na obra por um laboratorista disponibilizado pelo laboratório prestador de serviços. Porém, essa situação se tornou inviável, uma vez que a obra está localizada à mais de 300 Km da sede do laboratório, além do grande volume de concreto empregado na obra ao longo da sua execução. Neste caso, foi aprovado pela fiscalização a responsabilidade de realização dos ensaios mediante treinamento fornecido pelo laboratório dos ensaios. A autora foi a responsável por se capacitar (Figura 54) e, portanto, a realização destes serviços de inspeção na obra.

Figura 54: Certificado de capacitação para realização de ensaios do concreto em obra.



Fonte: Da autora.

Como a estrutura do prédio foi inteiramente composta por concreto armado, neste trabalho não será possível abordar os resultados de todos os ensaios do concreto utilizado na obra estudo de caso. Por isso, foi escolhida apenas uma seção estrutural para abordar estes procedimentos de forma detalhada.

Para tanto, serão apresentados os ensaios de controle tecnológico do concreto da mesoestrutura do prédio, ou seja, vigas baldrame e blocos de coroamento, cujos resultados serão abordados no item 4 (Resultados e Discussões). A Figura 55 apresenta uma vista superior das fôrmas e armaduras posicionadas para a concretagem da mesoestrutura a ser concretada.

Figura 55: Fôrmas e armaduras posicionadas para execução de viga baldrame.



Fonte: Da autora.

A cura do concreto foi feita com aspersão de água durante os primeiros sete dias, pelo fato de nesta idade a resistência à compressão ter sido superior ao fck de 30 MPa (conforme será apresentado no item 4.2). Após 14 dias, foi iniciado o processo de impermeabilização das vigas baldrames com emulsão asfáltica (Figura 56), sob forma de pintura, procedimento necessário pois a mesoestrutura permanece em contato com o solo e umidade.

Figura 56: Baldrames impermeabilizados com emulsão asfáltica.



Fonte: Da autora.

3.4 CUSTOS ASSOCIADOS AOS SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO

Com o intuito de discorrer acerca do custo percentual referente aos serviços de controle tecnológico especificados para a obra em relação ao seu custo global, foi realizado um levantamento dos custos atribuídos aos serviços a partir da planilha financeira aprovada para a execução da obra (FRANCO SERVIÇOS E CONSTRUÇÕES LTDA, 2019). Os resultados serão apresentados no item 4 (Resultados e Discussões).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EXECUÇÃO E CONTROLE DE ATERRO

Os ensaios geotécnicos de laboratório permitiram a classificação e o ateste para o emprego do solo de corte na execução dos aterros compactados, segundo parâmetros normativos em vigência.

O conhecimento preliminar da curva de compactação permite o controle e a obtenção do Grau de Compactação (GC) em campo, utilizando-se os valores da massa específica aparente seca máxima e a massa específica aparente seca obtida em campo pelo ensaio do frasco de areia. Permite também, a realização das camadas compactadas com o adequado controle de umidade, necessário para se atingir os limites de aceitação propostos em norma (DNIT 108/2009-ES), atestando-se a conformidade ou não e, assim, a liberação dos serviços posteriores à terraplenagem.

O resultado de Índice de Suporte California, também obtido em laboratório, por indicar a capacidade suporte de um solo compactado, é um ensaio importante e diretamente aplicado para atestar a utilização de um determinado solo para a execução de aterros dentro dos parâmetros normativos (DNIT 108/2009-ES).

Além disso, deve ser ponderada a análise técnico-econômica, considerando a possibilidade da compensação longitudinal de volumes. Esse processo, em que é aproveitado o material escavado nos cortes para o preenchimento do aterro, garante economia com redução de custos, aumento de produtividade, facilidade de execução, diminuição de serviços de transporte e menores impactos ambientais na extração de solos para aterros.

O sistema de classificação de solos na engenharia utiliza como base as propriedades índices simples, como distribuição granulométrica e limites de consistência. Portanto a determinação desses parâmetros permite classificar o solo para avaliar sua adequação para utilização em fins distintos, como construção de rodovias ou composição de aterros.

O limite de liquidez do solo estudado é de 38%, que é o teor de água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido. O limite de plasticidade é igual a 27%, que é o teor de água que indica a passagem do solo do estado plástico ao estado semi-sólido. É possível observar uma proximidade entre a umidade ótima determinada na curva de compactação, de 22,9%, com o índice de plasticidade, o que representa

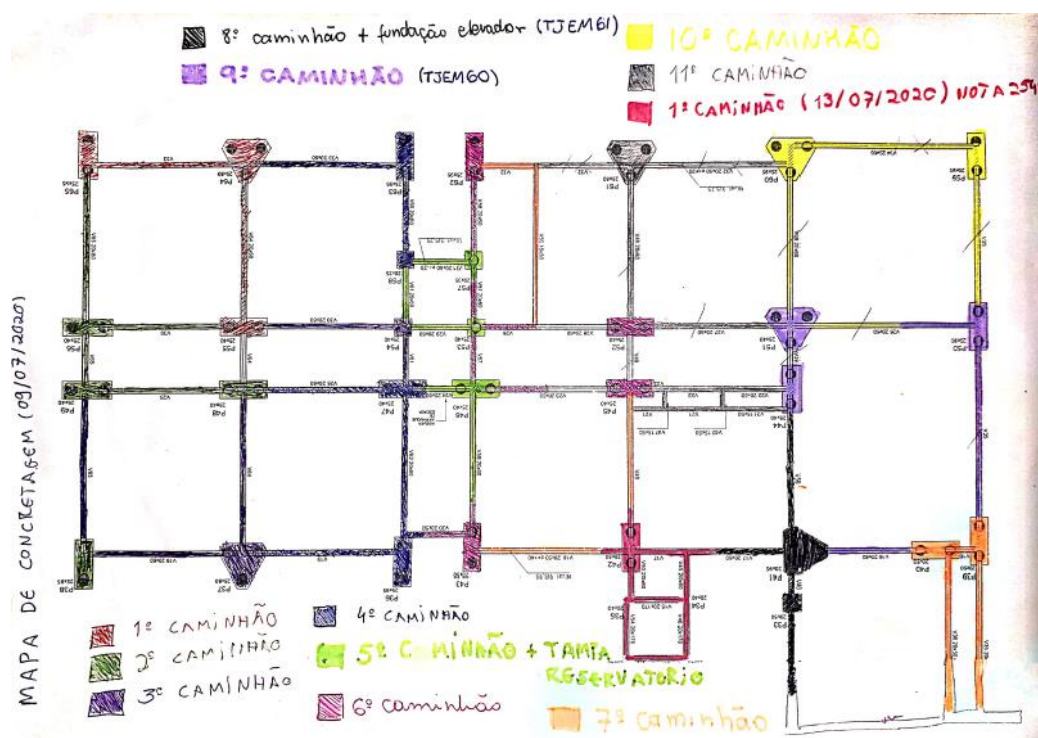
que este solo apresenta sua capacidade mais resistente quando compactado nessa umidade, estando no estado plástico. O impacto do resultado de índice de plasticidade de 11% é a caracterização deste solo como tipo A-6, sendo uma argila silto-arenosa.

4.2 EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

Para exemplificação do controle tecnológico de concreto realizados na obra em estudo de caso, aborda-se a análise dos resultados de corpos de prova moldados de concretos empregados na mesoestrutura com o controle por amostragem total. A referida concretagem aconteceu em dois dias consecutivos devido ao grande volume de concreto, com total de 21 caminhões, sendo 10 recebidos no primeiro dia e os 11 restantes no segundo dia. Como já mencionado, o concreto usado para a mesoestrutura é especificado com resistência à compressão mínima de 30 MPa e módulo de elasticidade mínimo de 26,84 GPa, ambos na idade de 28 dias.

Juntamente aos formulários preenchidos e enviados ao laboratório com os corpos de prova moldados (como abordado no item 3.3.4), a rastreabilidade dos concretos também contemplou o procedimento de mapeamento de concretagem dos 21 caminhões betoneira. A Figura 57 apresenta o procedimento supracitado feito no segundo dia de concretagem da mesoestrutura em análise.

Figura 57: Mapeamento de concretagem da mesoestrutura.



(a) Croqui indicativo da rastreabilidade dos caminhões de concreto.

Figura 57: Mapeamento de concretagem da mesoestrutura (continuação).

Nº CAMINHÃO	DATA	VOLUME (M³)	NOTA FISCAL	Nº CORPO-DE-PROVA
1	26/06/2020	7,0	2356	TJEM-40
2	26/06/2020	7,0	2357	TJEM-41
3	26/06/2020	7,0	2358	TJEM-42
4	26/06/2020	7,0	2359	TJEM-43 e TJEM-44
5	26/06/2020	7,0	2360	TJEM-45
6	26/06/2020	7,0	2362	TJEM-46
7	26/06/2020	7,0	2363	TJEM-47
8	26/06/2020	7,0	2367	TJEM-48 e TJEM-49
9	26/06/2020	7,0	2369	TJEM-50
10	26/06/2020	6,0	2370	TJEM-51
1	09/07/2020	7,0	2481	TJEM-52
2	09/07/2020	7,0	2482	TJEM-53
3	09/07/2020	7,0	2483	TJEM-54
4	09/07/2020	7,0	2484	TJEM-55
5	09/07/2020	7,0	2486	TJEM-56 e TJEM-57
6	09/07/2020	7,0	2488	TJEM-58
7	09/07/2020	7,0	2489	TJEM-59
8	09/07/2020	7,0	2490	TJEM-61
9	09/07/2020	7,0	2491	TJEM-60 e TJEM-62
10	09/07/2020	7,0	2493	TJEM-63
11	09/07/2020	6,5	2494	TJEM-64

(b) Tabela com dados complementares para adequada rastreabilidade.

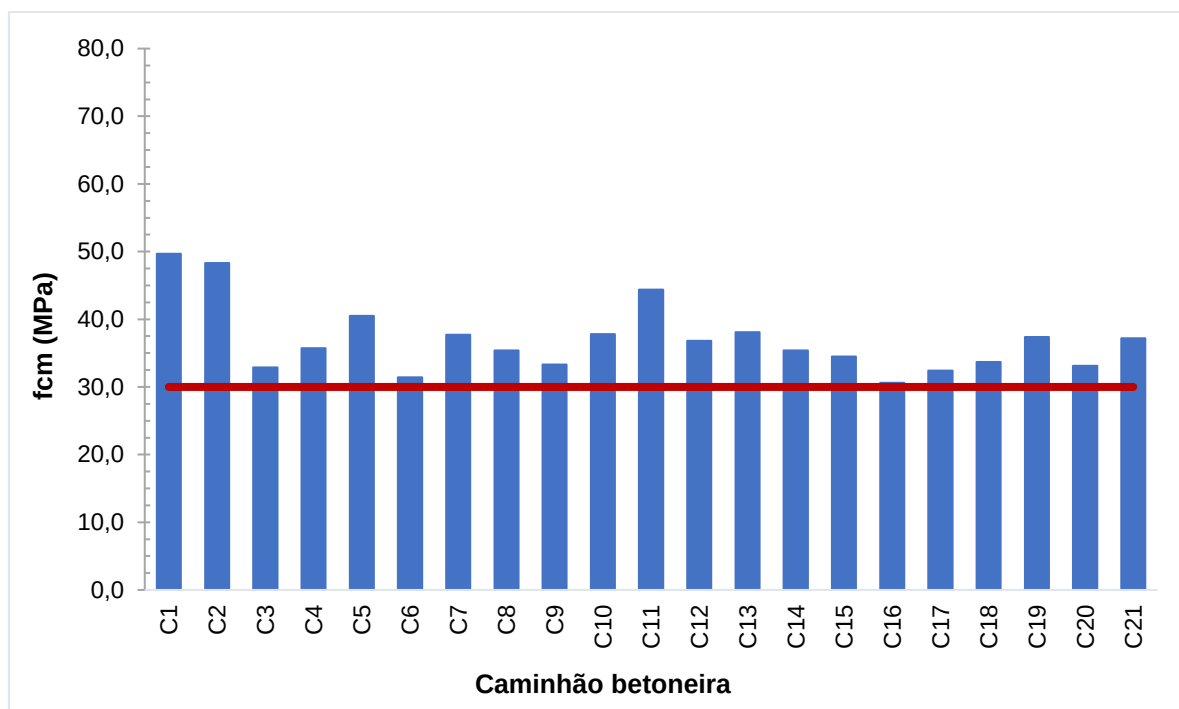
Fonte: Da autora.

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios de resistência aos 7 dias, os quais foram extraídos dos laudos emitidos pelo laboratório (CONSULTARE LABCON, 2020). Como o controle do concreto foi feito por amostragem total, a análise dos dados é feita com o maior valor entre os pares ($f_{ck,est}=f_{c,betonada}$), conforme item 2.2.4. Na Figura 58 tem-se os resultados tratados graficamente.

Tabela 12: Resultados dos ensaios de resistência do concreto da mesoestrutura aos 7 dias.

Nº Caminhão:	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
fc CP1 (MPa)	49,7	48,3	32,9	34,2	40,5	30,7	32,9
fc CP2 (MPa)	49,2	46,1	32,9	35,7	35,2	31,4	37,7
fck,est (MPa)	49,7	48,3	32,9	35,7	40,5	31,4	37,7
Nº Caminhão:	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
fc CP1 (MPa)	34,2	33,3	37,8	42,9	35,7	38,1	34,1
fc CP2 (MPa)	35,4	32,9	34,9	44,4	36,8	36,6	35,4
fck,est (MPa)	35,4	33,3	37,8	44,4	36,8	38,1	35,4
Nº Caminhão:	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
fc CP1 (MPa)	34,0	30,6	32,4	33,4	33,4	32,7	33,6
fc CP2 (MPa)	34,5	30,6	31,6	33,7	37,4	33,1	37,2
fck,est (MPa)	34,5	30,6	32,4	33,7	37,4	33,1	37,2

Fonte: Da autora.

Figura 58: Resultados dos ensaios de resistência à compressão da mesoestrutura aos 7 dias.

Fonte: Da autora.

É possível observar que a resistência de 30 MPa foi alcançada em todos os CPs ensaiados nesta data, devido ao emprego de Cimento Portland CP V ARI na dosagem dos concretos. Portanto, possibilitou-se a desfôrma da mesoestrutura após uma semana de concretagem, bem como o encerramento do período de cura úmida.

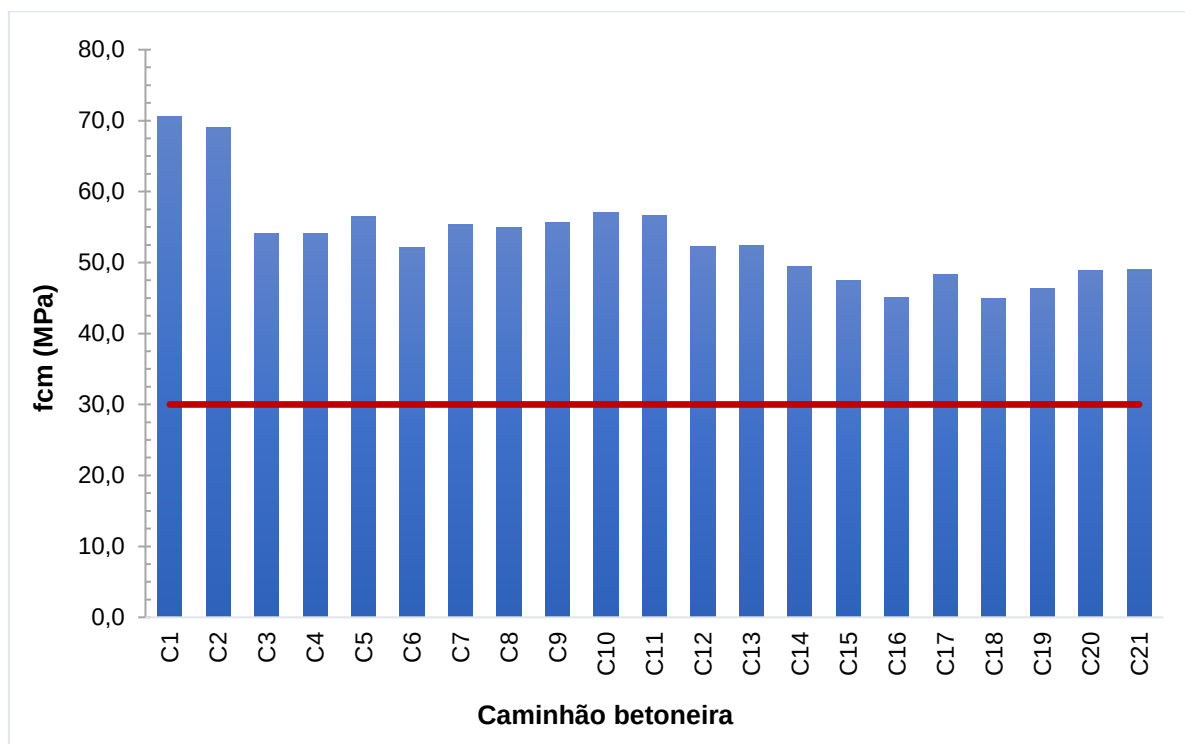
Os resultados dos ensaios de compressão aos 28 dias são apresentados na Tabela 13 e na Figura 59 tem-se os resultados apresentados graficamente.

Tabela 13: Resultados dos ensaios de resistência do concreto da mesoestrutura aos 28 dias.

Nº Caminhão:	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
fc CP1 (MPa)	66,9	69,1	54,1	50,6	56,2	50,8	50,3
fc CP2 (MPa)	70,6	66,8	52,4	54,1	56,5	52,1	55,3
fck,est (MPa)	70,6	69,1	54,1	54,1	56,5	52,1	55,3
Nº Caminhão:	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
fc CP1 (MPa)	55,0	55,2	57,1	55,4	52,2	46,7	47,9
fc CP2 (MPa)	51,0	55,7	56,7	56,7	50,1	52,4	49,4
fck,est (MPa)	55,0	55,7	57,1	56,7	52,2	52,4	49,4
Nº Caminhão:	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
fc CP1 (MPa)	46,1	41,1	48,3	45,0	46,4	48,9	45,5
fc CP2 (MPa)	47,5	45,1	45,4	40,4	44,8	45,9	49,0
fck,est (MPa)	47,5	45,1	48,3	45,0	46,4	48,9	49,0

Fonte: Da autora.

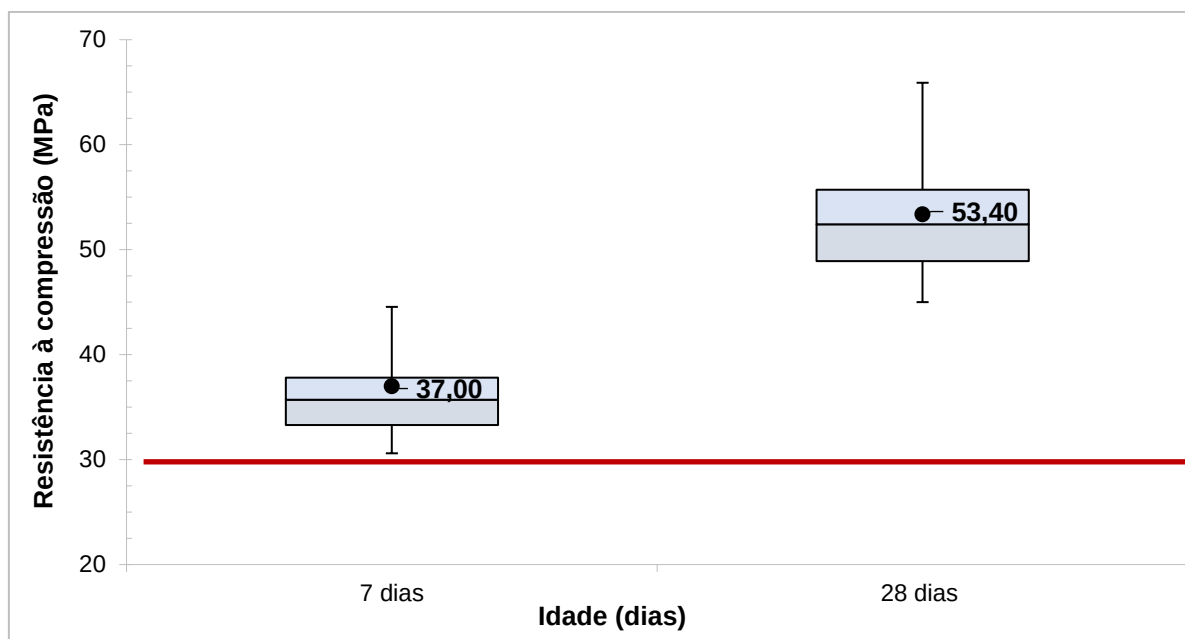
Figura 59: Resultados dos ensaios de resistência à compressão da mesoestrutura aos 28 dias.



Fonte: Da autora.

É possível observar um comportamento relevante de concretos dosados por Cimento Portland CPV ARI, que é o alcance de resistência à compressão característica nas primeiras idades, ou seja, ao se comparar as resistências obtidas aos 7 dias e 28 dias, é possível observar que o ganho de resistência à compressão mais significativo aconteceu até os 7 primeiros dias.

Isso é indicado na Figura 60, que apresenta a distribuição dos resultados de $f_{ck,est}$ (MPa) do conjunto de 21 caminhões betoneiras por diagrama de caixas, de modo a avaliar a distribuições dos resultados para a mesma idade em termos de variabilidade. Nos primeiros 7 dias, o ganho de resistência à compressão médio foi de 37,0 MPa e para os 21 dias subsequentes o intervalo médio de ganho de resistência foi igual a 16,4 MPa, ou seja, correspondente à resistência à compressão média aos 28 dias de 53,4 MPa.

Figura 60: Comparação das resistências à compressão nas idades de 7 e 28 dias.

Fonte: Da autora.

Os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade são apresentados na Tabela 14. Como explicado no tópico 2.2.4, para o ensaio de módulo de elasticidade a ABNT NBR 8522:2017 normatiza inicialmente a determinação da resistência do concreto por meio da média de pelo menos dois CPs ensaiados ($f_{c,média}$), sendo esse valor utilizado para a determinação do módulo tangente. Para a determinação do módulo em si, são ensaiados os outros três CPs e, assim, determinados os valores de módulo de elasticidade tangente (E_{ci}). O módulo de elasticidade secante (E_{cs}), é posteriormente calculado, de acordo ABNT NBR 6118:2014, pela Equação 17.

Tabela 14: Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto da mesoestrutura.

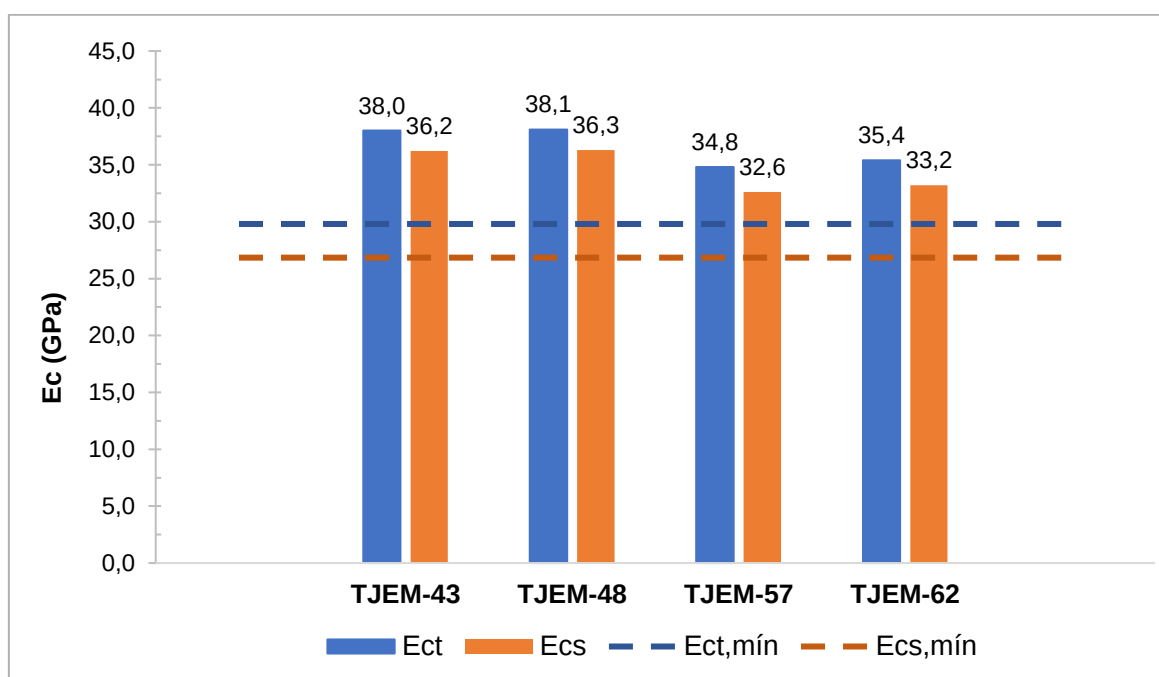
Rastreabilidade*	TJEM-43	TJEM-48	TJEM-57	TJEM-62
fc CP1 (MPa)	61,9	60,8	57,5	55,4
fc CP1 (MPa)	59,8	62,4	53,0	55,0
fc,média (MPa)	60,9	61,6	55,3	55,2
Eci CP3	37,8	37,7	34,8	34,8
Eci CP4	39,1	37,7	35,4	36,6
Eci CP5	37,2	38,9	34,2	34,8
Eci,médio (GPa)	38,0	38,1	34,8	35,4
Ecs, calc (GPa)	36,2	36,3	32,6	33,2

OBSERVAÇÃO: *As indicações de rastreabilidade para moldagens de corpos de prova de concreto estão de acordo com a Figura 57b.

Fonte: Da autora.

Observa-se que tanto o valor mínimo exigido em projeto de módulo de elasticidade secante de 26,84 GPa, como o de módulo de elasticidade tangente de 29,80 GPa foram atingidos pelos concretos ensaiados. A Figura 61 apresenta esses resultados em forma de gráfico.

Figura 61: Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto da mesoestrutura.



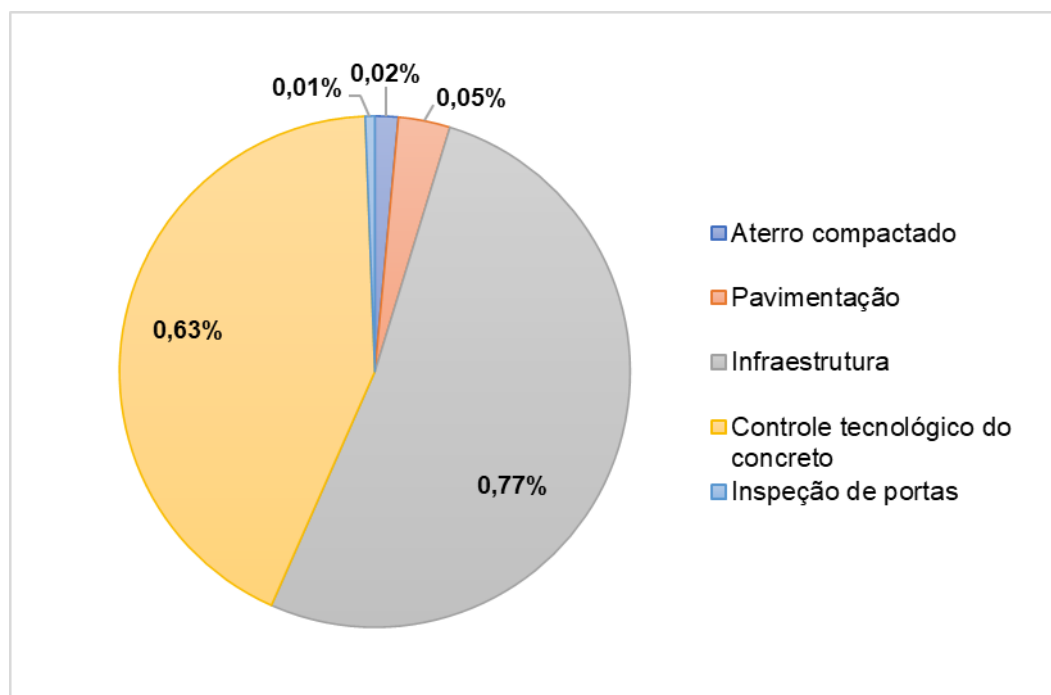
Fonte: Da autora.

4.3 CUSTOS ASSOCIADOS AOS SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO

A Figura 62 apresenta a distribuição percentual de custos atribuídos aos serviços de controles tecnológicos baseada na planilha financeira para a execução da obra (FRANCO SERVIÇOS E CONSTRUÇÕES LTDA, 2019). Verifica-se que o somatório dos percentuais de custos dos cinco grupos de controles tecnológicos exigidos pelo órgão gestor da obra corresponde a 1,48% em função do custo global da obra.

Além de garantir diversas vantagens técnicas, o controle tecnológico em obras representa um custo baixo se comparado ao montante global de todos os serviços, bem como a custos associados a manutenções corretivas, sejam durante a execução da obra ou após a sua finalização, conforme mencionado na literatura.

Figura 62: Distribuição percentual dos custos associados aos serviços de controle tecnológico.



Fonte: Da autora.

Conforme mencionado no item 3.3.1, os ensaios referentes à pavimentação e à inspeção de portas não foram abordados, pois não foram acompanhados durante o período compreendido para este estudo de caso. Além disso, o percentual de custos atribuídos à infraestrutura (0,77%) abrange os ensaios nas fundações de PIT e PDA, sendo este último não abordado neste estudo de caso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou a importância da realização de controles de qualidade e tecnológico no setor da construção civil, abordando práticas que são fundamentais para que o desempenho final do empreendimento seja satisfatório.

Para esta abordagem, foi realizado um estudo de caso de uma obra pública com especificações de controles de materiais e de serviços, possibilitando o embasamento técnico para discorrer acerca desta temática de relevante importância. É necessário frisar que, infelizmente, esta não é uma realidade presente em grande parte de obras prediais no Brasil. Neste caso, a construção civil tende a negligenciar essas práticas e, como consequência, a qualidade e segurança final das edificações não é garantida em sua totalidade.

As análises realizadas a partir dos resultados obtidos nos ensaios de controle tecnológico na obra de estudo de caso apontaram que estes são processos abrangentes e essenciais e que devem estar inseridos em todas as etapas da execução de uma obra. Garantir segurança e qualidade de uma edificação é uma responsabilidade do engenheiro civil gestor, cujos respaldos técnico e legal só são possíveis pela realização de ensaios e acompanhamentos dos processos executivos em campo. Essas práticas são essenciais para que as normas técnicas e especificações de projetos sejam seguidas e realizadas de forma satisfatória.

Aliado a tudo isso, a ocorrência de manifestações patológicas pode ser minimizada com a maior rigidez no controle de qualidade de projetos e dos serviços de construção, sendo que o acompanhamento em obra deve ser feito de forma minuciosa por engenheiros, mestres de obra, técnicos e assessores qualificados. Portanto, o controle de qualidade deve se unir ao controle tecnológico para que erros ou falhas de execução sejam evitados e, caso ocorram possíveis falhas, estas possam ser detectadas por ensaios, que trarão subsídios técnicos para serviços de correções e reparos. Prevenção e manutenção são as formas mais eficazes contra a ocorrência de patologias nos diversos setores de uma obra.

Conforme apontado neste trabalho, a realização de controles técnicos de serviços de infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, além de atestar a qualidade técnica e a segurança final da obra, corresponde um custo em torno de 1,48% do orçamento

global da obra, valor não expressivo frente aos benefícios percorridos que estas práticas trazem à obra executada. É seguro afirmar que a realização destes serviços impacta positivamente em termos técnicos, econômicos e ambientais. Ressalta-se que os ensaios de controles tecnológicos devem ser especificados em função das tipologias construtivas, dentre os distintos segmentos da engenharia civil. Neste caso, os controles abordados tratam dos mais usuais para obras prediais, mesmo que não seja uma realidade atual a sua adoção em todas as obras.

Portanto, ao se abordar a importância da realização de controles tecnológico e de qualidade em obras de engenharia civil, buscou-se com este Trabalho de Conclusão de Curso a quebra de paradigmas quanto a possíveis entraves técnicos e econômicos que possam dificultar a adoção destas práticas por futuros e atuais profissionais de engenharia civil. Também, os inúmeros benefícios de curto a longo prazo são maiores do que os impactos negativos que possam surgir, como manifestações patológicas, geração de resíduos de construção com retrabalhos e gastos com materiais e mão de obra para remediar falhas que poderiam ter sido prevenidas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, listam-se:

- Finalizar o acompanhamento da obra estudo de caso para que todos os ensaios especificados sejam estudados, completando a análise proposta no presente trabalho;
- Realizar o levantamento de possíveis manifestações patológicas em obras finalizadas que sejam similares a do estudo de caso e com os mesmos controles tecnológicos abordados, possibilitando avaliar a eficácia dos serviços executados em comparação a obras que negligenciam esses serviços;
- Realizar uma pesquisa de campo na cidade de Varginha/MG em obras prediais unifamiliares e de múltiplos pavimentos (comercial ou não), de modo a apontar quais são os ensaios de controles tecnológicos que têm sido realizados, incluindo a análise de custos estimados à realização destes serviços;
- Realizar um estudo de caso em obra predial de concepção construtiva não convencional e que tenha adotado serviços de controles tecnológico e de

qualidade, por exemplo: paredes estruturais de concreto, *light steel frame*, alvenaria estrutural, demais fundações profundas, dentre outras;

- Realizar um estudo de caso em obra de engenharia civil não predial, que contemplem ensaios de controles tecnológicos aplicáveis, como em obras de infraestrutura e de mobilidade urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, U.R. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1991. 142 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5882:2016: **Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations**. ASTM International, West Conshohocken, 2016.
- ARAÚJO, L.O.C. *et al.* **O microplanejamento do serviço de concretagem: análise e aplicabilidade das ferramentas da qualidade**. In: II Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (SIBRAGEQ). Fortaleza, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. **Manual do Concreto Dosado em Central**. ABESC. 2000. Publicações Técnicas. Disponível em: < <http://www.abesc.org.br/assets/files/manual-cdc.pdf>>. Acesso em 07 jul. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. ABCP. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA INDUSTRIAL. **Controle Tecnológico do Concreto: Direitos e Deveres**. ABECE. 2010. Disponível em: < http://site.abece.com.br/download/pdf/Minascon_2010.pdf> Acesso em: 15 mai. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. **Fundações: Teoria e Prática**. ABMS/ABEF. São Paulo: PINI, 1998. 2.ed.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo: reparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7185**: Solo: determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212**: Concreto dosado em central: preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7584**: Concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7680-1**: Concreto: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522**. Concreto: determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9479**: Argamassa e concreto: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9813**: Solo: determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo: Índice de Suporte Califórnia (ISC): método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**. Concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação: procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16097**: Solo: determinação do teor de umidade: métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16886**: Concreto: amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **História da normalização brasileira**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Tabela resolução CONAMA N° 307, 05 de julho de 2002**. ABRECON. 15 de agosto de 2017. Disponível em: < https://abrecon.org.br/wp-content/uploads/abrafati_abrecon.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BENETTI, H.P; SILIPRANDI, E.M; JABUR, A.S. **A evolução do sistema de gestão da qualidade em empresas de construção civil no sudoeste do Paraná**. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, p. 2, 2011. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 2011.

BILESKY, P. *et al.* **A importância da acreditação laboratorial e da certificação de mão de obra no controle de aceitação do concreto**. In: LIV CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, p. 3, 2012. **Anais [...]**. Maceió, 2012.

BOLINA, F.L.; TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P. **Patologia de Estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BRASIL. **Lei n° 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Código de Defesa do Consumidor. Brasília, DF, 1990.

BRASIL. **Lei n° 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Código Civil. Brasília, DF, 2002.

BROTO, C. **Enciclopedia broto patologías de la construcción**. Barcelona, 2005. 1396 p. Disponível em: <http://higieneyseguridadlaboralcvs.files.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

CÁNOVAS, M. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. São Paulo, SP, 3ª edição revista e ampliada, Editora LTC, 456 p.1977. Vol. 2.

CARDOSO, F.F. **Certificações setoriais da qualidade e microempresas: o caso das empresas especializadas de construção civil**. 2003. 210 f. Tese (Livre Docência). Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; TSUHA, C.H.; GIACHETI, H.L. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 275, de 25 de abril de 2001**. CONAMA. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002**. CONAMA. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

CARROMEU, C. C.; CAVALCANTE, K. C. de; HELENE, P. R. L.; *et al.* **A importância da acreditação laboratorial e da certificação de mão de obra que realizam os ensaios de controle de aceitação do concreto**. Anais. Maceio: Ibracon, 2012.

CONSULTARE LABCON. **Relatórios de Ensaios e Laudo de Aceitação da Mesoestrutura**. 2020.

DÉCOURT, L. **Fundações: Teoria e Prática**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1998. 265-280 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME 052/1994**: Solos e agregados miúdos: determinação da umidade com emprego do “Speedy”. DNER. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME 080/1994**: Solos: análise granulométrica por peneiramento. DNER. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 108/2009-ES**: Terraplanagem: aterros: especificação de serviço. DNIT Rio de Janeiro, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT Manual de Pavimentação**. 3.ed. 274p. (IPR. Publ., 719). Rio de Janeiro, 2006

DUARTE, T.O. **Desenvolvimento de planilha eletrônica para a distribuição de materiais em obras de terraplanagem**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 62 p., 2013.

ENGEPREST. **Relatório conclusivo do controle tecnológico de solos do novo fórum de Elói Mendes – Controle dos aterros**. Relatório de Ensaio, 2020.

ESTACECHEN, T.A.C. **Comparativo da resistência à compressão do concreto através de ensaios destrutivos e não destrutivos**. Revista CONSTRUINDO, Belo Horizonte. v. 12, n. 02, p. 01-08, 2020.

FACHINI, A.C.; SOUZA, U.E.L. **Subsídios para programação da execução de estruturas de concreto armado no nível operacional**. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 2006.

FARIA, R. **Concreto não conforme**. Revista Técnica, São Paulo: PINI, nº. 152, novembro de 2009.

FORTES, R.M. Proposta para implementação da qualidade total em laboratórios de ensaio para controle tecnológico. In: 29ª REUNIÃO DO ASFALTO, 1996, Mar de Prata. **Anais [...]**. Mar de Prata, 1996.

FORTES, R.M.; MERIGHI, J.V. Controle tecnológico de qualidade – um alerta sobre sua importância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE, 2004), 2004, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 2004.

FRANCO SERVIÇOS E CONSTRUÇÕES LTDA. **Planilha Financeira Global - Fórum Padrão P3V3.1 Elói Mendes/MG**. Belo Horizonte, 2019.

GADOTTI, S. **Patologia das fundações: desenvolvimento de tabelas para catalogar origem, causas, mecanismo**. Revista de Extensão e Iniciação Científica da UNISOCIESC. Blumenau, v. 8 n. 1, fevereiro, 2021. Disponível em: <<http://reis.unisociesc.com.br/index.php/reis/article/view/267>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

GUEDES, E. P. A., *et al.* **Avaliação do controle de qualidade em ensaios de integridade em estacas hélice contínua**. Revista Projectus. Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 91-103, 2018.

GUIMARÃES, M.G.A. **Serviços Preliminares: Movimentação de Terra**. Notas de Aula. Tecnologia das Construções I: Graduação em Engenharia Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 1º semestre de 2019. 2019.

GUIMARÃES, M.G.A. **Agregados**. Notas de Aula. Materiais de Construção I. Graduação em Engenharia Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 1º semestre de 2020. 2020.

GUZMAN, M. P. *et al.* **Comparação entre índice esclerométrico e resistência de testemunhos - Estudo de caso em Brasília**. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 2011, Florianópolis. **Anais [...]**. São Paulo, 2011.

HABSONDA. **Relatório de execução das fundações do fórum da comarca de Elói Mendes/MG**. Relatório da assessoria de fundação, 2020.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

HERTLEIN, B.H.; DAVIS, A.G. **Nondestructive Testing of Deep Foundation**. Chinchester, Inglaterra, 2006.

HUSSEIN, M.; LIKINS, G. **Deep foundations quality control and quality assurance testing methods**. Florida Engineering Society, March, 2005.

LENZ, L.A. **Avaliação da influência do empacotamento do esqueleto granular no módulo de elasticidade de concretos convencionais**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

LIMA, H. **A geometria do reboco**. Revista Construção. São Paulo, n°. 2206, maio, 1990.

MAFRA ARQUITETURA. **Tribunal de Justiça de Minas Gerais - P2 e P3**. Disponível em: <<https://mafra.arq.br/project/tribunal-de-justica-de-minas-gerais-p2-e-p3/>>. Acesso em: 08 abr. 2021.

MALANCONI, M. **Considerações sobre misturas de solos tropicais estabilizados quimicamente para uso como camada de pavimento urbano**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2013.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: PINI, 2007.

MARTINS, A.S.F.S.; MAIA FILHO, H.M. **Verificação da Resistência do Concreto *in loco*: Métodos de Ensaio mais Usuais**. Vetor, Rio Grande, v. 25, n. 2, p. 25-40, 2015.

MEDEIROS, H. **Estacas à toda prova**. Revista Técnica. São Paulo: PINI, nº. 95, 2005.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2 ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

MILLÉO, I.A.F. **Análise de especificações de aterro e correlação entre CBR e capacidade de carga em solos compactados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 175 p. 2012.

MURAKAMI, D.K. **Novo procedimento para a realização de análise CAPWAP no ensaio de carregamento dinâmico em estacas pré-moldadas**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

NIYAMA, S.; AOKI, N.; CHAMECKI, P.R. **Verificação de Desempenho – Fundação: Teoria e Prática**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 723-751.

NOGUEIRA, J.B. **Mecânica dos Solos – Ensaio de Laboratório**. São Carlos, EESC-USP, 2005.

OLIVEIRA, D.F. **Levantamento de Causas de Patologias na Construção Civil**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013.

PACHECO, J. *et al.* **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. In: 56º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO (CBC2014), 2014, Natal. **Anais [...]**. Natal, 2014.

PDI ENGENHARIA. **Ensaio de Integridade PIT – Perguntas mais frequentes**. 2012. Disponível em: <<http://www.pdi.com.br/PIT-port.htm>>. Acesso em: 04 mai. 2021.

PEREIRA, M.S. **Controle da resistência do concreto: paradigmas e variabilidade – Estudo de caso**. 2008. Dissertação de mestrado – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

POLIMIX. **Projetos e Desenvolvimento de Traços - Carta Traço Fórum Elói Mendes**. 2020.

QUINTINO, L.V.P. **Resistência característica à compressão do concreto**. Revista Argamassa, Campo Grande, v. 1, n. 003, set/dez., 2018.

RIBEIRO, K.D.; SOUZA, L.K. **Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 12, n. 2, p. 185-196, 2018.

RIEMMA, R.; NAKATA, V. **120 Anos Poli-USP 1893-2013**. São Paulo: Riemma, 2013.

RODRIGUES, D.M.P. **Caracterização da fundação de pavimentos com os resultados do ensaio com o penetrometro dinâmico ligeiro**. Relatório Final de Projeto (Mestrado em Engenharia da

Construção) - Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 88 p. 2015.

SABBATINI, F.H. **Alvenaria estrutural – materiais, execução da estrutura e controle tecnológico: requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para a solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal**. Brasília: Caixa Econômica Federal, Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano, 2003.

SANTANA, G.L. *et al.* **Influência do coeficiente de irregularidade no custo do transporte florestal**. In: VIII SIMPÓSIO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL. Uberlândia, 2007.

SANTOS, J.A. **Compactação: Elementos Teóricos**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, 2008.

SANTOS, M.R.G. **Deterioração das estruturas de concreto armado – Estudo de caso**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2012.

SENAI-SP. **Mestre de obras**. 2. ed. São Paulo, SENAI-SP editora, 2013.

SINHORINI, G.A. **Estudo numérico da avaliação de integridade de estacas de concreto com o ensaio *pile Integrity test* (PIT)**. 2017, 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

SOLOCONSULT. **Relatório Técnico – Ensaio de Integridade das Estacas**. Relatório de Ensaio, 2020.

SOUZA, C. B. **Limites e possibilidades de aplicações de modelos digitais de elevação gerados a partir de produtos obtidos por sensores remotos nos cálculos de volumes de terraplenagem**. 2018, 93 p. Monografia de especialização em auditoria de obras públicas rodoviárias. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2018.

SOUZA, J.S. **Mecânica dos solos**. Brasília: Editora NT. 2015, 188 p.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998, 255p.

SOUZA E PRESSATO ENGENHARIA. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil (PGRSCC)**. 2020.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE MINAS GERAIS. **EDITAL Nº 170/2019 - Comissão Especial de Licitação**. TJMG. 2019a. Disponível em: <
<http://www8.tjmg.gov.br/licitacoes/consulta/consultaLicitacao.jsf?anoLicitacao=2019&numeroLicitacao=170#>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE MINAS GERAIS. **Projetos Técnicos Comarca Elói Mendes – Estrutural de Implantação: Prancha 01/14 (Locação das Estacas)**. TJMG. 2019b. Disponível em: <
<http://www8.tjmg.gov.br/licitacoes/consulta/consultaLicitacao.jsf?anoLicitacao=2019&numeroLicitacao=170#>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE MINAS GERAIS. **Especificação Técnica: Padrão P3 – Parte A.** TJMG. 2019c. Disponível em: <
<http://www8.tjmg.gov.br/licitacoes/consulta/consultaLicitacao.jsf?anoLicitacao=2019&numeroLicitacao=170#>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE MINAS GERAIS. **Especificação Técnica: Padrão P3 – Parte B.** TJMG. 2019d. Disponível em: <
<http://www8.tjmg.gov.br/licitacoes/consulta/consultaLicitacao.jsf?anoLicitacao=2019&numeroLicitacao=170#>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE MINAS GERAIS. **Projetos Técnicos Comarca Elói Mendes – Terraplenagem: Prancha 01/02 (Planta).** TJMG. 2019e. Disponível em: <
<http://www8.tjmg.gov.br/licitacoes/consulta/consultaLicitacao.jsf?anoLicitacao=2019&numeroLicitacao=170#>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

TESTEZLAF, R. *et al.* **Água Pura.** Cultivar Máquinas, Pelotas, RS, p. 28-31, 2012.

TUPI ANDAIMES, ESCORAMENTOS E FORMAS. **Projetos de formas e escoramento – Obra TJMG, Elói Mendes.** Sabará, 2020.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspección, diagnóstico y pronóstico em la construcción civil.** Boletín Técnico. ALCONPAT Internacional, Mérida – México, 2013.

VALINHO, R. F *et al.* **Avaliação da Integridade de estacas cravadas assentes em argila mole da cidade de Campos dos Goytacazes.** In: II GEOJOVEM, Nova Friburgo, Brasil, 2006.

VIA TÉCNICA. **Controle Tecnológico.** 2014. Disponível em: <<http://www.viatecnica.com.br/area-atuacao/controletecnologico>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

VITÓRIO, J.F.P.; BARROS, R.M.M.C. **Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos - Três Casos Reais.** In: V CONGRESSO BRASILEIROS DE PONTES E ESTRUTURAS. Rio de Janeiro, 2012.

WERK, S.M.S. **Estudo da influência dos métodos de compactação no comportamento resiliente de solos.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do sul, 103 p. 2000.