

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Guilherme Basso Pelusi

**Projeto de infraestrutura para modernização do
acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de
modelagem em BIM**

Trabalho de Graduação
2018

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Guilherme Basso Pelusi

**Projeto de infraestrutura para modernização do
acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de
modelagem em BIM**

Orientador

Ten. Cel. Eng. Ronaldo Gonçalves de Carvalho (ITA)

Coorientador

Cel. Av. Steven Meier (CO-DCTA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Basso Pelusi, Guilherme

Projeto de infraestrutura para modernização do acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de modelagem em BIM / Guilherme Basso Pelusi.

São José dos Campos, 2018.

Número de folhas no formato 98f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2018.
Orientador: Ten. Cel. Eng. Ronaldo Gonçalves de Carvalho. Coorientador: Cel. Av. Steven Meier.

1. Terraplenagem. 2. Pavimentação. 3. BIM 4 Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018. II. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. III. Projeto de infraestrutura para modernização do acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de modelagem em BIM

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PELUSI, Guilherme Basso. **Projeto de infraestrutura para modernização do acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de modelagem em BIM**. 2018. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Basso Pelusi

TÍTULO DO TRABALHO: Projeto de infraestrutura para modernização do acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de modelagem em BIM

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2018

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor

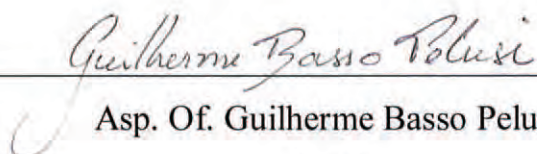


Guilherme Basso Pelusi

Rua Coronel Fonseca, 791, Jardim Bom Pastor
18603-495, Botucatu - SP

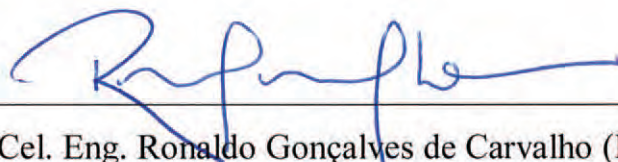
Projeto de infraestrutura para modernização do acesso ao campus do DCTA – Uma proposta de modelagem em BIM

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



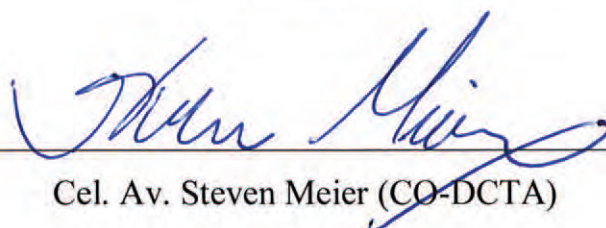
Asp. Of. Guilherme Basso Pelusi

Autor



Ten. Cel. Eng. Ronaldo Gonçalves de Carvalho (ITA)

Orientador



Cel. Av. Steven Meier (CO-DCTA)

Coorientador



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 23 de novembro de 2018

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram a terminar o ITA, e a todos aqueles que eu ajudei a terminar o ITA. Estamos todos juntos.

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe Sonia, pelo suporte incondicional que me deu durante essa difícil fase de minha vida. Ao meu pai Milton, pelo apoio técnico e pela experiência de vida que me foi passada.

Aos meus orientadores, Ten. Cel. Ronaldo e Cel. Steven, pela ajuda e experiência passada, sempre dispostos a contribuir com o meu crescimento profissional. Ao Ten. Cel. Frank que me mostrou um apoio e incentivo descomunal quando eu mais precisava. E a Ten. Catherine, que foi muito compreensiva como minha chefe nesse projeto.

Aos meus amigos que fizeram essa jornada valer a pena, sempre me fazendo sorrir e me divertir, me mostrando o verdadeiro significado de confiança e empatia.

Resumo

A portaria principal do campus do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) passa por problemas de fluxo, operacionalidade e segurança. O layout atual é um projeto antigo, possui falhas e já não é capaz de atender as necessidades da organização.

Esse trabalho de graduação (TG) consiste na elaboração do projeto básico de infraestrutura referente à reestruturação do sistema viário do portão principal. O projeto foi idealizado pelo Cel. Av. Steven, presidente da Comissão de Obras do DCTA, cujo corpo técnico está diretamente envolvido na elaboração do projeto, como um todo. São contempladas, particularmente, as disciplinas de geometria, terraplanagem e pavimentação. Outras disciplinas estão sendo desenvolvidas em paralelo, por outros membros da equipe de projeto, as quais certamente configuram condições de contorno, como é o caso da arquitetura.

No desenvolvimento das disciplinas afetas ao TG, foi utilizado o software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 para modelagem BIM (Building Information Modelling) do projeto. A modelagem não foi somente um desenho tridimensional, mas contemplou objetos parametrizados que agregaram informações sobre materiais e processos construtivos, permitindo dessa forma a automação dos processos de quantificação, orçamentação e composição das plantas e vistas que resultaram do projeto.

O uso dessa metodologia contribuiu para que o projeto tivesse um alto nível de detalhamento e confiabilidade dos dados, mas ao passo que demandou um trabalho muito maior do que ao usar um processo tradicional. Além do uso da ferramenta, também foi descrita a experiência com o software, preocupando-se com a aplicação desse tipo de modelagem no âmbito do Sistema de Engenharia do Comando da Aeronáutica.

Abstract

The main entrance of the campus of the Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) goes through problems of flow, operability and security. The current layout is an old design, has flaws and is no longer able to meet the needs of the organization.

This undergraduate thesis consists in the elaboration of the infrastructure basic project for the restructuring of the DCTA's main gate system, with the aim of improving vehicle flow, operability and security. The project was conceived by Cel. Av. Steven, chairman of the Comissão de Obras do DCTA, whose staff is directly involved in the design of the project as a whole. This thesis includes, in particular, the areas of earthmoving and paving. Other disciplines are being developed in parallel, by other members of the project team, who certainly configure boundary conditions, like the architecture.

In the development of this thesis subjects, Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 software will be used for BIM modeling of the project. The goal is that the modeling is not only a three-dimensional drawing, but also contemplates parameterized objects that aggregate information about materials and constructive processes, allowing in this way the automation of quantification and budgeting processes and composition of the sheets and views that resulted from the project.

The use of this methodology contributed to the project having a high level of detail and reliability of the data, while requiring much more work than using a traditional process. Besides the use of the tool, it will also be described how the experience with the software was, being concerned with the application of this type of modeling within the scope of the Sistema de Engenharia do Comando da Aeronáutica.

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da obra.	16
Figura 2. Partes externas e internas, e vias de acesso.	17
Figura 3. Zona de influência das filas e estacionamento de espera.	17
Figura 4. Localização do projeto de reestruturação proposto	18
Figura 5. Nível de maturidade BIM.	23
Figura 6. Diretrizes do programa BIM BR.	26
Figura 7. Sistema da eixos	34
Figura 8. Volume do tronco de prisma triangular.	35
Figura 9. Método das áreas médias.	36
Figura 10. Pontos superfície natural do exemplo numérico	37
Figura 11. Pontos cota acabada do exemplo numérico	37
Figura 12. Triangulação de Delaunay do exemplo numérico	38
Figura 13. A1 no exemplo numérico	39
Figura 14. A2 no exemplo numérico	39
Figura 15 A3 no exemplo numérico	40
Figura 16. Seção transversal de pavimento flexível - CBUQ.....	41
Figura 17. Diagrama simplificativo da metodologia	44
Figura 18. Triangulação da superfície final.	47
Figura 19. Rede triangular irregular da superfície final	47
Figura 20. Diagrama de distribuição dos movimentos de terra.	56
Figura 21. Relatório de coordenadas gerado de forma automática	63
Figura 22. Layout desejado para o relatório de coordenadas	64

Lista de Tabelas

Tabela 1. Componentes do projeto a serem entregues.	20
Tabela 2. Coeficiente de equivalência estrutural	43
Tabela 3. Empolamento.	55
Tabela 4. Volumes dos movimentos de terra (m ³).	56
Tabela 5. Composição do pavimento.	57
Tabela 6. Volume dos materiais componente do pavimento.	58
Tabela 7. CBR Mínimo das camadas do pavimento	59
Tabela 8. Resultado das inequações	59

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abramat	Associação Brasileira das Indústrias dos Materiais de Construção
BIM	Building Information Modeling
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CO-DCTA	Comissão de Obras do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
FAB	Força Aérea Brasileira
MDT	Modelo Digital de Terreno
PEB	Plano de Execução BIM
SC[n]	Sistema de Coordenadas de n. (Onde n é um número natural sequencial)
SISENG	Sistema de Engenharia do Comando da Aeronáutica

Sumário

1	Introdução	15
1.1	Motivação	15
1.2	Objetivo	19
2	Fundamentação Teórica.....	21
2.1	Building Information Modeling (BIM).....	21
2.1.1	Conceito BIM.....	21
2.1.1.1	Plano de execução BIM (PEB).....	24
2.1.2	BIM no Contexto Brasileiro e das Forças Armadas.....	25
2.1.3	2D vs. 3D	28
2.1.4	3D vs. BIM	29
2.1.5	A interoperabilidade (IFC e LandXML)	29
2.1.6	Os Benefícios da Modelagem BIM.....	31
2.1.7	Sobre o Software Autodesk AutoCAD Civil 3D	31
2.2	Geometria	32
2.3	Terraplenagem	33
2.3.1	Método de Cálculo dos Volumes	33
2.3.1.1	Exemplo Numérico	36
2.4	Pavimentação	41
2.4.1	Método DNIT para dimensionamento de Pavimentos Flexíveis	42
3	Metodologia	44
3.1	Escolha do Software.....	44
3.2	Modelagem do Terreno	45
3.2.1	Sistema de Coordenadas	45

3.2.1.1	Transformação das Coordenadas.....	46
3.2.2	Modelagem Tridimensional.....	46
3.3	Projeto Geométrico	48
3.3.1	Conexão dos Elementos e Criação da Superfície Acabada	49
3.3.2	Projeto Geométrico Horizontal.....	49
3.3.3	Gerando a Tabela de Pontos Dinâmica	50
3.3.4	Plano Cotado e Caimentos do Terreno.....	50
3.3.5	Perfis de Corte Gerados.....	51
3.4	Terraplenagem	51
3.4.1	Movimentos de Terra	52
3.4.1.1	Os Taludes.....	52
3.4.1.2	A Abertura da Caixa do Pavimento e Retirada da Camada Vegetal	52
3.4.2	A Escarificação, Regularização e Compactação do Subleito	52
3.4.3	Delimitação das Áreas de Corte e Aterro	53
3.4.4	Caracterização do Material de Corte e Aterro	53
3.4.5	Cálculo dos Volumes de Corte e Aterro.....	53
3.5	A Pavimentação	57
3.5.1	Dimensões das Camadas e Materiais Usados	57
3.5.2	Cálculo dos Volumes.....	57
3.5.3	Validação do suporte do Pavimento.....	58
3.6	A Orçamentação.....	59
4	Resultados e Discussão.....	60
4.1	Resultados.....	60
4.2	Discussão	60
4.2.1	Vantagens e Desvantagens do Emprego da Metodologia BIM	60
4.2.2	Dificuldades na Modelagem	61

4.2.3	Linguagem de Programação e Padrão de Arquivo.....	61
4.2.4	Interoperabilidade Também no Aprendizado	65
5	Considerações Finais	66
6	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	67
7	Referências Bibliográficas.....	68
8	Apêndices	71
8.1	Apêndice 1 – Projeto Arquitetônico.....	71
8.2	Apêndice 2 – Projeto Geométrico Horizontal Parte 1.....	73
8.3	Apêndice 3 – Projeto Geométrico Horizontal Parte 2.....	76
8.4	Apêndice 4 – Plano Cotado e Caimentos do Terreno	78
8.5	Apêndice 5 – Perfis do Terreno	81
8.6	Apêndice 6 – Áreas de Corte/Aterro	84
8.7	Apêndice 7 – Modelo 3D.....	86
8.8	Apêndice 8 – Planilha Orçamentária.....	95
9	Anexos	97
9.1	Anexo 1 - BIM BR Roadmap	97

1 Introdução

1.1 Motivação

Esse trabalho foi motivado durante o estágio curricular obrigatório realizado durante o primeiro semestre do 5º ano da graduação do autor, na Comissão de Obras do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (CO-DCTA). A CO-DCTA é uma Organização Miliar (OM) do Comando da Aeronáutica (COMAER) com a finalidade de planejar, coordenar, controlar e executar as atividades relacionadas ao início, fiscalização e recebimentos das obras de construção das novas instalações e de reforma das instalações existentes do campus do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), em São José dos Campos-SP, vinculadas à expansão do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Organização que, apesar de ter sido criada para cuidar de obras de construção civil relativas apenas à expansão do ITA, hoje é responsável por diversas obras de interesse do DCTA.

Dentre as diversas demandas relacionadas à engenharia civil passadas a essa OM, surgiu a necessidade da expansão do acesso viário principal do Campus do DCTA. Esse projeto, idealizado pelo Cel. Av. Steven, presidente da CO-DCTA, pretende melhorar o acesso em três quesitos: fluxo de veículos, operacionalidade e segurança.

Para explicar melhor o problema, primeiro é necessário esclarecer como o acesso é feito. Para adentrar ao campus é necessário se identificar na portaria; se for um morador ou funcionário cadastrado, o processo é rápido, e pela apresentação de um crachá de uso interno e cadastro do veículo, o indivíduo é rapidamente liberado. Se for um visitante, o processo é bem mais demorado. O motorista do veículo deve informar seu destino dentro do campus, ser previamente liberado por alguém internamente (salvo algumas ocasiões), e apresentar sua CNH, que deverá ser cadastrada no sistema de controle, juntamente com a placa do veículo.

Atualmente existem duas faixas reservadas para visitantes e duas faixas reservadas para moradores e funcionários cadastrados, as quais também são utilizadas para veículos de grande porte e prestadores de serviço. A título de fluxo, elas funcionam como apenas uma faixa visto que nessa seção de moradores fica apenas uma sentinela verificando o cadastro dos ingressantes. Indivíduos visitantes não liberados ou devidamente identificados são direcionados para um pequeno estacionamento de espera situado já na área interna do campus, onde fica no

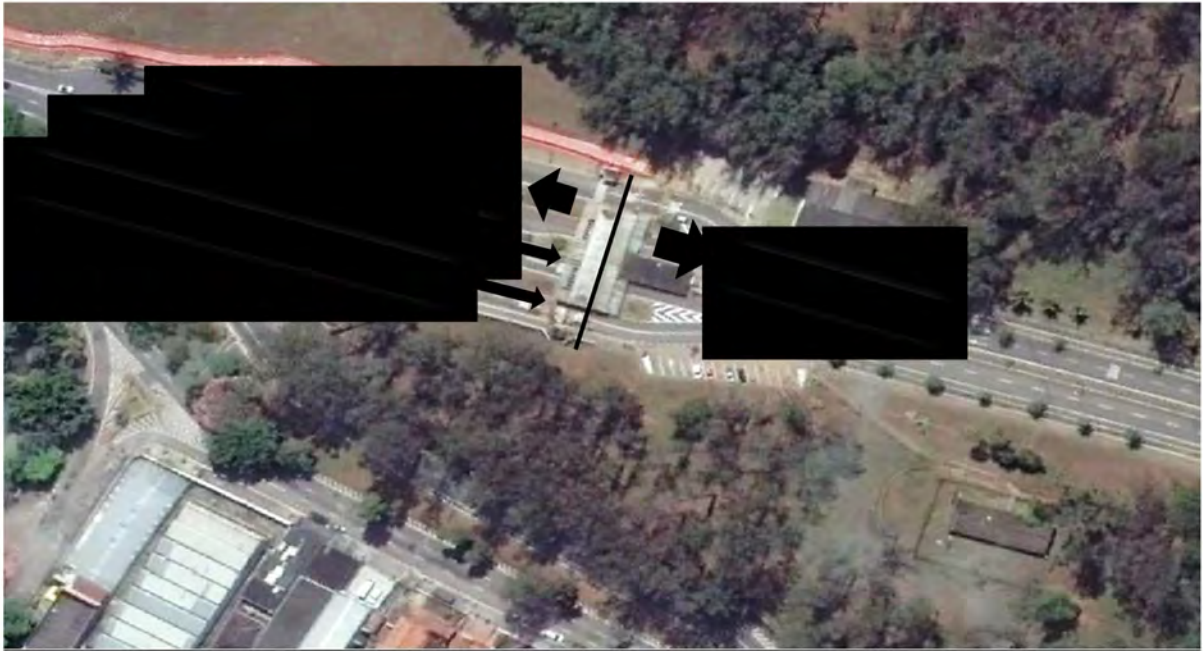
aguardo para se tentar resolver o problema de impedimento de seu acesso. Isso é um problema de segurança, uma vez que mesmo não liberado o indivíduo já se encontra dentro da área militar. A Figura 1, Figura 2 e Figura 3 visam ilustrar o que foi descrito, enquanto a Figura 4 mostra onde se insere o projeto de reestruturação.

Figura 1. Localização da obra.



Fonte: Google Maps. [2018]

Figura 2. Partes externas e internas, e vias de acesso.



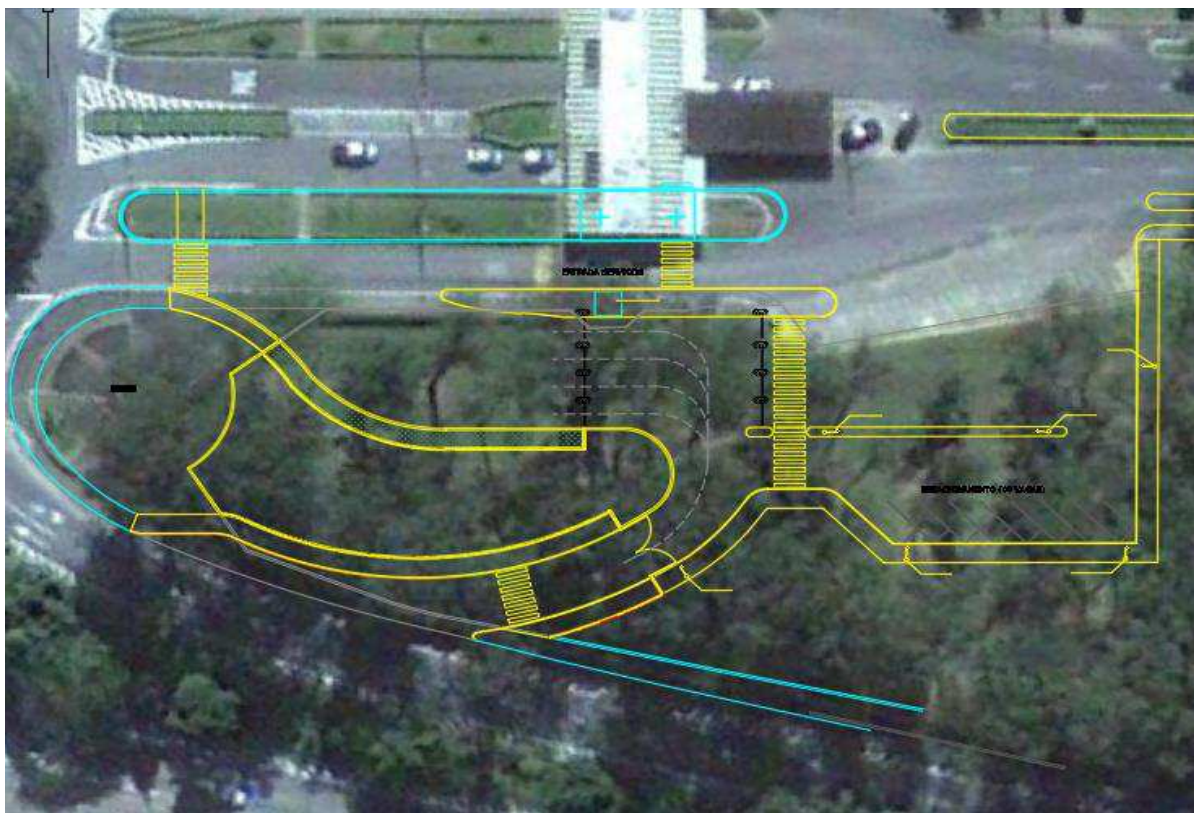
Fonte: Modificado de Google Maps. [2018]

Figura 3. Zona de influência das filas e estacionamento de espera.



Fonte: Modificado de Google Maps. [2018]

Figura 4. Localização do projeto de reestruturação proposto



Fonte: Modificado de Google Maps. [2018]

No tocante ao fluxo de veículos, atualmente nos horários de pico o acesso se encontra bem saturado e frequentemente gera filas muito grandes, normalmente formadas por visitantes, pois como foi exposto, o processo de entrada é mais demorado. As filas passam da área reservada ao DCTA e congestionam o fluxo nas proximidades, que é parte de uma região muito movimentada na cidade, comprometendo dessa forma não só os interessados em adentrar o campus como muitas outras pessoas que só estão de passagem. O projeto visa nessa questão adicionar quatro faixas ao acesso, aumentando o fluxo e diminuindo o comprimento das filas, pois em cada uma dessas faixas haverá um processo de identificação.

No que remete a operacionalidade, o projeto visa implantar cancelas de acionamento remoto e eletrônico, com identificadores automatizados para cadastrados, direcionando o pessoal da guarda para identificação dos visitantes, melhorando a eficiência do serviço.

Em relação à segurança, o projeto visa trabalhar com um sistema duplo de cancelas, onde o indivíduo com problemas no acesso será direcionado, da mesma forma que antes, para

um estacionamento interno, porem agora impedido de acessar a parte interna por outra cancela, que será aberta apenas após sua liberação. Caso seu acesso realmente seja negado, esse estacionamento possui uma saída que leva à parte externa do campus.

A partir da solução proposta pela arquitetura, foram designadas tarefas ao autor para auxiliar na confecção do projeto básico dessa obra, limitando-se às áreas de terraplanagem, pavimentação e drenagem. Dado o contexto do desenvolvimento da metodologia BIM (Building Information Modeling) de projeto, no âmbito brasileiro e da própria CO-DCTA, abriu-se a oportunidade de modelar esse projeto com auxílio de softwares que trabalham com esse tipo de abordagem. Infelizmente o uso dessa tecnologia ainda é prematura na FAB, e essa foi mais uma das motivações por trás desse trabalho, que seria incentivar por meio do exemplo a adoção dessa metodologia de forma prática utilizando-se de uma obra de pequeno-médio porte.

Dessa forma, agregou-se a necessidade da confecção do projeto junto com a oportunidade de aprender e testar uma ferramenta que pode ser de grande utilidade em futuros trabalhos na FAB.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é elaborar os projetos básicos de geometria, terraplenagem e pavimentação da obra descrita em 1.1, a partir das condições de contorno apresentadas pela arquitetura presentes no Apêndice 1 – Projeto Arquitetônico. O software usado foi o Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018, os motivos dessa escolha serão tratados no item 2.1.3 desse relatório. Para a parte de orçamentação serão utilizados os bancos de dados de composições de preço do do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e da Companhia Paulista de Obras e Serviços (CPOS).

Além da produção dos projetos, será feita uma análise crítica do uso do software, ajudando na análise de sua empregabilidade na implantação da tecnologia BIM no âmbito das organizações militares que trabalham com esse tipo de projeto, incentivando o uso dessa tecnologia.

Serão entregues como parte do projeto básico os seguintes objetos (componentes) relacionados na Tabela 1:

Tabela 1. Componentes do projeto a serem entregues.

Objeto	Disciplina	Forma
Projeto Geométrico Horizontal	Geometria	Planta Baixa, Tabela de Coordenadas dos Pontos
Plano Cotado e Caimentos do Terreno	Geometria	Planta Baixa, Tabela de Coordenadas dos Pontos
Modelo Tridimensional	Geometria e Terraplenagem	Imagens em Perspectiva do Modelo
Perfis do Terreno e Áreas de Corte e Aterro	Terraplenagem e Pavimentação	Perfil (Greide + Caixa do Pavimento)
Orçamento	Terraplenagem e Pavimentação.	Planilha Orçamentária

Fonte: O autor (2018)

O projeto terá relevância para o DCTA, uma vez que ajudará a sanar os problemas descritos no item 1.1, e também para as organizações militares interessadas, que terão uma revisão sobre a experiência com o software, que poderá ser utilizada como uma análise de sua empregabilidade em projetos similares. Outra relevância fundamental é incitar o uso de ferramentas (mesmo que não seja a especificamente usada nesse projeto) que contribuam para a eficiência e a eficácia na elaboração de um projeto, podendo passar informações mais precisas, reduzindo aproximações, promovendo padronizações e aumentando a produtividade.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Building Information Modeling (BIM)

2.1.1 Conceito BIM

EASTMAN et al. [2] definem Building Information Modeling (BIM) da seguinte forma:

Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção. O BIM também incorpora muita das funções para modelar o ciclo de vida de uma edificação, proporcionando a base para novas capacidades da construção e modificações nos papéis e relacionamentos da equipe envolvida no empreendimento. (EASTMAN et al. [2]).

O Building Information Modeling é um processo de modelagem virtual, não é constituído apenas de geometria e texturas para efeito de visualização. Trata-se de uma construção virtual muito mais próximo de uma edificação real, possuindo assim muitos detalhes no tocante à composição dos materiais de cada elemento como portas, janelas, tubulações, entre outros. Isso permite simular a edificação e entender seu comportamento antes de sua construção real ter sido iniciada, antecipando e evitando muitos dos problemas que aparecem durante a execução da obra ao se utilizar dos métodos tradicionais de modelagem. O modelo BIM em um primeiro nível é utilizado para visualização tridimensional, para auxiliar nas decisões de projeto e comparar as várias alternativas de design e apresentar seu design para o cliente da forma muito mais precisa. É um novo processo de planejar e fazer o acompanhamento da obra. Esta modelagem permite evitar erros, quantificar os materiais e organizar a chegada dos insumos à medida que avança a construção. Tem-se um controle parametrizado de informações quantitativas e orçamentárias. [5]

Em um sistema BIM, cada modificação na modelagem da edificação será automaticamente replicada em cada vista (plantas, seções e elevações) e em cada planilha

(como quantitativas e orçamentarias). Isso não só ajuda a documentar o projeto de forma mais rápida, mas também proporciona maior segurança e qualidade com a coordenação automática das vistas e planilhas que estão sempre atualizadas para o modelo mais recente poupando muito retrabalho. Quanto a simulação da edificação, modelos BIM contém mais do que apenas dados de arquitetura. Informações a respeito das demais disciplinas da engenharia, sustentabilidade, cronogramas, custos e etapas de manutenção podem ser facilmente simuladas bem antes da construção real, reduzindo custos operacionais e de gerenciamento. Essas informações são comumente chamadas de dimensões BIM. Por exemplo: a visualização do progresso de suas atividades durante todo o ciclo de vida do projeto é chamada de 4D-BIM. O 5D BIM fornece métodos para gerenciar e analisar os custos, para a avaliação de cenários e dos impactos das mudanças. [5]

Segundo SUCCAR [13] podemos subdividir os níveis de maturidade BIM em três componentes, que podem auxiliar na classificação da implementação BIM, visualizados na Figura 5.

Figura 5. Nível de maturidade BIM.



Fonte: [15]

Esse projeto se situa no BIM Nível 1 e refere-se à transição de 2D para o 3D, onde o modelo passa a ser construído com elementos 3D baseados em objetos. Nessa fase, as disciplinas ainda são tratadas separadamente e a documentação final ainda é composta, majoritariamente, por desenhos 2D.

A modelagem 3D baseada em objetos pode ser entendida no contexto da transição CAD-BIM, onde deixamos de desenhar linhas, arcos, círculos e objetos geométricos primitivos para modelar objetos virtuais paramétricos (portas, paredes, janelas, pilares, telhados, etc.). Ao desenhar geometrias em CAD, o objetivo é apenas representar o empreendimento graficamente. Quando se modela uma edificação baseada em objetos, se abre a possibilidade da automação de detalhamentos, quantitativos, visualizações 3D e simulações, visto que os objetos carregam

uma série de informações atreladas quanto ao seu material, aparência, resistência, peso, dimensões, custo, etc. Essa diferença é notável quando comparamos uma representação 2D de uma parede em CAD, com o modelo de uma parede em Revit, por exemplo [14].

2.1.1.1 Plano de execução BIM (PEB)

Para que a integração BIM na entrega do projeto seja efetiva, é importante que a equipe desenvolva um Plano de Execução BIM (PEB). O Plano desenha a visão geral juntamente com detalhes da implementação e da modelagem a serem seguidos pelo time durante todo o projeto, definindo as padronizações necessárias. Este PEB deve ser desenvolvido no início do projeto, mas também deve ser continuamente atualizado, revisado e monitorado. [27]

De acordo com a metodologia proposta em [26], para realizar sua função, o Plano deve responder a quatro perguntas:

1. Qual o escopo da implementação BIM no projeto?
2. Qual o fluxo de processos para tarefas BIM?
3. Como e quais são as informações trocadas entre os times envolvidos?
4. Qual é a infraestrutura requerida para suportar a implementação do BIM?

Além disso as respostas dessas perguntas devem ser suficientes para nivelar todos os times de projeto e demais stakeholders no seguinte cenário:

- Todos os times entendem e comunicam os objetivos estratégicos para a implementação BIM no projeto.
- As organizações compreendem seus papéis e responsabilidades na implementação.
- Os times são capazes de se organizar e desenvolver entre si fluxos de processos que se adequem às diferentes realidades e costumes de cada grupo.
- O Plano prevê recursos adicionais, treinamentos ou outras competências necessárias ao sucesso da implementação BIM para os usos predefinidos.
- O plano provém um benchmark para descrever o processo a futuros participantes que se aglomerem ao projeto.
- A divisão de contratos é capaz de posicionar o cumprimento das obrigações de projeto de todos os envolvidos.
- O plano prevê um método para medir o progresso das equipes durante o processo.

2.1.2 BIM no Contexto Brasileiro e das Forças Armadas

A popularidade dos programas BIM e a preocupação com a implementação desse método de projeto estão crescendo nas Forças Armadas e no Brasil com um todo. O Governo Federal criou o Comitê Estratégico de Implementação do BIM (CE-BIM) para alinhar as iniciativas dos setores público e privado, impulsionar o uso da metodologia e promover as mudanças necessárias para garantir um ambiente adequado para o seu uso. Com o objetivo de coordenar e gerenciar as discussões para o desenvolvimento da Estratégia BIMBR, o CE-BIM contou com nove Ministérios e estabeleceu dez diretrizes estratégicas. Entre elas está o desenvolvimento da Plataforma BIMBR: um instrumento de compartilhamento de informações sobre BIM e um repositório de objetos que comporão a Biblioteca Nacional BIM (BNBIM). A Figura 6 mostra as diretrizes do programa, o Anexo 1 - BIM BR Roadmap mostra um roteiro do projeto. Mais informações sobre o projeto podem ser encontradas no livreto estratégico do programa.

Figura 6. Diretrizes do programa BIM BR.



Fonte: [7]

O primeiro passo para a mudança aconteceu em 17 de maio de 2018 com o decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018 [1], onde fica instituída a Estratégia Nacional da disseminação do BIM. O decreto tem como finalidade promover um ambiente adequado ao investimento da tecnologia, além de incentivar seu uso em âmbito nacional. A medida do Governo Federal que

pretende exigir o uso do BIM a partir de 2021 faz parte da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) fez um convênio com a Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para lançar regras de uso e, até agosto de 2018, já foram editadas nove normas [8].

Pode-se observar que existe um espaço muito grande para o crescimento dessa tecnologia no país. Uma sondagem da Fundação Getúlio Vargas (FGV), realizada em março de 2018 com 700 empresas de construção, mostra ainda que o uso do BIM é reduzido e desigual no Brasil. Segundo Talita Daher, Coordenadora de Difusão Tecnológica da ABDI, apenas 9,2% das empresas adotaram o BIM no país. A meta da ABDI é que em 2028 esse índice seja de 80% [7].

A indústria de materiais de construção é uma peça chave na engrenagem para alavancar o BIM. É essencial na hora de se projetar em BIM a utilização de um banco de dados - uma biblioteca - de materiais prontos. Canos, portas e esquadrias podem apresentar diversas especificações. O BIM leva em conta isto. Então, quando o projetista coloca um cano no projeto, ele já pode escolher o tipo de material da peça, o preço e mesmo a durabilidade. Para alcançar este nível de especificidade, é preciso que uma biblioteca com esta gama de informações realmente exista; no Brasil isso ainda está começando a ser estruturado. Alguns fabricantes, como a Tigre, já disponibilizaram essas informações [11].

Para incentivar a elaboração da biblioteca, um grupo de trabalho do governo federal, integrado pela ABDI, lançou a plataforma BIM. Por meio dela, é possível acessar todas as informações para este tipo de construção. Além de normas técnicas, um banco de dados estará disponível. Segundo o Coordenador de Difusão Tecnológica da ABDI Claudionel Leite, é necessário criar uma biblioteca mais centralizada e consistente, onde o projetista tenha a facilidade de acessar o objeto que ele precisa. Ainda são poucos objetos digitalizados, uma avaliação da ABDI junto aos fabricantes apontou um número inferior a 10 mil peças. A criação da plataforma por si só não é o suficiente, é preciso estimular os fabricantes e os profissionais da área para contribuir com o seu crescimento e utilização [11].

O planejamento inicial prevê a disponibilização de objetos genéricos. Os projetistas poderão fazer o download desta peça e moldar com os parâmetros específicos. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias dos Materiais de Construção (Abramat), o gerenciamento feito pelo governo vai demonstrar quais as demandas em BIM. Se deixarem por conta de

mercado, o processo será mais lento. Dependerá de ações entre empresas, construtoras e projetistas com fornecedores de materiais, correndo o risco de não desenvolver um padrão que possa ser utilizada por todo ramo da construção. A cadeia produtiva da construção civil, incluindo a indústria de materiais, sabe que tem que se adaptar porque o existe um plano diretor a ser seguido. A biblioteca é muito importante, ela faz parte de todo um processo. Neste momento, cada um está montando sua biblioteca, e o ideal é que exista uma única. O governo tem um papel importante neste trabalho, no que se trata da organização e padronização [11].

No que se remete as Forças Armadas, o estágio de desenvolvimento da tecnologia é ainda mais prematuro. Sabe-se que existem investimentos em treinamentos, consultorias e aquisição dos programas, mas ainda de forma muito descentralizada. Em um primeiro momento, onde se deseja apenas adquirir familiaridade com os programas e com o processo de modelagem, essa postura descentralizada é relevante. Mas a partir do momento que se decidir empregar a tecnologia e trabalhar na produção de normas, bibliotecas e templates, ou seja, elaborar um manual conhecido como PEB, é muito interessante que haja uma grande coordenação em torno de diretrizes comuns, se alinhando aos projetos governamentais existentes, pois em uma metodologia que trabalha com uma grande quantidade de informações, não há espaço para retrabalho, indo contra a própria estratégia de modelagem BIM.

2.1.3 2D vs. 3D

A modelagem 3D permite uma visualização muito mais clara do projeto, se assemelhando muito mais com o que será construído na realidade. A identificação das interferências entre as disciplinas do projeto ou das disciplinas como meio externo também se torna uma tarefa muito mais fácil. Dessa forma tem-se um “as Built” do projeto com poucas alterações em relação ao projeto executivo, reduzindo os problemas a serem tratados durante a execução da obra, atentando-se ao previsto. E por fim, uma modelagem 3D permite cálculos mais precisos, pois dispensa muitas das aproximações e linearizações feitas nos cálculos, principalmente no que se relaciona ao cálculo de áreas e volumes.

2.1.4 3D vs. BIM

Os programas para modelagem 3D na arquitetura existem desde o começo dos anos 90, principalmente para produzir imagens finais dos projetos (imagens renderizadas) a fim de tornar o projeto mais apresentável. Aos poucos, os arquitetos começaram a utilizar programas 3D nas etapas iniciais, provando, por exemplo, alternativas de materiais. No entanto, as geometrias produzidas nestes programas não contêm nenhum tipo de informação, e servem basicamente como ferramentas de visualização, como é o caso das ferramentas 3D incorporadas constantemente no AutoCAD (Software consagrado na área CAD) desde 1988. Já na plataforma BIM é possível incorporar informações dentro do projeto e extrair dos desenhos os dados inerentes ao modelo, como custo. A grande diferença entre um software de modelagem 3D e um software BIM, portanto, é a sua capacidade de gerar objetos paramétricos. É a parametricidade que garante gerar objetos editáveis que podem ser alterados automaticamente e dar o suporte à plataforma BIM. Sem essa capacidade, o software é só mais um modelador de objetos 3D.

A aplicação de modelos paramétricos possibilita a exploração de várias alternativas de projeto de forma rápida, pois alocado um objeto no modelo facilmente pode-se mudar seus parâmetros e instantaneamente todas vistas, cortes e relatórios tem esse valor atualizado. Isso também passa segurança e consistência para o projeto, pois não se corre o risco de esquecer de atualizar algum valor após mudanças no projeto.

2.1.5 A interoperabilidade (IFC e LandXML)

A interoperabilidade é crítica para o sucesso do BIM. O desenvolvimento de padrões de arquivos abertos e o acesso “não-proprietário” para os dados do BIM é uma prioridade urgente para a indústria se quiser evitar as ineficiências e os problemas recorrentes de reentrada de dados. A interoperabilidade permitirá o reuso de dados de projeto já desenvolvidos e assim garantindo consistência entre cada um dos modelos para as diferentes representações do mesmo edifício. Dados consistentes, acurados e acessíveis por toda a equipe de projeto irão contribuir significativamente para mitigar os atrasos e os custos adicionais.

Nesse contexto, surgem o IFC (Industry Foundation Classes) e o LandXML que são formatos específicos de dados que tem a finalidade de permitir o intercâmbio de um modelo informativo sem perda ou distorção de dados ou informação.

O IFC é um dos formatos mais usados na indústria BIM, como no caso do Revit. É um formato arquivo aberto, neutro, não controlado pelos fornecedores individuais de software, criado para facilitar a interoperabilidade entre os diferentes operadores. O IFC foi projetado para elaborar todas as informações do edifício através de todo o seu ciclo de vida, desde a análise de viabilidade até a sua realização e manutenção, passando pelas várias fases de projeto e planejamento. Segundo buildingSMART, o formato IFC é a ferramenta principal para a implementação do Open BIM, o qual representa uma abordagem universal à colaboração para o desenho e a construção dos edifícios baseados em padrões e fluxos de trabalho abertos. Uma grande vantagem desse formato é que a buildingSMART International definiu um processo de certificação que assegura a exatidão da importação e exportação de seus dados IFC, com a garantia de conformidade com as normas. De acordo com os dados fornecidos pelo buildingSMART, o padrão IFC é suportado por mais de 140 plataformas de software [17].

O LandXML, que é o formato de dados utilizado pelos objetos do Civil 3D, infelizmente não é tão aberto, desenvolvido e certificado como o IFC. Ele obedece aos critérios de parametricidade que caracterizam o modelo como BIM principalmente no primeiro nível BIM caracterizado em 2.1.1, mas se mostra pouco desenvolvido no âmbito da colaboração simultânea e certificação quando comparado ao IFC.

Os esquemas de dados LandXML e IFC são usados como padrões para os setores de infraestrutura e edificações (superestruturas), respectivamente. Devido a esses esquemas terem sido desenvolvidos por diferentes perspectivas. Integra-los em um único esquema ou converter um no outro é difícil. Esses dois esquemas foram desenvolvidos por diferentes contextos, baseados em diferentes pontos de vista dos usuários e projetados para diferentes usos. Apesar de existirem estudos sobre o assunto, ainda não existe um método padronizado para a integração desses sistemas sem que eles percam sua forma original. Mais detalhes sobre as diferenças da arquitetura dos dados são descritos por KANG [24].

Apesar do que foi descrito, existem muitas manobras para se viabilizar a interoperabilidade entre esses formatos de dados. Apesar de eles não manterem integralmente os atributos e propriedades dos objetos, é o suficiente para uma modelagem nível 1 BIM. Além

dessas manobras, existem softwares voltados para suprir essas necessidades de interoperabilidade, como é o caso do Navisworks.

2.1.6 Os Benefícios da Modelagem BIM

Segundo a ABDI, a produtividade da construção civil brasileira em 2018 é quatro vezes menor que a de países como Estados Unidos, China, Rússia e os da União Europeia e quase 50% menor que a média da economia nacional. O setor ainda registrou queda de 20,1% em seu PIB entre 2014 e 2017, o segundo pior da série histórica que teve início em 1948. Um cenário que mostra a necessidade de inovações [7].

Com as atuais medidas governamentais em apoio ao BIM, a expectativa é de que haja um aumento de 10% na produtividade do setor e uma redução de custo que pode chegar a 20% nos insumos e 9,7% nos custos totais da obra, de acordo com estudos contratados pela agência [7].

O interessante é que essa produtividade e eficácia na transmissão de informações escala com o tempo de uso da ferramenta, pois grande parte do trabalho quando se trata de uma modelagem BIM é na preparação dos diversos objetos que serão usados nos projetos. Uma vez modelados, os próximos projetos que usam dos mesmos objetos terão uma velocidade de modelagem muito maior. Para se ver vantagem na aplicação do BIM é necessário tempo e investimento. Profissionais com pouco tempo de uso da ferramenta tendem a não ver um ganho na produtividade ou até um decréscimo na mesma devido as dificuldades de dominar um novo programa.

Os estudos também avaliaram que somente entre 5% e 10% das empresas usam a ferramenta. Se metade da cadeia da construção (em faturamento) adotar a plataforma até 2028, haverá ganho de 7 pontos percentuais do PIB do setor [7].

2.1.7 Sobre o Software Autodesk AutoCAD Civil 3D

O Civil 3D é um software da linha AutoCAD, desenvolvida pela Autodesk, voltado para elaboração e análise de projetos nos mais diversos ramos da engenharia civil. Além de possuir todas as funcionalidades do AutoCAD, o Civil 3D possui uma gama de ferramentas exclusivas que permitem ao usuário desenvolver, com facilidade, projetos na área de transportes, SIG

(Sistema de Informação Geográfica) e inúmeras aplicações envolvendo áreas ligadas ao meio ambiente, como análise de bacias hidrográficas e estudos hidráulicos e hidrológicos [6].

Na troca de informações entre os colaboradores, o Civil 3D é considerado uma das mais poderosas ferramentas na área de Modelagem de Informações de Construções (BIM), e sua integração com softwares como o Land Desktop, da Autodesk, e HEC-RAS, do Corpo de Engenharia do Exército Norte Americano, tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores, engenheiros civis, empresas de mineração e escavação, e diversas agências de proteção e conservação ambiental para este software [6].

Durante a escolha do software preocupou-se muito com enquadramento do programa no conceito BIM. Ao se analisar sua estrutura de dados (LandXML) percebe-se que o programa se adequa a parametricidade descrita no item 2.1.4. As ferramentas do programa são capazes de mudar os perfis, vistas e quantitativos automaticamente quando o modelo tridimensional é alterado. Mas quando comparado ao Revit percebemos que ainda deixa a desejar em muitas funcionalidades referentes a automação dos processos, isso porque o Revit já está mais solidificado no mercado, e foi mais desenvolvido para atender tais demandas de automação. Apesar de estar mais desenvolvido na parte de automação de vistas e relatórios, as ferramentas do Revit não se adequam muito para área de infraestrutura e sim de superestrutura, o que tornaria a modelagem um processo muito mais trabalhoso caso esse software tivesse sido escolhido.

Um dos principais objetivos ao se adotar um programa BIM é melhorar a produtividade, manter seus dados consistentes, seguir processos padronizados e responder mais rapidamente as mudanças de projeto, e esse software foi capaz de atingir esses objetivos no projeto em pauta nesse trabalho.

2.2 Geometria

O projeto geométrico, item essencial para o início de qualquer empreendimento de infraestrutura, consiste na apresentação, de maneira conveniente, da definição espacial da estrutura a ser construída, através de plantas, perfis longitudinais e seções transversais. A análise conjunta desses elementos permite a correta execução do que foi projetado.

Procura-se definir a melhor geometria considerando características técnicas e de operação como velocidade de projeto, frenagem, aceleração, conforto, segurança, legislação

vigente, topografia, relevo, tráfego, comportamento dos motoristas, tipo de veículos, integrando ainda aspectos econômicos, sociais e questões ambientais. O traçado da geometria é feito visando atingir diversos objetivos como minimizar os custos, maximizar a operacionidade da via, maximizar a manutenibilidade e minimizar a interferência como meio ambiente, priorizando uns mais que outros de acordo com cada situação.

Inicia-se a partir de um levantamento topográfico que envolva dados de planimetria e altimetria. A geometria produzida a partir dele é determinada com base no posicionamento de marcos, de tal forma que um sistema geométrico possa ser reconstituído a qualquer momento.

2.3 Terraplenagem

Os trabalhos de terraplenagem são constituídos pelo conjunto de operações de escavação, carga, transporte, espalhamento e compactação, transformando-se o terreno natural na plataforma projetada na geometria.

A execução das obras de terraplenagem deve ser precedida da remoção da camada vegetal de recobrimento do terreno. Deve-se procurar gerar o menor movimento de terra possível, procurando-se compensar os volumes de corte e aterro, de modo a evitar, ao máximo, a necessidade de empréstimos ou “bota-foras” de materiais [21].

Um dos conceitos importantes a ser tratado na terraplenagem é a declividade, conceituada como a quantificação de um declive ou aclive expressado normalmente em porcentagem (%), ou seja, é a razão de diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos. A declividade do terreno está diretamente ligada ao comportamento da drenagem e com o conforto dos motoristas no uso da pista de rolamento. Dessa forma é muito importante que a terraplenagem possa prover o correto nivelamento do terreno de acordo com o projeto.

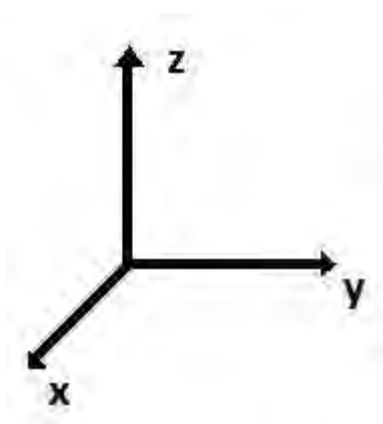
2.3.1 Método de Cálculo dos Volumes

Existem múltiplos métodos para o cálculo dos volumes de terra e dos materiais usados num projeto de infraestrutura. O método utilizado para o cálculo dos volumes (corte e aterro, caixa do pavimento e dos materiais utilizados) foi o Método da Diferença entre Superfícies Trianguladas, que é automaticamente usado pelo software. Se trata basicamente uma

modificação do Método das Alturas Ponderadas, mas ao invés de se trabalhar com uma malha retangular, foi usada uma triangulação de Delaunay¹ e partir dessa a criação de uma rede irregular triangular (TIN)² atribuindo as cotas do terreno aos vértices dos triângulos. Esse método de cálculo é bastante trabalhoso caso não utilizado com um programa próprio para isso, pois com o refinamento da malha o número de cálculos cresce muito; em contrapartida, a precisão do volume calculado é muito alta. A seguir é descrito em detalhes como é feito o cálculo através desse método:

Supondo o seguinte sistema de eixos:

Figura 7. Sistema da eixos



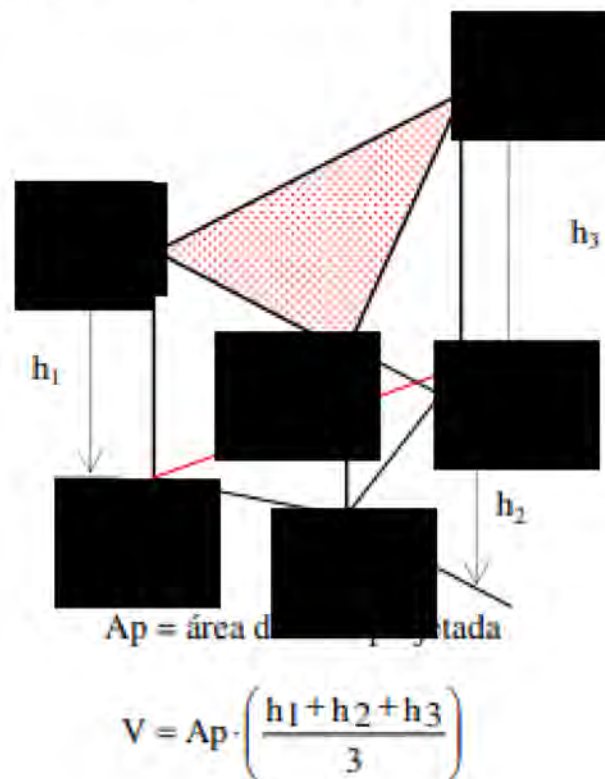
Fonte: O autor (2018)

¹ Triangulação de Delaunay: para um conjunto de pontos P no plano é uma triangulação DT(P) onde nenhum ponto em P está dentro da circunferência formada por qualquer triângulo na DT(P). A Triangulação de Delaunay maximiza o menor ângulo de todos os triângulos na triangulação; esta tende a evitar triângulos com ângulos internos muito pequenos.

² Rede Triangular Irregular: é uma representação de uma superfície contínua composta inteiramente de faces triangulares.

O volume de um tronco de prisma triangular é dado por:

Figura 8. Volume do tronco de prisma triangular.



Fonte: O autor (2018)

Supondo os pontos A, B, C pertencentes à superfície do terreno, com projeção no plano XY dada por A', B', C'. O volume V1, compreendido por essa superfície e o plano XY é dada pela fórmula da

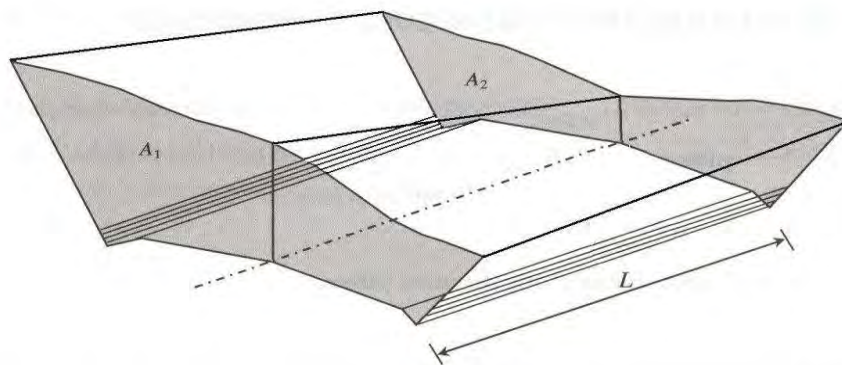
Figura 8. Agora pegando os pontos A1, B1, C1, pertencentes a superfície de projeto com os mesmos pontos de projeção A', B', C' calcula-se da mesma forma o volume V2, compreendido por essa superfície em o plano XY.

Ao subtrair-se V1 de V2 temos o volume compreendido entre as duas superfícies em um único elemento de triangulação, este seria um volume de corte caso positivo e de aterro caso negativo. Ao se somar os valores positivos para todos os elementos da triangulação tem-se o volume total de corte, e, analogamente, ao se somar todos os valores negativos tem-se o volume total de aterro. Esse cálculo se trata basicamente de uma Integral Dupla de Riemann e sabemos que o volume calculado converge para o volume real quando o número subdivisões (triângulos)

aumenta. Dessa forma, ao se usar um número suficiente de triângulos tem-se um volume suficientemente próximo do real.

Esse método é essencial quando a área de terraplenagem tem formato irregular, como é o caso desse projeto. Existem métodos mais práticos e conhecidos, que não necessitam do auxílio de software como é o caso do método das áreas médias (Figura 9) ou método das seções transversais, mas são mais voltados para o cálculo dos volumes em rodovias, que possuem uma das dimensões da área (comprimento da pista) muito maior do que a outra (largura da pista). Tais métodos seriam de difícil aplicação, pois não se tem uma seção tipo bem definida nesse caso e, caso não fossem usados com um número elevado de seções transversais resultariam em volumes bem diferentes dos reais.

Figura 9. Método das áreas médias.



$$V_{12} = \frac{L_{12}}{2} (A_1 + A_2)$$

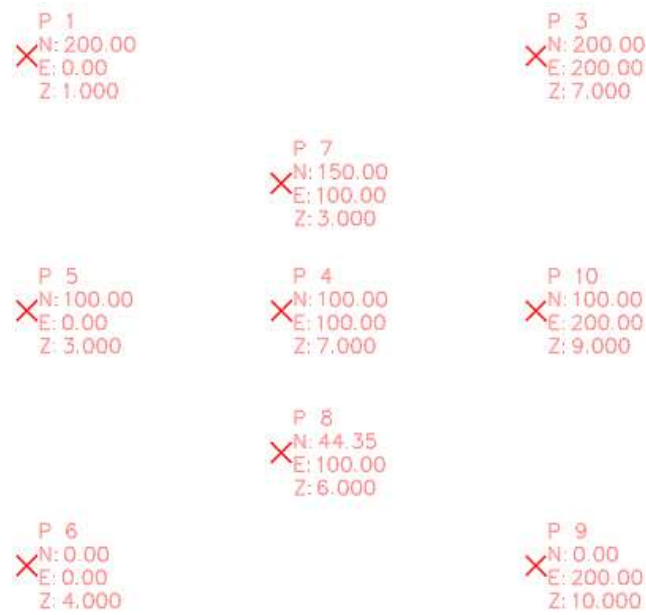
Fonte: [18]

2.3.1.1 Exemplo Numérico

De acordo com o descrito em 2.3.1, será apresentado um pequeno exemplo numérico para ilustrar os métodos descritos e as diferenças encontradas nos resultados. As unidades das coordenadas apresentadas estão em metros.

Supondo seguinte malha de pontos para o terreno natural:

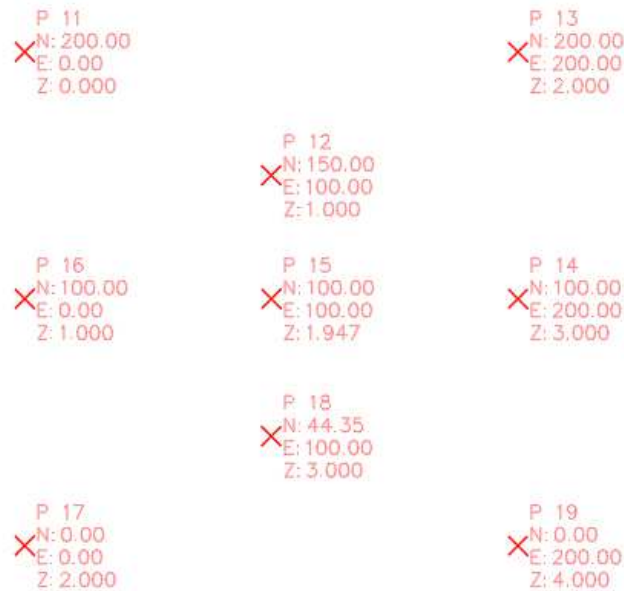
Figura 10. Pontos superfície natural do exemplo numérico



Fonte: O autor (2018)

E a seguinte malha de pontos para a cota acabada:

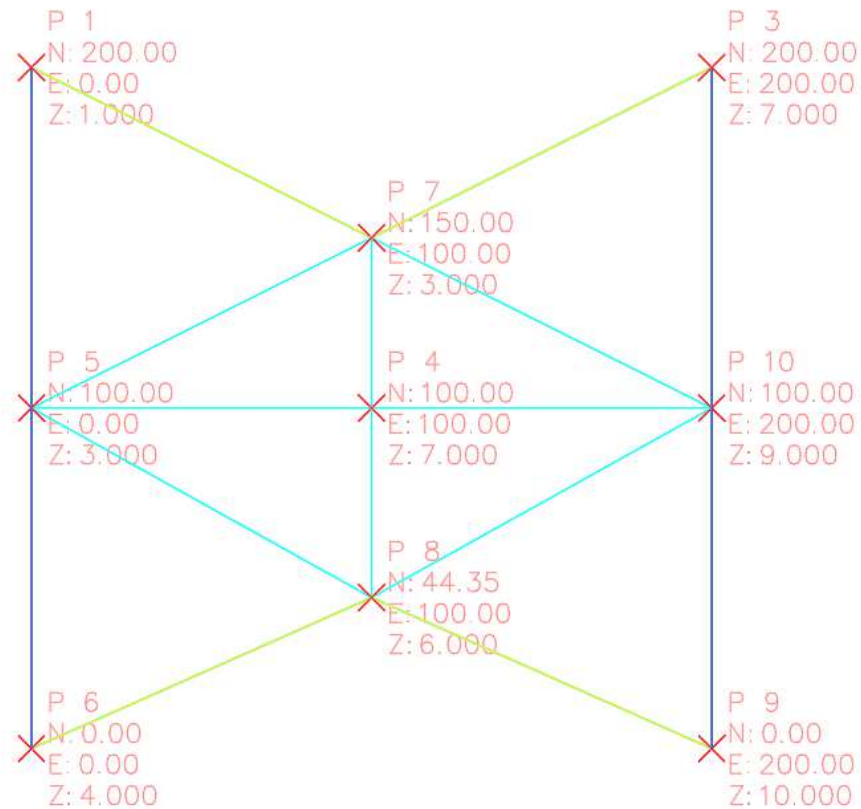
Figura 11. Pontos cota acabada do exemplo numérico



Fonte: O autor (2018)

Com a seguinte triangulação de Delaunay:

Figura 12. Triangulação de Delaunay do exemplo numérico



Fonte: O autor (2018)

Para calcular o volume entre as duas superfícies no triângulo de vértices P1, P5, P7, tem-se:

$$A_p = \frac{1}{2} * \begin{vmatrix} E(P1) & N(P1) & 1 \\ E(P5) & N(P5) & 1 \\ E(P7) & N(P7) & 1 \end{vmatrix} = 5000 \, m^2$$

$$V1 = A_p * \frac{Z(P1) + Z(P5) + Z(P7)}{3} = 11.666,67 \, m^3$$

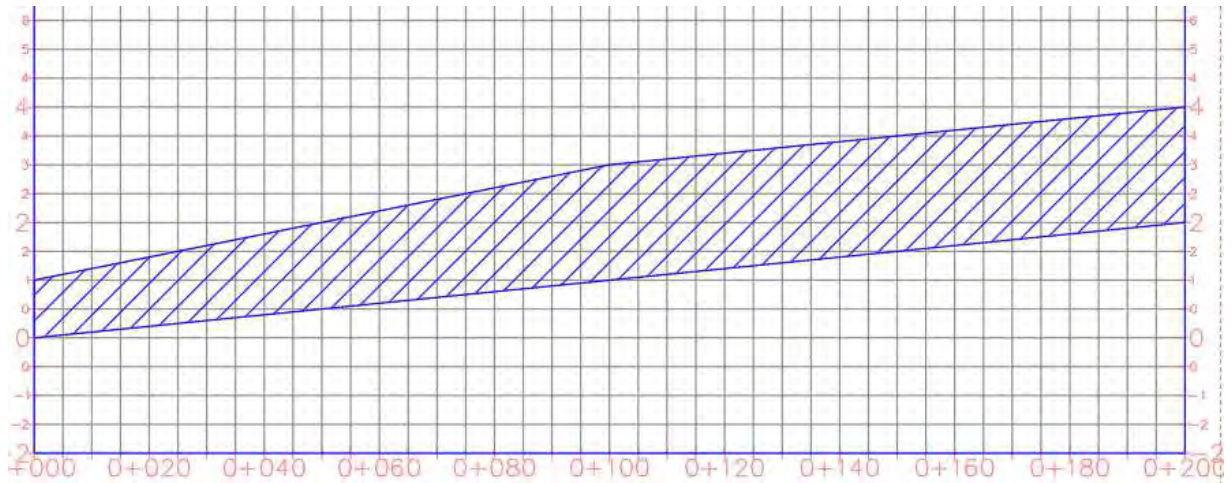
$$V2 = A_p * \frac{Z(P11) + Z(P12) + Z(P16)}{3} = 3333.33 \, m^3$$

$$V1 - V2 = 8333,33 \, m^3$$

Dessa forma para esse triângulo temos um volume de corte de 8333,33 m³. Ao se fazer isso para todos os triângulos pode-se obter o volume total de corte somando os resultados positivos e o total de aterro somando os negativos. Nesse exemplo todos os resultados são de corte resultando em 110.593.18 m³ de corte.

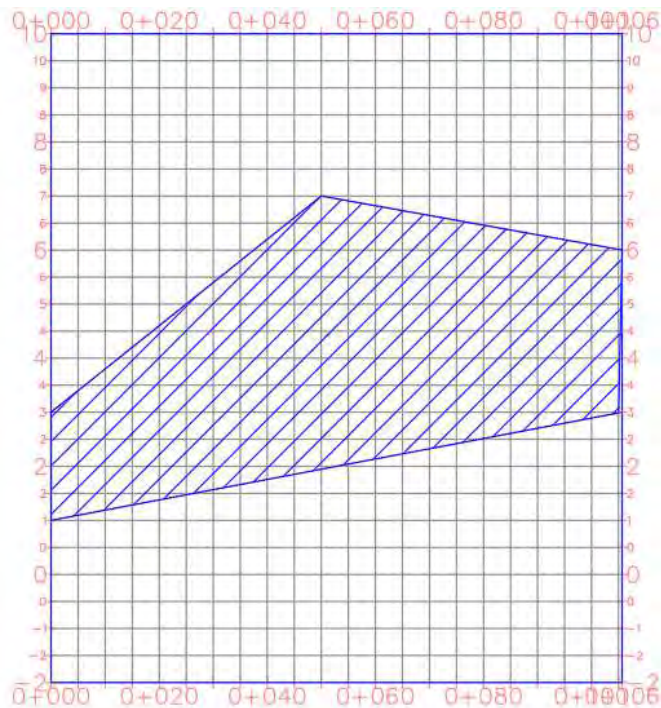
Agora serão feitos os cálculos de volumes usando o método das áreas médias, primeiramente tomando 2 áreas em segundo tomando 3 áreas para o cálculo. Tomando A1 (Figura 13) com sendo a área compreendida pelas duas superfícies natural e acabada na seção transversal P1 - P6, A2 (Figura 14) como sendo a área compreendida pelas superfícies na seção P7-P8 e analogamente para A3 na seção P3-P9.

Figura 13. A1 no exemplo numérico



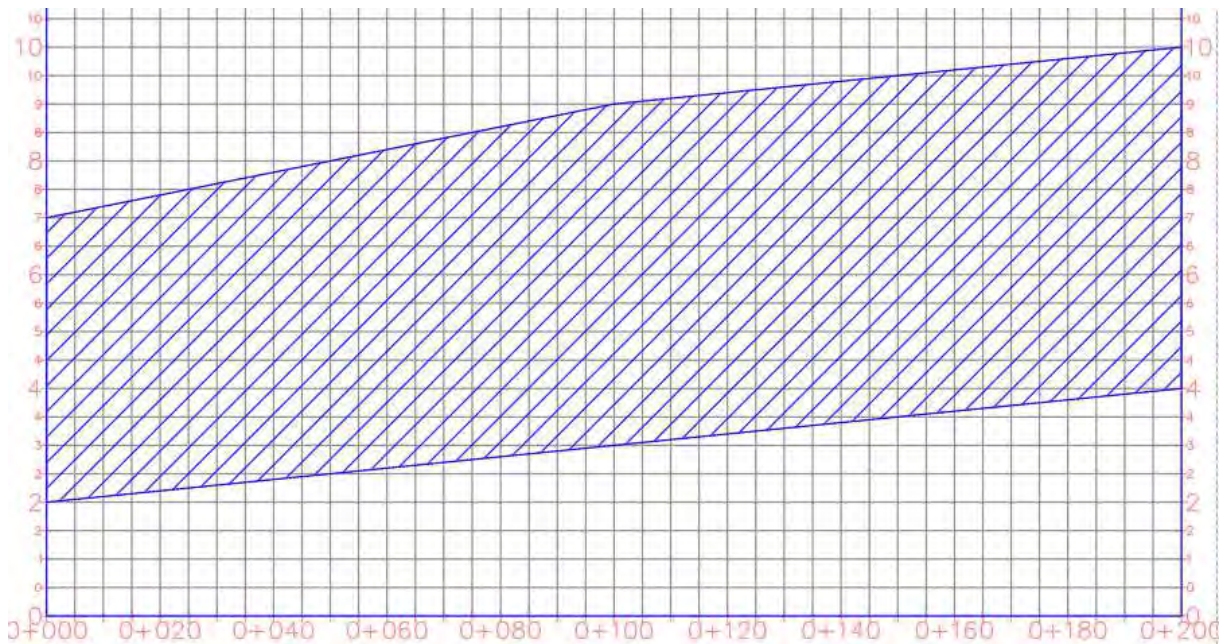
Fonte: O autor (2018)

Figura 14. A2 no exemplo numérico



Fonte: O autor (2018)

Figura 15 A3 no exemplo numérico



Fonte: O autor (2018)

Por geometria básica tem-se que A1 é igual a 350 m², A2 é igual a 400 m² e A3 é igual a 1150 m². Sendo L igual a distancia entre P9 e P6 dada por 200 m. Tem-se pelo método das áreas os seguintes resultados:

Considerando apenas A1 e A3

$$\text{Volume de corte} = \left(\frac{A1+A3}{2} \right) * L = 150.000 \text{ m}^3$$

Considerando apenas A1, A2 e A3

$$\text{Volume de corte} = \left(\frac{A1+2*A2+A3}{2} \right) * \frac{L}{4} = 115.000 \text{ m}^3$$

Como esperado ao se usar apenas as áreas A1 e A3 (menos trabalhoso) tem-se um erro alto, de aproximadamente 36%. Ao se acrescentar A2 na conta (mais trabalhoso), chega-se a um resultado muito mais próximo do método das superfícies trianguladas. A principal causa dessa diferença é a existência de uma seção significativamente diferente na parte central no

terreno. Quanto mais irregular forem as condições de contorno, maior o número de seções transversais que deverão ser acrescentadas para que o método seja satisfatório, e o desenho dessas seções para encontrar as áreas transversais é uma tarefa muito mais complicada do que usar diretamente o método das diferenças entre superfícies trianguladas. Dessa forma conclui-se que, se o objetivo for precisão nos cálculos e facilidade no trabalho com condições de contorno irregulares, o método escolhido para esse trabalho é o mais adequado.

2.4 Pavimentação

O pavimento é composto de várias camadas, conforme Figura 16, que apresenta uma seção típica de um pavimento flexível. A camada de revestimento que é a superficial, suporta o tráfego e é onde atuam esforços complexos verticais, horizontais e de sucção, e o seu tipo depende de observações técnicas e econômicas; as camadas inferiores que protegem o revestimento são compostas por base e sub-base, podendo ser acrescida de uma terceira camada chamada de reforço de subleito; complementando essas camadas o conjunto de meio-fio-sarjeta [22].



Figura 16. Seção transversal de pavimento flexível - CBUQ

A pavimentação para pista de rolamento deve ser construída com observação e várias exigências em relação à resistência, conservação, atrito, sonoridade e cor. Diversos são os tipos de pavimentos, podendo ser eles flexíveis, semiflexíveis ou rígidos.

2.4.1 Método DNIT para dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

O método foi retirado do manual de pavimentação do DNIT de 2006 [20]. O manual é muito extenso e compreende muitos fatores a serem analisados na hora de se dimensionar um pavimento flexível. Para esse trabalho interessa apenas a validação do suporte de um pavimento pré-dimensionado, a fim de saber se o pré-dimensionamento está adequado as condições de uso que lhe serão impostas. De forma sucinta, para validar o suporte de um pavimento composto por revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito, é necessário que as seguintes inequações sejam satisfeitas:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (2.1)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (2.2)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{ref} \geq H_m \quad (2.3)$$

Onde as variáveis descritas têm os seguintes significados:

- R = Espessura da Camada de Revestimento
- B = Espessura da Camada de Base
- h_{20} = Espessura da Camada de Sub-Base
- h_n = Espessura da Camada de Reforço do Subleito.
- K_x = Coeficiente de equivalência estrutural da camada x, onde R está relacionado ao revestimento, B está relacionada a base, S está relacionada a sub-base e ref está relacionado ao reforço de subleito.
- H_x = Espessura equivalente mínima necessária acima de um material de CBR de valor x.

H_x é calculado pela seguinte fórmula:

$$H_x = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot x^{-0,598} \quad (2.4)$$

Onde N é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto, e está diretamente relacionado ao volume de tráfego no pavimento.

Os valores de K_x estão na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: [20]

O DER/SP também recomenda o ajuste dos valores de K para camadas granulares de acordo com as seguintes equações:

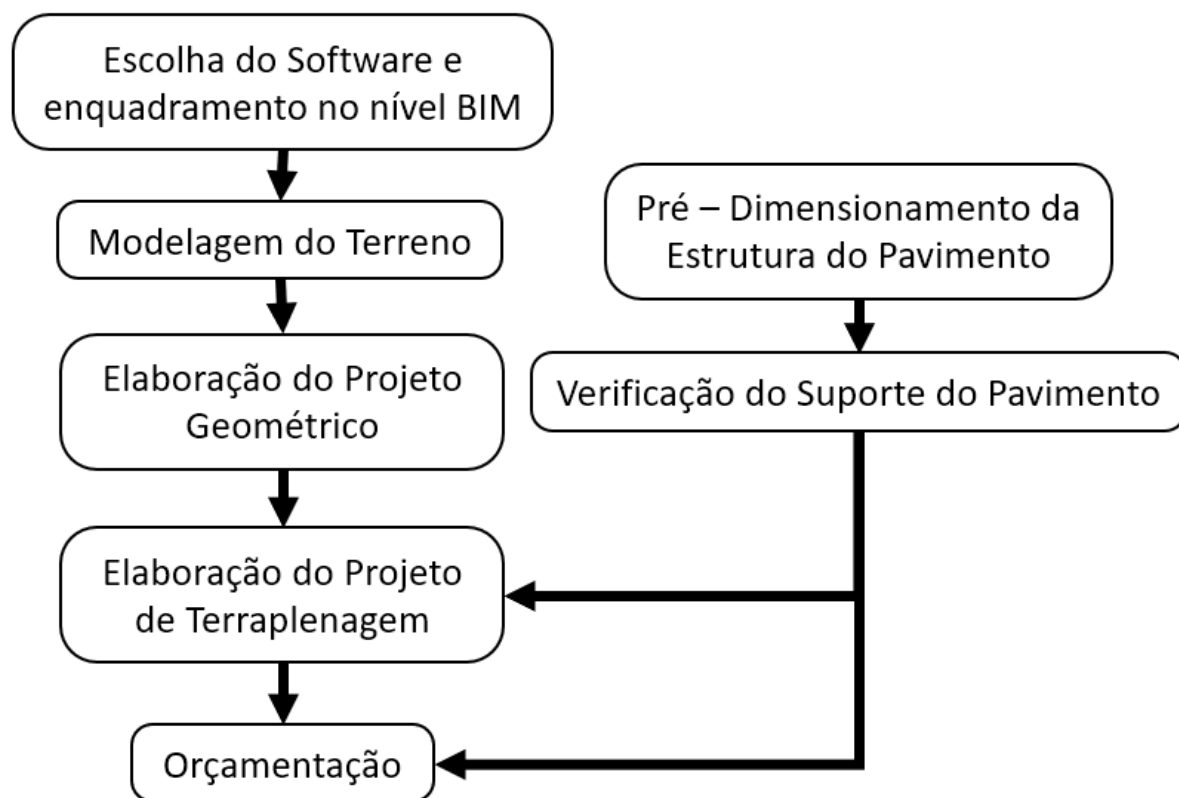
$$K_s = \sqrt{\frac{CBR_s}{3 \cdot CBR_{ref}}} \leq 1 \quad (2.5)$$

$$K_{ref} = \sqrt{\frac{CBR_{ref}}{3 \cdot CBR_{subleito}}} \leq 1 \quad (2.6)$$

3 Metodologia

A metodologia desse trabalho pode ser simplificada no seguinte diagrama da Figura 17:

Figura 17. Diagrama simplificativo da metodologia



Fonte: O autor (2018)

3.1 Escolha do Software

Dentre as principais empresas que disponibilizam o tipo de software, teve-se contato com duas delas durante a graduação: a Bentley, com o software PowerCivil for Brasil® e a Autodesk, com o AutoCAD Civil 3D®. Os dois programas são de ótima qualidade, mas fez-se necessário a escolha de apenas um deles, pois aprender a operar um software complexo desses leva tempo e investimento. Por essa razão é muito importante que se escolha o software mais adequado dentro das necessidades e condições previstas. Dessa forma, foi escolhido o software

Autodesk AutoCAD Civil 3D, na versão 2018, para desenvolver a modelagem BIM do projeto. A escolha foi baseada nos fatores enumerados:

- 1) Enquadramento do projeto no modelo BIM, como foi discutido no item 2.1.7.
- 2) A familiaridade com o ambiente do AutoCAD, facilitando habituar-se com o novo software pela grande semelhança.
- 3) A grande disponibilidade de material on-line, principalmente voltado para iniciantes, tornado o aprendizado muito mais rápido e assim acelerando o projeto.
- 4) O fato de a Autodesk também ser a empresa fornecedora do Revit, outro programa de modelagem BIM, voltado principalmente a área de superestrutura. Assim para título de futuramente integrar os projetos feitos em infraestrutura (no Civil3D) e superestrutura (no Revit) acreditou-se que seria melhor trabalhar com programas da mesma Empresa.

3.2 Modelagem do Terreno

Como já foi discutido no item 2.1.2, o nível BIM nas Forças Armadas não está solidificado a ponto de fornecer um PEB para guiar a modelagem desse projeto. Dessa forma, tal modelagem ainda é muito despadronizada, se encontra mais voltada para uma modelagem tridimensional parametrizada com geração automática de relatórios. Se concentra na experimentação das ferramentas já existentes no programa para elaborar o modelo do projeto, caracterizando, como discutido no item 2.1.1, o primeiro nível na modelagem BIM.

Sentiu-se a falta de conhecimentos sobre a estrutura de programação do software para personalizar as ferramentas existentes no programa de modo a atender os objetivos de forma mais precisa. Porém, mesmo que esses conhecimentos existissem, o tempo e trabalho que seriam demandados para fazer esse tipo de personalização fugiria ao escopo desse trabalho.

3.2.1 Sistema de Coordenadas

O sistema de coordenadas utilizado durante a modelagem foi um sistema ortonormal arbitrário, gerado pela equipe de topografia no levantamento do terreno, denominado de Sistema de Coordenadas 1 (SC[1]). Durante toda a modelagem foi utilizado esse sistema de coordenadas a fim de se manter a orientação e posição do modelo coordenado com outras

esquipes trabalhando no projeto. O problema do sistema gerado pela equipe topográfica é que não está georreferenciado.

Dessa forma, para a representação final do projeto geométrico, foi escolhido um outro sistema de coordenadas (SC[2]) em coordenadas UTM, zona 23, hemisfério sul. Foi então aplicado o procedimento descrito em 3.2.1.1 para transformar as coordenadas.

3.2.1.1 Transformação das Coordenadas

Para transformar as coordenadas do SC[1] para o SC[2] foi utilizado o sistema de equações na forma matricial abaixo:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x1' \\ y1' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x1 \\ y - y1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Onde (x',y') são as coordenadas de um ponto qualquer no sistema SC[2], (x,y) são as coordenadas de um ponto qualquer no sistema SC[1]

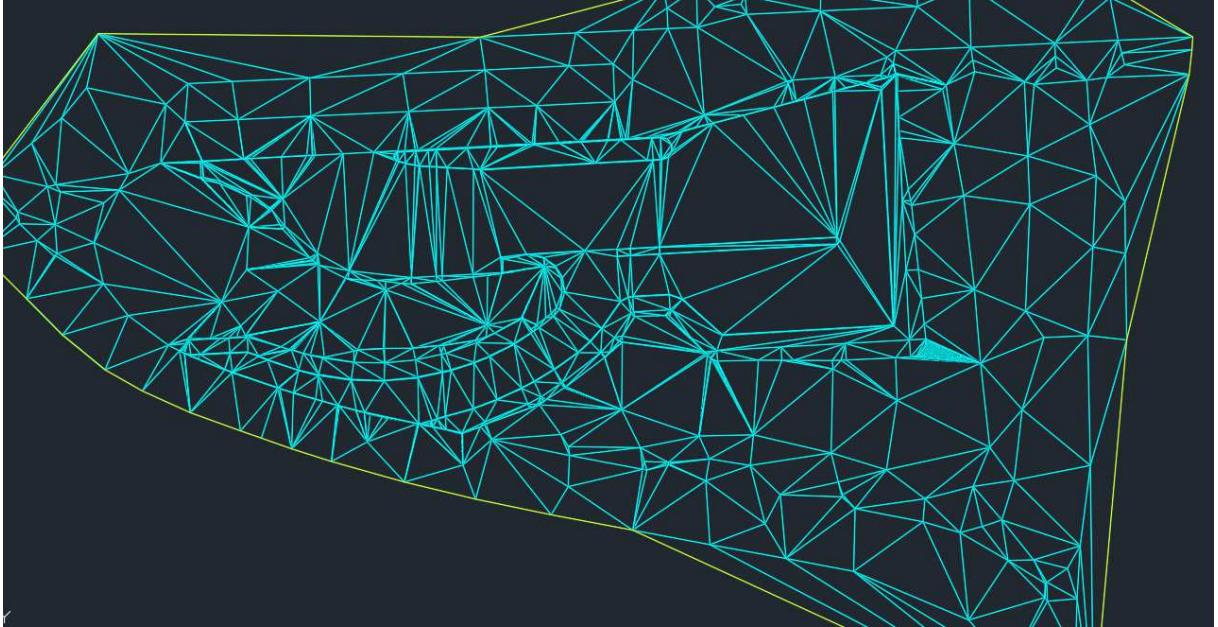
Para obtenção do parâmetro α usou-se as coordenadas nos sistemas SC[1] e SC[2], de dois pontos conhecidos, P₁ e P₂. Resolveu-se o sistema linear gerado pelas equações de transformação de coordenadas para os pontos conhecidos, obtendo-se α . Dessa forma pôde-se facilmente transformar o sistema de coordenadas de um sistema para o outro.

Esse processo pode ser feito por dentro do próprio programa na hora de importar a lista de pontos fornecida pela equipe topográfica que será usada na criação do MDT, optando por uma transformação de coordenadas pré-programada. As contas foram feitas de forma manual para verificar se a transformação usada no programa estava dentro do esperado, apresentando um resultado positivo.

3.2.2 Modelagem Tridimensional

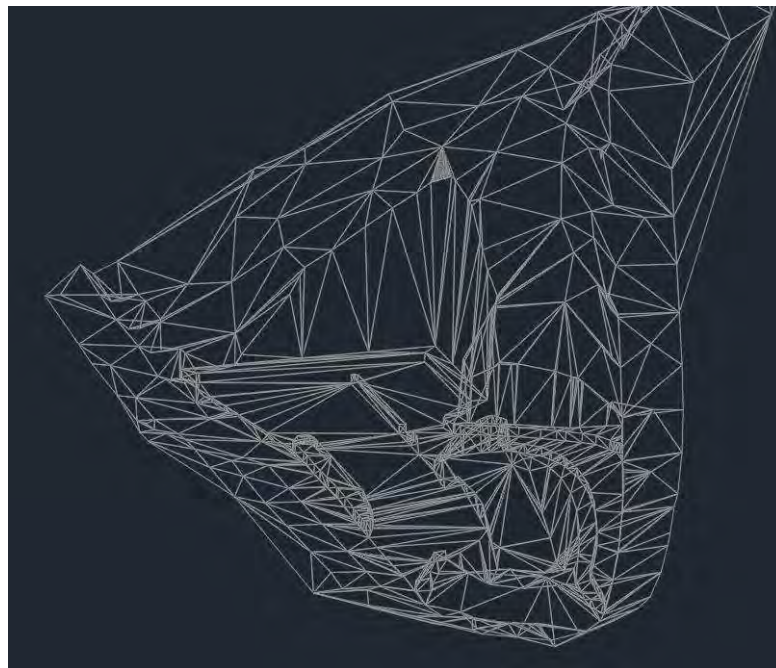
Para criação das superfícies que compõem o modelo digital do terreno (MDT), o software utiliza a Triangulação de Delaunay (Figura 18). E atribuindo as cotas do terreno aos vértices dos triângulos é feito o modelo tridimensional através da rede triangular irregular (Figura 19).

Figura 18. Triangulação da superfície final.



Fonte: Elaborada pelo autor no programa Civil 3D versão 2018

Figura 19. Rede triangular irregular da superfície final



Fonte: Elaborada pelo autor no programa Civil 3D versão 2018

A modelagem do terreno foi feita exclusivamente por meio de dois objetos presentes no programa, points e surfaces. Existem objetos muito mais robustos, e com muitas outras

características que seriam os assemblies, alignments, e corridors, que tornam a modelagem mais completa no que remete a metodologia BIM e mais esteticamente apresentável, pois vêm com pacotes texturizados. Entretanto, esses objetos são facilmente utilizados quando temos um perfil de pavimento que se repete longitudinalmente como no caso de uma estrada. O projeto em questão não tem um perfil bem definido, e deve se adequar a diversas condições de contorno, tornando a utilização desses objetos bem complicada. Portanto, foi escolhida uma estrutura de objetos mais simples para que os resultados viessem de forma mais rápida.

Os pontos fornecidos pela equipe topográfica podem ser tanto importados por um .txt, .csv, quanto convertidos de um arquivo .dwg com os pontos no formato do AutoCAD. É importante salientar que os pontos depois de importados configuram um tipo de objeto chamado COGO points. Ele é mais complexo que os pontos tradicionais do AutoCAD, pois possuem outros parâmetros voltados ao georreferenciamento e parâmetros voltados à sua descrição para que sejam agrupados para a criação das diferentes superfícies que irão compor o modelo.

O Apêndice 7 – Modelo 3D mostra os resultados gráficos obtidos com a modelagem 3D: São apresentadas imagens com proporções reais e outras com as elevações do terreno exageradas, para melhor visualização dos caimentos do terreno.

3.3 Projeto Geométrico

Nesse tópico serão discutidas as principais decisões tomadas com relação a disciplina de geometria. Nesse projeto temos os seguintes elementos a serem conectados, por meio de pavimentação e/ou calçamento:

- 1) A atual via externa de acesso dos cadastrados;
- 2) A via interna de acesso;
- 3) O novo estacionamento de espera;
- 4) A via que será usada como saída dos veículos do estacionamento de espera.

Em rodovias rurais o projeto geométrico envolve muitas características técnicas da mesma, tais como nível de serviço ou distâncias de visibilidade e elementos geométricos como curvas de transição que não se aplicam a uma via urbana de tráfego leve como é o caso desse projeto.

O projeto geométrico desse trabalho teve como principal intuito fazer conexões suaves entre os elementos descritos, prover os caimentos necessários para uma satisfatória drenagem

do pavimento e deixar as mais baixas possíveis as declividades das vias tanto longitudinal como transversal, promovendo facilidade construtiva por minimizar rampas e irregularidades, mas se atentando para não comprometer a drenagem.

Esse projeto resultou em 3 tipos representação gráfica para que possa ser executado, são eles os projetos geométricos horizontais, o plano cotado e os perfis do terreno dispostos nos apêndices 2, 3, 4 e 5

3.3.1 Conexão dos Elementos e Criação da Superfície Acabada

Sem o auxílio de software, fazer a conexão dessas diversas condições de contorno de maneira suave é uma tarefa muito complicada, pois requer uma imaginação espacial muito desenvolvida. Em métodos tradicionais é muito comum se prolongar planos que contenham essas condições de contorno, e nas retas que caracterizam a intersecção desses planos fazer uma suavização.

Com o software o processo foi o seguinte: primeiramente colocou-se as condições de contorno representadas pelos elementos, listados em 3.3, a serem conectados; em seguida desenhou-se a superfície que representa a cota acabada do estacionamento já com caimento para drenagem; posteriormente o software criou uma superfícies automaticamente triangulando esses pontos, com o refinamento da triangulação de no máximo 5m em cima de uma condição de contorno. A partir disso alterou-se manualmente as inclinações geradas para se ter uma superfície mais suavizada.

Por fim, feita a superfície do pavimento, adicionou-se os calçamentos somando-se 15 cm na linha de intersecção calçamento/pavimento e depois atribuiu-se caimentos que giram em torno de 1%. Os caimentos podem ser maiores no caso de conformações com calçamentos já existentes, como é o caso da via de saída dos veículos que não tiveram sua entrada aprovada.

3.3.2 Projeto Geométrico Horizontal

Para o projeto geométrico foram elaborados dois tipos de planta baixa (Parte 1 e Parte 2). O primeiro com pontos notáveis do terreno, referenciados por suas coordenadas para um preciso estaqueamento, e está contido no Apêndice 2 – Projeto Geométrico Horizontal Parte 1. O segundo é composto de dimensões das estruturas a serem construídas e das distâncias entre

pontos notáveis, não necessitando de equipamentos topográficos para fazer a locação das estacas, e está contido no Apêndice 3 – Projeto Geométrico Horizontal Parte 2.

É importante que se use os dois projetos geométricos em conjunto. A utilização da parte 2 é mais prática, estaqueando-se a partir de distâncias e ângulos retos, mas acumula erros ao longo do estaqueamento, portanto é importante que algumas das estacas estejam locadas com auxílio de equipamentos topográficos de acordo com a parte 1. Também é importante salientar que a parte 1 está com um número excessivo de estacas, cabendo a equipe construtiva do projeto decidir quais daquelas facilitam mais a execução da terraplenagem.

3.3.3 Gerando a Tabela de Pontos Dinâmica

Para a disponibilização das coordenadas dos pontos notáveis em formato de tabela dinâmica, existem duas funções inerentes ao programa que automatizam essa tarefa.

A primeira seria a criação de pontos extraindo a cota da superfície. Essa função é interessante porque feita a triangulação de Delaunay das superfícies do terreno, basta escolher os pontos notáveis de interesse que automaticamente lhe é atribuída a cota da superfície. Cria-se então um grupo com esses pontos (analogamente a criação de layers no AutoCAD). A partir disso existe uma função de criação de tabela de pontos que é dinamicamente atualizada com os pontos pertencentes a um determinado grupo de pontos.

3.3.4 Plano Cotado e Caimentos do Terreno

O plano cotado pode ser encontrado no Apêndice 4 – Plano Cotado. Foi escolhido representá-lo com dois tipos de malha conforme desenhado nas plantas. A primeira retangular e a segunda curva, no trecho de saída, pois exemplificam melhor a geometria de cada trecho.

Da mesma forma que nas plantas do projeto geométrico, as cotas desses pontos foram automaticamente extraídas da superfície nos pontos de intersecção das linhas nas malhas, e são atualizadas dinamicamente conforme mudanças no modelo.

Esse apêndice também disponibiliza uma planta com as curvas de nível do terreno terminado, muito importante para a equipe de drenagem. É interessante reforçar que essas curvas de nível também estão parametrizadas em relação a superfície do terreno e obedecem a dinamicidade proposta pelo BIM.

Outra planta gerada nessa seção se trata das inclinações em toda área pavimentada. Por meio de flechas, a funcionalidade slope do programa dispõe o vetor gradiente da superfície do terreno nos pontos escolhidos. Pode ser escolhido uma derivada direcional ao invés do gradiente, para que possam ser verificadas as inclinações em direções desejadas como a seção transversal da pista que categoriza a superelevação da mesma.

A verificação dessas inclinações é muito importante para que estejam de acordo com os critérios de drenagem e de superelevação do projeto. De acordo com as recomendações do DNER [23] a inclinação máxima encontrada de 4.73% para superelevação está adequada para a situação do projeto em questão.

3.3.5 Perfis de Corte Gerados

Foram gerados cinco perfis de corte para melhor representação do greide acabado, dos caimentos e da disposição das várias superfícies envolvidas no projeto. Os perfis estão dispostos no Apêndice 5 – Perfis do Terreno.

Essa é uma das ferramentas mais poderosas e relevantes no que tange a parametricidade do modelo. Basta arrastar as linhas que locam os perfis em planta (podem ser vistas na primeira prancha do Apêndice 5 – Perfis do Terreno) que os perfis presentes nas outras pranchas são atualizados automaticamente para o novo corte. O mesmo vale se for feita alguma alteração no modelo tridimensional.

3.4 Terraplenagem

A altura do novo estacionamento de espera é basicamente o parâmetro livre capaz de equilibrar os volumes de corte e aterro. Depois de algumas modelagens verificou-se que elevar muito a altura do estacionamento para um melhor equilíbrio de regiões de corte e aterro traria uma dificuldade construtiva que não justificaria a economia com o equilíbrio de corte e aterro. Dessa forma optou-se por ter um volume de corte muito maior e facilitar a execução do projeto.

3.4.1 Movimentos de Terra

3.4.1.1 Os Taludes

Foi dimensionado por outros membros da equipe de projeto que os taludes de corte terão proporções 1:1 (V:H) e os de aterro 1:2 (V:H). Os taludes foram gerados pelo comando grading do programa. Ele automaticamente cria uma superfície com a inclinação desejada, saindo da condição de contorno de uma superfície (no caso o limite da área a ser construída) até encontrar uma outra superfície (no caso o terreno natural). Os mesmos podem ser vistos no Apêndice 5 – Perfis do Terreno, Apêndice 5 – Perfis do , Apêndice 6 – Áreas de Corte/Aterro e Apêndice 7 – Modelo 3D.

O traçado desses taludes de forma precisa com o auxílio do programa foi de extrema importância para o projeto, visto que na área de terraplenagem foram retiradas árvores que precisaram ser compensadas ambientalmente, dessa forma o preciso traçado dos limites do talude pode identificar com precisão quais árvores deveriam ser cortadas.

3.4.1.2 A Abertura da Caixa do Pavimento e Retirada da Camada Vegetal

Serão retirados 20 cm da camada vegetal onde ela existir. Em toda a área do projeto será aberta a caixa do pavimento com profundidade de 20 cm a partir da cota acabada. Lembrando que aberta a caixa do pavimento, será realizada uma regularização do subleito de 20 cm abaixo da cota de fundo da caixa, ou 20 cm abaixo da cota de retirada de camada vegetal, caso essa seja mais baixa que a cota de fundo da caixa (regiões de aterro). A caixa do pavimento e seus componentes bem como a camada a ser retirada da camada vegetal podem ser visualizados no Apêndice 5 – Perfis do .

3.4.2 A Escarificação, Regularização e Compactação do Subleito

Será realizada uma escarificação, regularização e compactação do subleito (categorizando um reforço de subleito) numa profundidade de 20 cm a partir da cota prevista para a base de BGS, com grau de compactação mínimo de 95% do proctor normal e teor de umidade mais ou menos 2% em torno da ótima, de acordo com as exigências do órgão

contratante. Todo o aterro contará como subleito e, portanto, estará sujeito às mesmas condições de compactação descritas.

A chance de se encontrar um solo bom para o reforço de subleito é alta, levando-se em conta obras próximas. Mas se o solo encontrado não for adequado, será necessário o transporte de um solo adequado retirado de uma jazida de dentro do próprio DCTA.

3.4.3 Delimitação das Áreas de Corte e Aterro

As linhas que delimitam as áreas de corte e aterro basicamente são definidas pela intersecção de duas superfícies. A primeira como sendo a superfície do terreno natural menos os 20 cm da camada vegetal e a segunda sendo a cota acabada de projeto menos os 20cm da caixa do pavimento. Onde a cota da primeira superfície for maior será uma zona de corte, e onde for menor será uma zona de aterro.

No programa existe uma funcionalidade chamada “mínima distância entre superfícies” que traça uma linha exatamente onde essas superfícies se cortam determinando as zonas de corte e aterro. Essas zonas podem ser vistas no Apêndice 6 – Áreas de Corte/Aterro.

3.4.4 Caracterização do Material de Corte e Aterro

Nesse primeiro momento de projeto básico, é necessária apenas a caracterização do material utilizado no corte e aterro como de 1ª Categoria para a correta orçamentação.

Da definição do DNER, segundo RICARDO e CATALANI [18]:

Material de 1ª Categoria: terra em geral, pirraça ou argila, rocha em adiantado estado de decomposição, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior de 15 cm, qualquer que seja o teor de umidade, compatíveis com a utilização de “dozer”, “scraper” rebocado ou motorizado.

(RICARDO e CATALANI [18], 2007).

3.4.5 Cálculo dos Volumes de Corte e Aterro

O cálculo dos volumes, antes de qualquer fator de conversão, foi feito utilizando o método descrito no item 2.3.1, com auxílio do software. O cálculo é feito de forma automatizada

e dinâmica, estando sempre atualizado com o modelo. É interessante mencionar que antes do cálculo ser feito com o auxílio do programa, foi feita uma estimativa para tais volumes usando o método das áreas médias e o volume encontrado possuía um erro de aproximadamente 50% quando comparado ao volume encontrado junto a software. Isso é devido a grande irregularidade das seções transversais.

Feitos os cálculos dos volumes in loco de corte e aterro, são necessárias as conversões de corte para aterro, relacionados ao fator de redução volumétrica ($1-\varphi_2$) e as conversões para o volume do material solto, relacionadas ao fator de empolamento (E). Essas conversões são importantes para que sejam quantificados de forma correta os volumes de terra que serão utilizados, de acordo com os critérios de medição especificados pelo serviço na referência orçamentária. Isto é, o transporte do material é pago pelo volume solto (volume que devidamente ocupa nos caminhões), o serviço de corte é pago pelo volume ocupado in loco antes do corte, e o serviço de aterro é pago pelo volume ocupado in loco após compactação.

Nesse projeto há um volume de corte muito maior que o volume de aterro, portanto, parte desse volume será reutilizado no aterro e o resto será levado para uma área de bota fora.

Chamando de V_n o volume de terra encontrado no estado natural na obra, ou seja, o volume que será cortado; de V_s o volume solto, ou seja, o volume ocupado no transporte depois de escavado, geralmente maior do que V_n ; e de V_{comp} o volume comprimido no aterro, geralmente menor do que V_n , temos as seguintes relações:

$$V_s = \left(1 + \frac{E(\%)}{100} \right) * V_n \quad (3.2)$$

$$V_{comp} * \frac{1}{\varphi_2} = V_n \quad (3.3)$$

É interessante deixar essas relações na maneira apresentada, pois calculado o volume de corte, que será o maior, calcula-se quanto desse volume será reutilizado no aterro pela equação (3.3), e sobre o que sobrar de V_n , calcula-se o volume a ser transportado para o bota fora pela equação (3.2).

Em razão da diversidade dos solos e das diferentes energias de compactação empregadas, é bastante difícil estimar a relação $V_{comp} : V_n$. Para o projeto executivo será necessário fazer um ensaio de compactação para verificação da massa específica aparente seca máxima desse solo e da umidade ótima de compactação e um ensaio de campo para verificação

do teor de umidade in loco. Somente assim é possível obter um valor confiável de φ_2 e E. Além de ser útil para a correta quantificação, esses ensaios serão necessários para que o solo atinja a resistência adequada pós-compactação.

Em análogo, para o fator de empolamento será necessário realizar ensaios de densidade, muito mais simples que os de compactação, para obter-se um valor mais confiável para E. Devido à natureza da obra (volume de corte muito maior que de aterro), o fator de empolamento será mais relevante, a título de orçamentação, do que o de redução volumétrica. Isso é interessante, pois há um maior consenso entre diversos autores para as estimativas do empolamento, e espera-se que isso trará um menor erro na orçamentação.

Apesar de ser difícil estimar os valores de E e φ_2 , nesse primeiro momento de projeto básico isso será necessário.

Para os fatores de empolamento tem-se, na Tabela 3, as estimativas segundo GARCIA [16]. Estimativas corroboradas por RICARDO e CATALANI [18] e PEREIRA [19].

Tabela 3. Empolamento.

Material	Empolamento (%)
argila	40
terra comum – seca	25
terra comum – molhada	25
calcário	67
areia, molhada, compacta	12
areia, seca, solta	12

Fonte: [16]

Pelas características do local escolheu-se o valor de 25% para o empolamento. Já para o fator de contração, não há um consenso tão nítido como no caso do empolamento. Segundo RICARDO e CATALANI [18], para terra comum (solo argiloso-siltoso, com areia) pode-se admitir um fator de redução volumétrica de 5% a 15%. Assim foi escolhido o valor de 15%, pois como o aterro tem custo unitário maior, em termos de orçamentação essa é uma decisão mais apropriada.

Dessa forma seguindo o procedimento descrito, o programa já calcula os valores desejados e o exporta em um arquivo XLS, ligado a planilha orçamentaria em outro arquivo XLS tendo seus valores diretamente atualizados. Pode-se deixar os fatores de redução volumétrica e de empolamento na planilha orçamentária ou diretamente dentro do programa. O

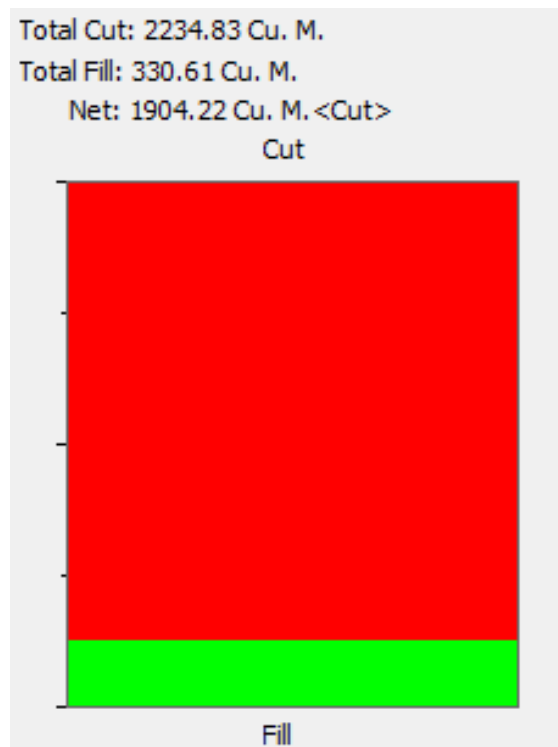
interessante de deixar os fatores no programa é que ele produz um diagrama que relaciona corte e aterro (Figura 20), e ferramentas que podem ser usadas para balancear os volumes alterando o modelo. Como já mencionado nesse trabalho, escolheu-se deixar os volumes bem desbalanceados pela facilidade construtiva que isso trouxe. Tem-se os seguintes resultados para os volumes encontrados na Tabela 4.

Tabela 4. Volumes dos movimentos de terra (m³).

Corte (Geométrico)	Corte Ajustado (Volume Solto)	Aterro (Geométrico)	Aterro Ajustado (Volume Solto)	Bota-Fora (Volume Solto)
1878,86	2234,83	224,91	330,75	1904,08

Fonte: O autor (2018)

Figura 20. Diagrama de distribuição dos movimentos de terra.



Fonte: Elaborada pelo autor no programa Civil 3D versão 2018

3.5 A Pavimentação

A estrutura do pavimento será a mesma em toda a área pavimentada. Se trata de um pavimento flexível e foi pré-dimensionado através da experiência prática de profissionais envolvidos no projeto, e seu suporte foi apenas verificado no item 0.

3.5.1 Dimensões das Camadas e Materiais Usados

Para as diferentes camadas do pavimento tem-se os seguintes materiais e espessuras segundo a Tabela 5:

Tabela 5. Composição do pavimento.

Camada	Material	Espessura
Subleito	Terra comum (solo argiloso-siltoso, com areia)	Indefinida
Reforço de Subleito	Terra comum, escarificada e compactada	20 cm
Base	Brita Graduada Simples (BGS)	15 cm
Revestimento	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	5 cm

Fonte: O autor (2018)

3.5.2 Cálculo dos Volumes

O programa calculou os volumes dos materiais usados de acordo com 2.3.1, de forma automatizada e dinâmica, sempre atualizados com a modelagem. Esses volumes, no caso particular desse projeto, são facilmente calculáveis, pois no projeto todo tem-se apenas um tipo de estrutura do pavimento, então uma simples multiplicação de área pelas espessuras resolveria o problema. Mas para um projeto mais complexo com diferentes estruturas de pavimento, a automação desse cálculo através da parametrização dos materiais componentes nos objetos do

modelo seria de grande valia, pois pouparia tempo, evitaria aproximações e erros humanos. Os valores encontrados constam na Tabela 6:

Tabela 6. Volume dos materiais componente do pavimento.

Material	Volume (m³)
BGS	396.51
CBUQ	139.77
Solo de Empréstimo (Caso houver)	528,68

Fonte: O autor (2018)

3.5.3 Validação do suporte do Pavimento

O suporte do pavimento foi validado usando a metodologia expressa em 2.4.1. Foi adotado um valor do parâmetro N como sendo $5 * 10^5$, valor típico usado em tráfegos médios, caracterizados por um volume diário de até 100 ônibus ou caminhões, ou 1500 veículos leves na faixa mais carregada segundo a classificação da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras da Cidade de São Paulo. [25]

Alguns dos parâmetros necessários para o cálculo não estão disponíveis nesse momento de projeto básico, como o CBR do material de reforço de subleito e do CBR do subleito. Como não existe camada de sub-base, para o CBR do reforço do subleito foi adotado o mínimo de 20% recomendado pelo manual de pavimentação do DNIT. Caso o solo local não forneça essa resistência, será necessário o empréstimo de uma jazida local.

Como não se possui o CBR do subleito, calculou-se o mínimo CBR do subleito para que a estrutura suportasse o tráfego previsto. Obteve-se o valor de 8 para esse CBR, conforme os cálculos apresentados a seguir nas Tabela 7 e Tabela 8.

:

Tabela 7. CBR Mínimo das camadas do pavimento

Camada	Material	E(cm)	k	CBR(mín)
Revestimento	CUBQ	5	2	-
Base	BGS	15	1	60
Sub-Base	Solo local escarificado e compactado (Proctor Normal) ou Solo de empréstimo estabilizado granulometricamente e compactado (Proctor Normal)	20	0.94	20
Subleito	Solo local	-	-	8

Fonte: O autor (2018)

Tabela 8. Resultado das inequações

$RK_R + BK_B$	=	25.00 cm	$\geq$	23.69 cm	=	H_{20}
$RK_R + BK_B + h_{20}K_s$	=	43.82 cm	$\geq$	43.50 cm	=	H_8

Fonte: O autor (2018)

Dessa forma conclui-se que caso o CBR do solo de subleito seja maior ou igual a 8, a capacidade de suporte do pavimento está válida, o que é muito provável que aconteça. Caso esse valor encontrado seja inferior a 8, será necessário o redimensionamento do pavimento, que será aumentando a camada de sub-base. Essas análises serão feitas em uma fase mais avançada do projeto, quando forem requeridos os ensaios necessários.

3.6 A Orçamentação

Dados os quantitativos extraídos pelo programa em formato XLS, calculou-se os custos dos serviços e materiais envolvidos de acordo com as referências do SINAPI e da CPOS, através de uma planilha previamente preparada pela equipe orçamentária da CODCTA, ligada aos arquivos que contém os quantitativos para estar sempre atualizada. A orçamentação está disposta no Apêndice 8 – Planilha Orçamentária.

Alguns dos volumes de corte e aterro foram agrupados ou separados para compor as diferentes especificações técnicas dos serviços existentes.

4 Resultados e Discussão

4.1 Resultados

Os principais resultados desse trabalho foram os apêndices gerados durante todo o processo de modelagem do projeto. Eles contêm todas as informações entregáveis relevantes ao projeto básico que precisavam ser extraídas do modelo em BIM. Eles superam em nível de detalhe e consistência dos dados os resultados esperados sem o uso da tecnologia. Em nível de detalhe, porque modela todo o terreno e não apenas algumas partes relevantes, facilitando a extração de mais informações que elucidem a geometria do projeto, caso seja necessário; e em consistência pois os dados estão sempre atualizados em relação ao modelo.

4.2 Discussão

4.2.1 Vantagens e Desvantagens do Emprego da Metodologia BIM

As principais vantagens de se ter usado essa metodologia na modelagem desse projeto foram:

- 1) Consistência das representações gráficas e numéricas, que estavam sempre atualizadas conforme o modelo, poupando retrabalho e não gerando riscos de se esquecer de atualizar alguma informação nas diversas plantas e tabelas;
- 2) A precisão dos cálculos volumétricos, que só pode ser obtida graças a modelagem tridimensional;
- 3) Possibilidade da exploração de alternativas de projeto com pouco retrabalho.

As principais desvantagens encontradas foram:

- 1) A modelagem requereu um nível muito grande de detalhamento para que apresentasse um resultado satisfatório, mesmo para uma obra que não demanda tamanha precisão nos cálculos e detalhes;
- 2) Perda de produtividade. Se o projeto tivesse sido feito sem o auxílio da tecnologia, o tempo despendido teria sido muito menor em detrimento da precisão dos

resultados. Um dos fatores preponderantes na perda da produtividade foi a falta de habilidade e experiência com o software. Como já foi discutido em 2.1.6, modelar em BIM é um investimento a longo prazo, seus benefícios são melhor sentidos com a experiência e com o acúmulo de objetos e parâmetros que podem ser reutilizados em outros projetos.

4.2.2 Dificuldades na Modelagem

Encontrou-se muita dificuldade na modelagem nas áreas de conformação com a estrutura existente. A principal causa dessa dificuldade é que o levantamento topográfico não levanta de forma exata o terreno existente, pois afinal essa tarefa é impossível. O modelo é tão preciso quando o refinamento do levantamento topográfico.

Dito isso, foi necessário a adequação manual de muitos dos triângulos da superfície do modelo para que eles melhor representassem o que de fato existia no local, para que assim a conformação da superfície de projeto com a existente pudesse ser feita de uma maneira satisfatória. Percebe-se aqui que a metodologia BIM não envolve somente o responsável pela modelagem do projeto, mas toda a equipe envolvida no projeto, que deve se adequar as novas demandas desse tipo de modelagem que é mais precisa e detalhada e, portanto, exige dados de entrada mais precisos e mais detalhados.

4.2.3 Linguagem de Programação e Padrão de Arquivo

Cada projeto e cada projetista tem comportamentos diferentes, dessa forma é natural pensar que uma ferramenta em seu formato genérico não se adeque a todos os tipos de situação e usuários. Os programas BIM já vêm com espaço para uma série de personalizações dos estilos de representação gráfica e da automação dos processos em sua interface gráfica, mas muitas vezes faz-se necessário adentrar um pouco mais fundo nesse processo de personalização para que os objetivos sejam atingidos da melhor forma possível. É necessário compreender as peculiaridades do padrão de arquivo e a linguagem de programação do software para se fazer edições mais profundas e rebuscadas. Isso requer um conhecimento muito aprofundado e multidisciplinar por parte do projetista que, ao escolher modelar um projeto em BIM, está se

comprometendo a entrar no campo da computação ou possuir alguém em seu time de projeto que possua esse tipo de conhecimento.

Um exemplo do descrito ocorreu no projeto na geração dos quantitativos volumétricos para orçamentação e na geração das listas de coordenadas dos pontos. O programa já vem com um sistema de geração de relatórios nos formatos PDF, XLS ou DOC que podem ser parcialmente editados. Os campos como autor, nome do projeto e data podem ser facilmente editados em seu conteúdo, mas adicionar novos campos, retirar campos ou alterar o layout da página é muito mais complicado. Faz-se necessário editar os arquivos componentes do software diretamente em seu código fonte ou usar de programas de terceiros que facilitam a edição desse código fonte por meio de outras interfaces. Esse é um processo muito trabalhoso e a edição desses arquivos não entrou no escopo desse trabalho. Na Figura 21 pode-se ver o relatório que foi automaticamente gerado pelo programa, e na Figura 22 o formato desejado para o relatório. Existem coordenadas negativas nos relatórios apresentados nessas figuras, o que não pode ocorrer em um projeto geométrico, mas o objetivo é apenas mostrar as diferenças nos layouts.

Os relatórios finais não foram gerados de forma completamente automática como seriam no cenário ideal, os dados obtidos pelo programa tiveram um tratamento “manual” para atingir o layout desejado.

Figura 21. Relatório de coordenadas gerado de forma automática

CO-DCTA / DIVISÃO TÉCNICA / SEÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS E

**Praça Mal do Ar Eduardo Gomes, nº 50, Vila das
Acácias, São José dos Campos , CEP 12.228-901**

,

Point Report		Client: DCTA
Project Name: C:\Users\guisb\Documents\CO-DCTA(500h)\Projeto Trevo (TG)\Arquivos CAD\Versões mais Atuais\5 - Perfis do Pavimento\APP_PB_TER005_IMP_R01.dwg		Project Description:
Report Date: 16/11/2018 19:48:34		Prepared by: Priscila CATERINE de Brito Cataldi

Point Report

Project: C:\Users\guisb\Documents\CO-DCTA(500h)\Projeto Trevo (TG)\Arquivos CAD\Versões mais Atuais\5 - Perfis do Pavimento\APP_PB_TER005_IMP_R01.dwg

Total COGO Points:89

Number	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)	Description
5000	-2.637	0.076	0.196	P1
5001	-4.634	5.699	0.374	P2
5002	-8.104	10.553	0.549	P3
5003	-2.393	6.755	0.183	P4
5004	-6.603	12.554	0.344	P5
5005	10.831	16.056	0.507	P6
5006	12.490	13.845	0.410	P7
5007	16.046	23.081	0.762	P8
5008	18.522	21.863	0.694	P9
5009	17.817	31.648	1.023	P10
5010	20.575	31.685	0.976	P11

Figura 22. Layout desejado para o relatório de coordenadas

Tabela de Pontos				Tabela de Pontos			
Descrição	E	N	Cota	Descrição	E	N	Cota
P47	67,0167	-29,6076	2,180	P70	102,3924	-18,2338	2,510
P48	68,2112	-28,0349	2,122	P71	73,1779	-18,9048	1,949
P49	74,5410	-27,9999	2,189	P72	72,7519	-18,2966	1,928
P50	81,5729	-34,9404	2,366	P73	73,1950	-17,7047	1,926
P51	112,7905	-34,8496	2,990	P74	68,4189	-18,9173	1,865
P52	59,4405	-33,8242	2,006	P75	68,8417	-18,3089	1,850
P53	62,3582	-31,1247	1,950	P76	68,3955	-17,7174	1,829
P54	64,8136	-28,1572	1,949	P77	66,2547	-17,7231	1,784
P55	65,8789	-26,7319	1,949	P78	66,2378	-18,9230	1,810
P56	66,9427	-25,8132	1,948	P79	65,8116	-18,3169	1,788
P57	68,3083	-25,4799	1,950	P80	74,2934	-0,0028	1,679
P58	74,3429	-25,4625	1,992	P81	76,1482	-1,8479	1,762
P59	75,4916	-25,6878	2,011	P82	74,3032	-3,7025	1,737
P60	76,4665	-26,3355	2,028	P83	44,8388	-3,7800	1,125
P61	82,6015	-32,4375	2,199	P84	40,1577	-3,2595	0,992
P62	110,3009	-32,3570	2,756	P85	35,4768	-2,7390	0,870
P63	112,9622	6,1597	2,664	P86	33,4092	-2,3156	0,808
P64	110,2840	5,6956	2,509	P87	31,4190	-1,6329	0,751
P65	110,3439	6,2223	2,505	P88	30,9410	-0,7857	0,725
P66	111,2584	7,5788	2,529	P89	31,6464	-0,1160	0,731
P67	112,8439	7,9817	2,711				
P68	101,9557	-17,6290	2,503				
P69	101,9401	-18,8270	2,524				

COMISSÃO DE OBRAS DO DCTA - CO-DCTA

APP - ACESSO PORTÃO PRINCIPAL

PROJETO GEOMÉTRICO HORIZONTAL PARTE 1

CO-DCTA / DIVISÃO TÉCNICA / SEÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS

DESENHISTA:
Priscila CATHERINE de Brito Cataldi
2ª Ten QCCON CIV
CREA: 5061772663

AUTOR:
Priscila CATHERINE de Brito Cataldi
2ª Ten QCCON CIV
CREA: 5061772663

CONFIRMO:
Robinson SAMUEL Boschetti
Maj Eng IES
CONFEA: 5062280674/D-SP

NR DO PROJETO:
APP_PB_TER002_IMP_R01

VISTO:
STEVEN Meier
Cel Av
CONFEA: 150531 - RS

ESCALA

INDICADA

UNIDADE

m

FRAÇÃO

5/5

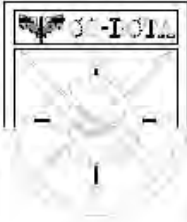
DATA

OUT 18

ARQUIVO (DWG)

APP_PB_TER001_IMP_R01

REV 01



4.2.4 Interoperabilidade Também no Aprendizado

Pôde-se sentir com esse projeto a extensão e a complexidade das ferramentas que suportam o BIM. Duas das características fundamentais da metodologia é a interoperabilidade entre os projetistas e a diminuição do retrabalho. Essas características devem estar presentes não somente na hora de projetar, mas também no aprendizado, análise e aprimoramento das ferramentas BIM, para que seu uso possa ser adotado da maneira mais eficiente possível pelo SISENG.

5 Considerações Finais

Esse projeto contribuiu ativamente para a solução de um problema que atualmente limita muito a qualidade do acesso viário principal do campus do DCTA. Utilizando-se de um software categorizado como ferramenta BIM foi possível gerar de forma satisfatória as plantas, quantitativos e preços envolvidos no projeto de pavimentação e terraplenagem da reestruturação proposta para o acesso.

Mudanças podem gerar certo desconforto, ainda que o objetivo seja facilitar a vida de engenheiros, arquitetos, projetistas e todos aqueles que vivenciam a cadeia da construção. Isso porque a pouca mão de obra qualificada, as dificuldades e a falta de padrões de desenho brasileiros causam receio por parte dos profissionais. Mas o mesmo aconteceu na década de 1980, quando a tecnologia CAD (Computer Aided Design) veio ao Brasil. A transição não foi simples. Mas hoje é possível perceber quão forte é sua utilização no mercado, depois que os profissionais da construção passaram por capacitação.

O mesmo está acontecendo com o BIM. Para ajudar no processo transitório, esse trabalho situa-se no âmbito de incentivar, contextualizar e mostrar um pouco do uso da ferramenta através de uma aplicação direta. Foram encontradas muitas dificuldades no processo de modelagem, mas se pôde observar o potencial da ferramenta de gerar grande retorno se investido tempo suficiente para dominá-la, e criar toda uma biblioteca de famílias que possibilitam uma boa automação dos processos de modelagem.

6 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para estudos futuros sugere-se:

- 1) Trabalhar na modelagem dos objetos e layouts, que constam nesse trabalho, para que possam ser usados facilmente em projetos futuros, disponibilizando esse material de forma aberta e bem estruturada, colaborando na composição de um PEB para o SISENG. É importante que se crie uma plataforma on-line para a composição das bibliotecas e compartilhamento das informações sobre técnicas e metodologias no uso da ferramenta, para que o conhecimento não fique compartimentado.
- 2) Elaborar uma simulação para analisar o comportamento da portaria pós reestruturação e examinar a necessidade de futuros projetos de expansão.
- 3) Investigação e análise de novas tecnologias que podem ser empregadas junto as ferramentas BIM e sobre sua empregabilidade no SISENG, como por exemplo levantamentos topográficos feitos por meio imagens com o auxílio de drones (Autodesk Recap).
- 4) Análise de custo, requisitos materiais e computacionais para a implementação efetiva de ferramentas BIM em uma OM, levando em conta seus níveis de maturidade. Pode-se incluir predições do tempo de obsolescência dos equipamentos para manter a operacionalidade da equipe.

7 Referências Bibliográficas

- [1] BRASIL. Decreto n. 9.377, de 03 de nov. de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Lex: coletânea de legislação e jurisprudência. MICHEL TEMER. Brasília, p. 1-1, maio. 2018. Decreto Presidencial. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm>. Acesso em 3 out 2018.
- [2] EASTMAN, C. et al. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 1 ed. Hoboken, Nova Jersey: Editora John Wiley & Sons, Inc. 2008
- [3] WILKEN, P. S. Engenharia de drenagem superficial. Cetesb, 1978. Cap. 1.
- [4] TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4a ed. ABRH-UFRGS, 2009. Cap 5.
- [5] HAMED, L. O que é Bim? Postado em: 20 maio 2015. Disponível em: <<https://hashtagbim.wordpress.com/2015/05/20/o-que-e-bim/>>. Acesso em 21 set 2018.
- [6] COLUCCI, R. Que é o AutoCAD Civil 3D? Postado em: 05 abr 2012. Disponível em: <<https://cad.cursosguru.com.br/novidades/o-que-e-o-autocad-civil-3d/>>. Acesso em 05 out 2018.
- [7] FIALHO, G. Modelagem BIM é alternativa para reverter cenário atual da construção civil. Postado em 19 jun 2018. Disponível em: <<https://abdi.com.br/postagem/modelagem-bim-e-alternativa-para-reverter-cenario-atual-da-construcao-civil>>. Acesso em 04 out 2018.
- [8] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. ABDI disponibiliza 113 novas normas no Catálogo da ABNT: 104 da construção e nove referentes ao BIM. Postado em 22 ago 2018. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2012/03/como-configurar-correcao-automatica-de-erros-ortograficos-no-word.html>>. Acesso em 05 set 2018.
- [9] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Biblioteca Nacional BIM. Disponível em: <<https://bim.abdi.com.br/bimBr/#/objetos>>. Acesso em 17 set 2018.
- [10] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Guias, Normas e Manuais para o bimbr. Disponível em: <<https://bim.abdi.com.br/bimBr/#/conteudo/9>>. Acesso em 17 set 2018
- [11] ROTTA, F. Formação de biblioteca BIM deve ajudar indústria da construção: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial vai lançar a plataforma BIM. Postado em 20 dez 2017. Disponível em: <<https://abdi.com.br/postagem/formacao-de-biblioteca-bim-deve-ajudar-industria-da-construcao>>.

- [12] MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Livroto estratégico BIMBR. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/Livreto_Estrat%C3%A9gia_BIM_BR_vers%C3%A3o_site_MDIC.pdf>. Acesso em: 07ago 2018.
- [13] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, v.18, n.3, p. 357-375, maio 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001568?via%3Dihub>>. Acesso em: 05 nov 2018.
- [14] FEITOSA, A. Níveis de Maturidade BIM. Postado em 23 jul 2016. Disponível em: <<https://bimexperts.com.br/niveis-de-maturidade-bim-2/>>. Acesso em 09 set 2018.
- [15] BUILDIN. Governo Federal vai exigir uso do BIM a partir de 2021. Postado em 21 maio 2018. Disponível em: <<https://www.buildin.com.br/governo-federal-vai-exigir-uso-do-bim-a-partir-de-2021/>>. Acesso em 15 set 2018.
- [16] GARCIA, G. J.; PIEDADE, G. C. R. Topografia aplicada às ciências agrárias. 5 ed. Nihil, São Paulo, 1984.
- [17] BIBILUS. IFC e BIM: IFC, o que é e para que serve? Qual é a ligação com o BIM? Postado em mar 2017. Disponível em: <<http://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-o-que-e-e-para-que-serve-qual-e-a-ligacao-com-o-bim/>>. Acesso em: 05 out 2018.
- [18] RICARDO, H.S.; CATALANI, G. Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3. ed. São Paulo: Ed. Pini, 2007.
- [19] PEREIRA, A. L. Equipamentos de Terraplenagem: Características e Emprego. Ed. Ao Livro Técnico Ltda, 1961. p.272.
- [20] BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Cordenção Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006.
- [21] RODRIGUES, M. F.; NANDI, N. N. S.; LABHARDT, R. Modelo de Construção Bim de Infraestrutura: Estudo de Caso: Loteamento Residencial. Tese de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Positivo. Curitiba, 2016.
- [22] MASCARÓ, J. L.; YOSHINAGA, M. Infra-estrutura urbana. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2005.
- [23] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Rio de Janeiro: IPR Publicações, 1999.
- [24] KANG, T. W. Object composite query method using IFC and LandXML based on BIM linkage model. *Automation in Construction*, v.76, p. 14-23, abril 2017. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517300237>>. Acesso em: 05 nov 2018.

[25] SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS DA CIDADE DE SÃO PAULO. Instrução de Projeto IP-04/2004: Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Tráfego Leve e Médio. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2004.

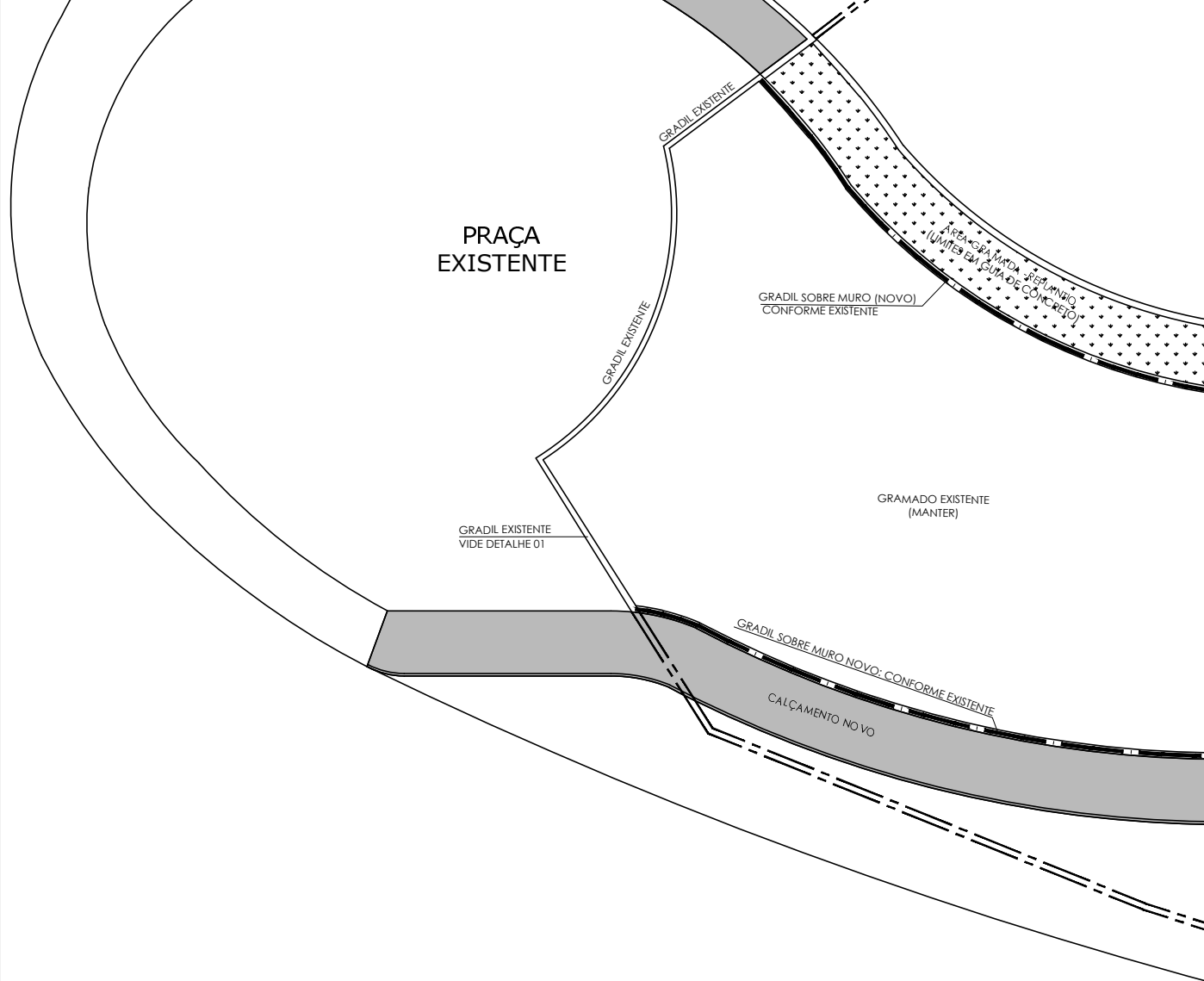
[26] Building Information Modeling Project Execution Planning Guide©2010 by The Computer Integrated Construction Research Group of The Pennsylvania State University. Disponível em: <<http://bim.psu.edu/>> . Acesso em 30/10/2018.

[27] CARVALHO, André A. V. Análise comparativa entre processos para elaboração de Plano de Execução BIM, visando à aplicação na FAB. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

8 Apêndices

8.1 Apêndice 1 – Projeto Arquitetônico

Esse apêndice contém as plantas referentes ao projeto arquitetônico.



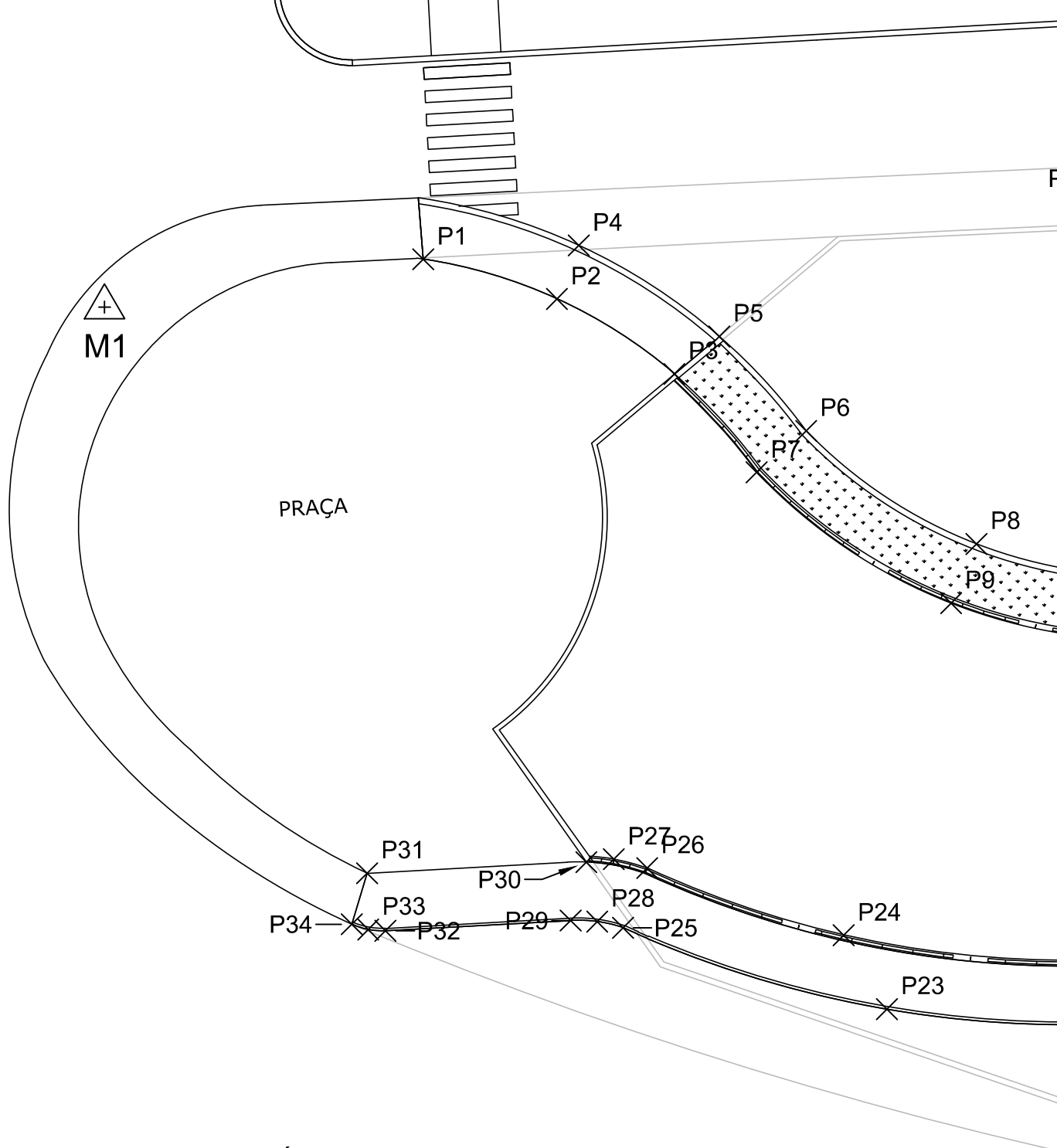
01 PROJETO ARQUITETÔNICO
ESCALA: 1/250

LEGENDA

	GRADIL EXISTENTE
	GRADIL SOBRE MURO
	GUIAS E MARCAÇÕES - DEMOLIÇÃO
	GUIAS DE CONCRETO
	CALÇAMENTO NOVO
	ASFALTO

8.2 Apêndice 2 – Projeto Geométrico Horizontal Parte 1

Esse apêndice contém as plantas baixas referentes ao projeto geométrico parte 1, bem como as tabelas que contém as coordenadas dos pontos indicados nas plantas.



01 PROJETO GEOMÉTRICO HORIZONTAL PARTE 1
 ESCALA: 1/250

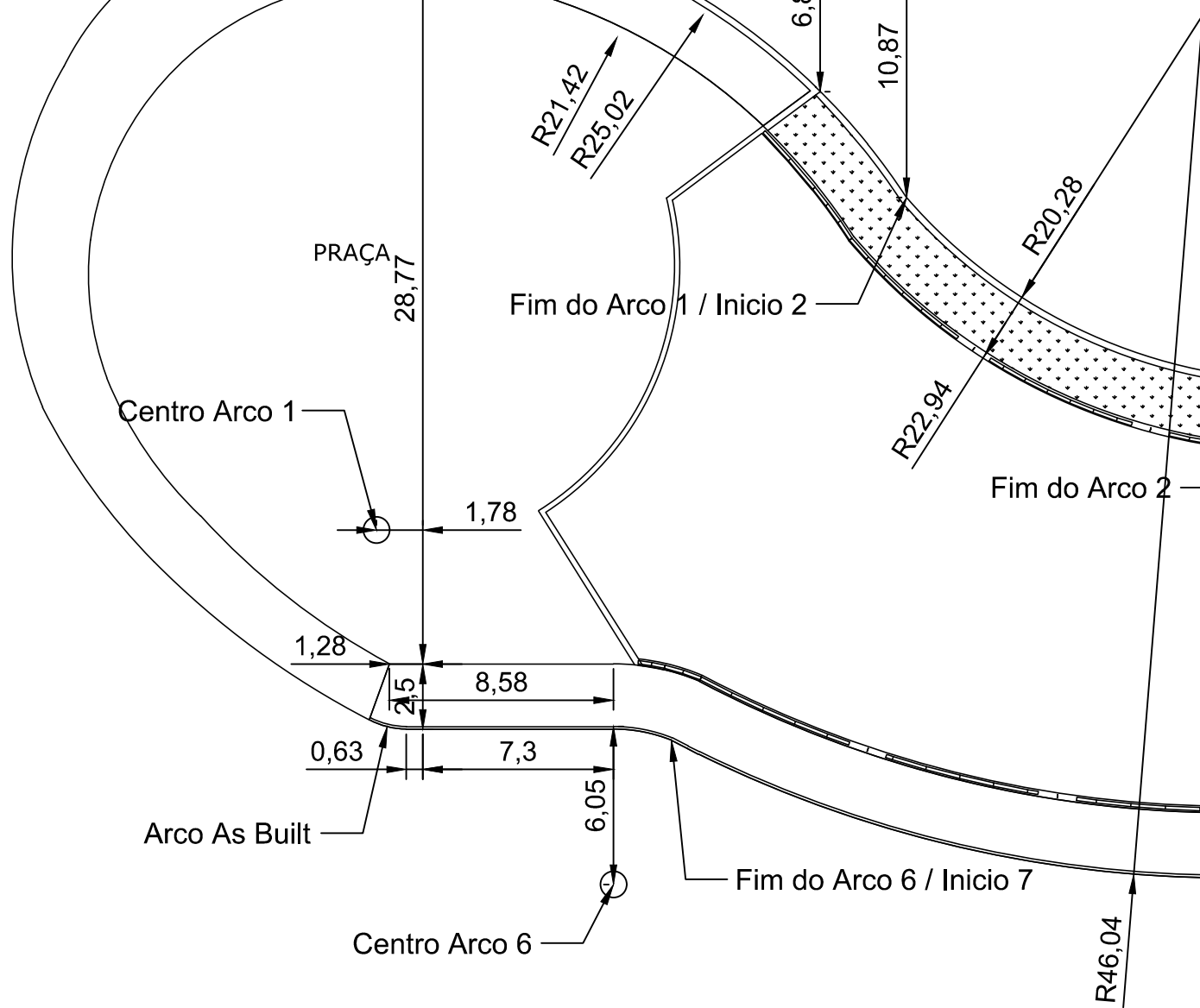
MARCOS		
DEFINIÇÃO	E	N
M1	409.747,1330	7.433.474,615
M2	409.831,2454	7.433.439,938
M3	409.808,5753	7.433.402.255

Tabela de Pontos			
Descrição	E	N	Cota
P1	409757.7381	7433465.8010	592.026
P2	409760.2778	7433460.4010	592.204
P3	409761.2292	7433454.5100	592.379
P4	409762.6125	7433461.2290	592.013
P5	409763.7042	7433454.1450	592.174
P6	409763.1660	7433448.6810	592.337
P7	409760.4311	7433449.0840	592.240
P8	409764.4056	7433440.0200	592.592
P9	409761.7895	7433439.1410	592.524
P10	409769.1780	7433432.6860	592.853
P11	409767.2450	7433430.7190	592.806
P12	409780.1421	7433421.6790	593.217
P13	409778.3645	7433419.5550	593.258
P14	409783.2727	7433418.5400	593.311
P15	409784.4760	7433411.9550	593.474
P16	409778.7153	7433408.5470	593.571
P17	409773.9746	7433409.5660	593.624
P18	409774.9596	7433412.1560	593.729
P19	409763.5584	7433413.8270	593.650
P20	409754.4887	7433420.4900	593.340
P21	409763.0549	7433417.3400	593.485
P22	409754.8904	7433423.9590	593.122
P23	409746.9970	7433429.6300	592.740
P24	409748.1217	7433433.1160	592.490
P25	409742.0785	7433440.3760	592.124
P26	409744.6694	7433441.3070	592.094
P27	409744.0045	7433442.6230	592.081
P28	409741.5367	7433441.3770	591.965
P29	409740.8142	7433442.2570	591.912
P30	409743.1307	7433443.4180	591.816

Tabela de P		
Descrição	E	
P31	409736.5275	7
P32	409735.2134	7
P33	409734.7595	7
P34	409734.4627	7
P35	409752.3599	7
P36	409752.4414	7
P37	409753.0370	7
P38	409753.8220	7
P39	409765.0510	7
P40	409772.1152	7
P41	409758.5771	7
P42	409764.9281	7
P43	409771.6010	7
P44	409771.6686	7
P45	409776.9319	7
P46	409781.3172	7
P47	409785.6988	7
P48	409787.6569	7
P49	409792.1374	7
P50	409792.1567	7
P51	409814.1960	7
P52	409777.3701	7
P53	409781.3417	7
P54	409785.1784	7
P55	409786.9408	7
P56	409788.3423	7
P57	409789.5403	7
P58	409793.8006	7
P59	409794.4492	7
P60	409794.6753	7

8.3 Apêndice 3 – Projeto Geométrico Horizontal Parte 2

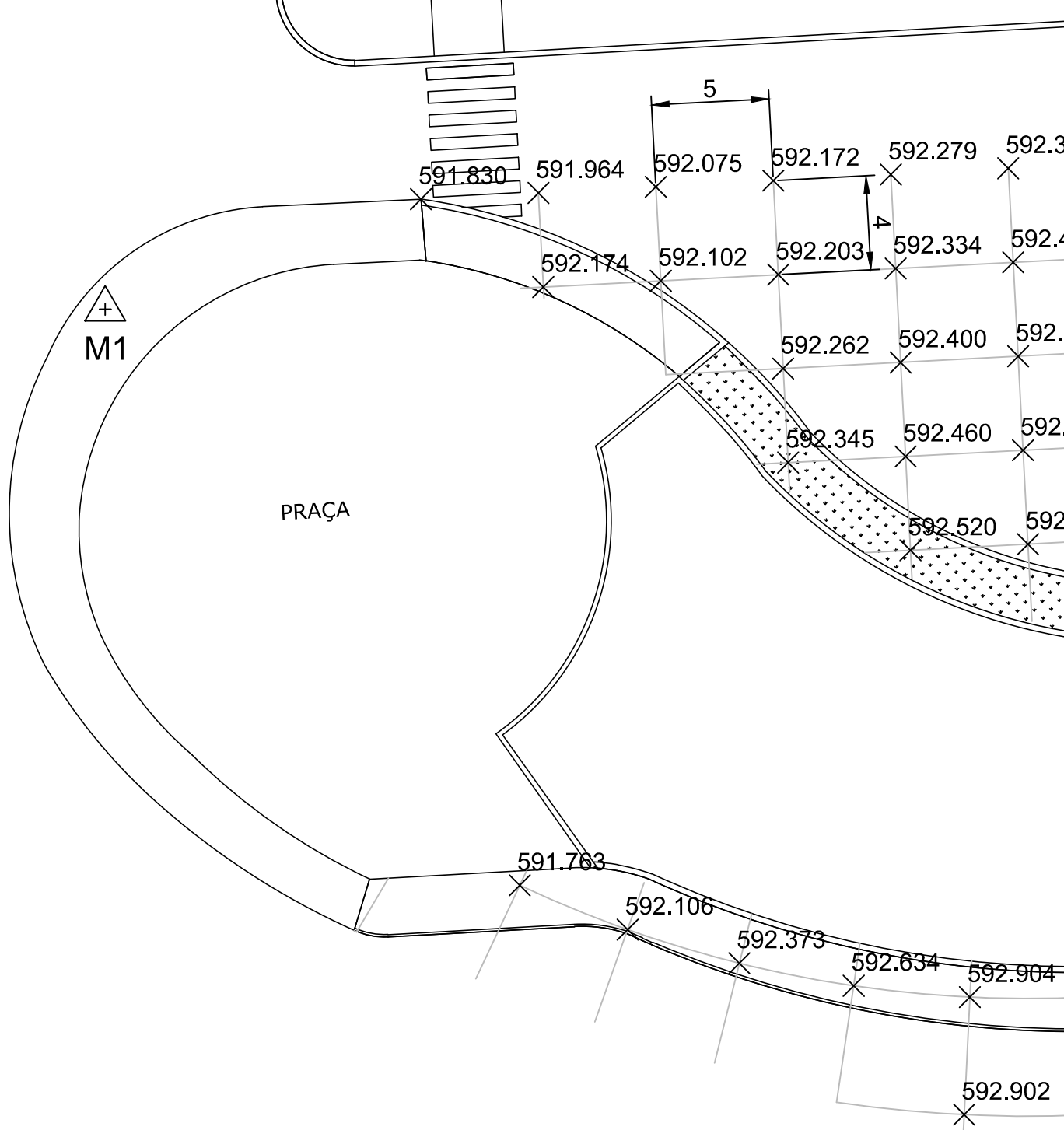
Esse apêndice contém as plantas baixas referentes ao projeto geométrico parte 2.



01 PROJETO GEOMÉTRICO HORIZONTAL PARTE 2
ESCALA: 1/250

8.4 Apêndice 4 – Plano Cotado e Caimentos do Terreno

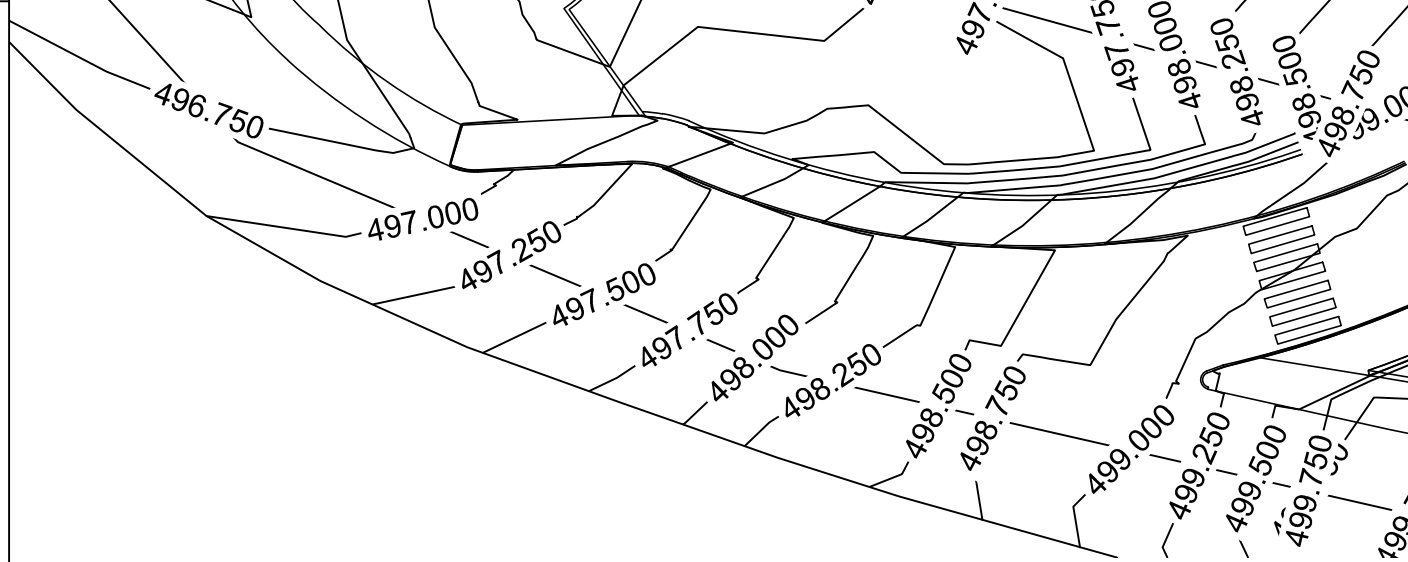
Esse apêndice contém as plantas baixas referentes ao plano cotado e dos caimentos do terreno representados por curvas de nível e gradientes.



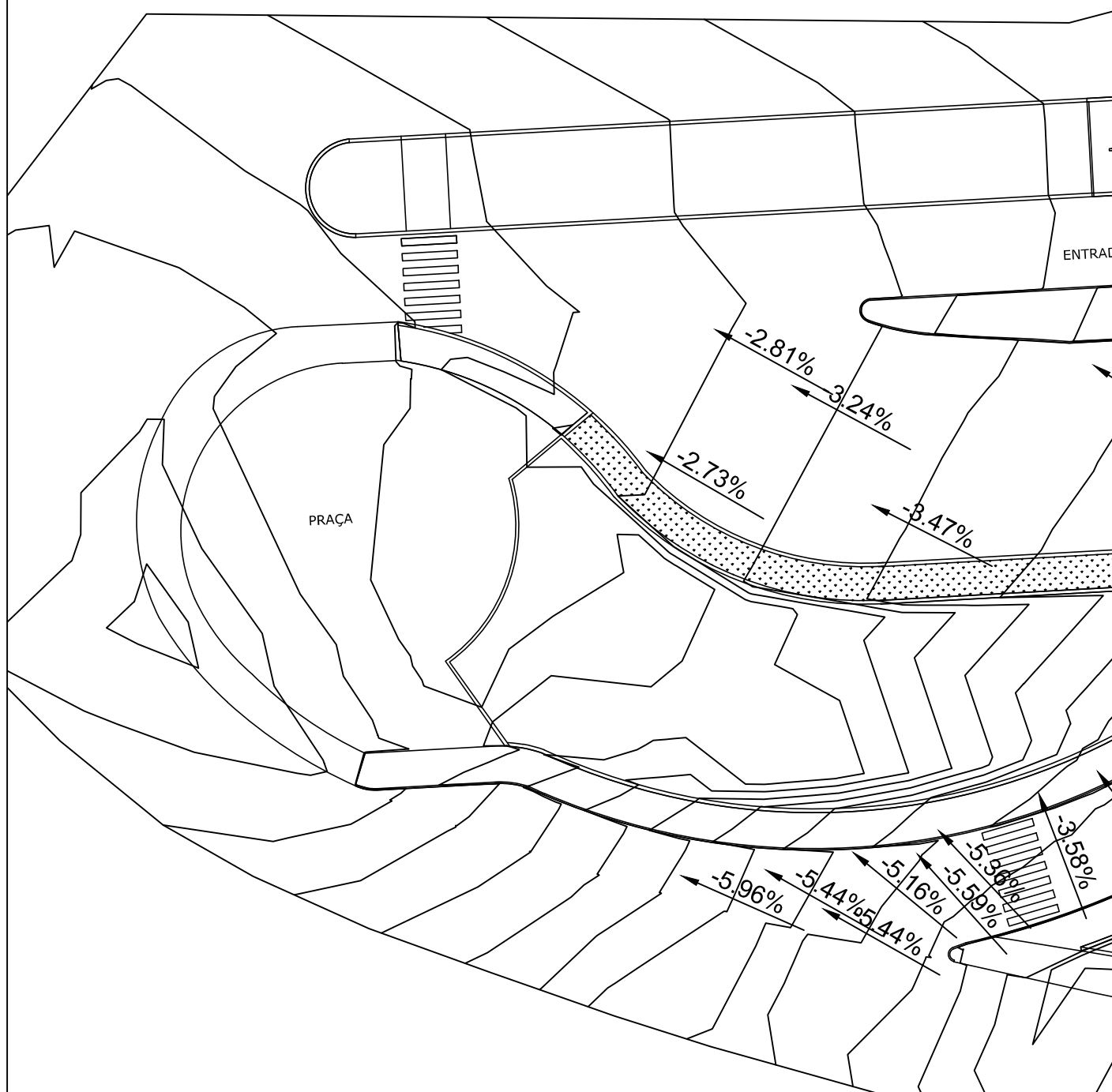
01 PLANO COTADO
 ESCALA: 1/250

MARCOS		
DEFINIÇÃO	E	N
M1	409.747,1330	7.433.474,615
M2	409.831,2454	7.433.439,938
M3	409.808,5753	7.433.402.255

02 CURVAS DE NÍVEL
ESCALA: 1/400



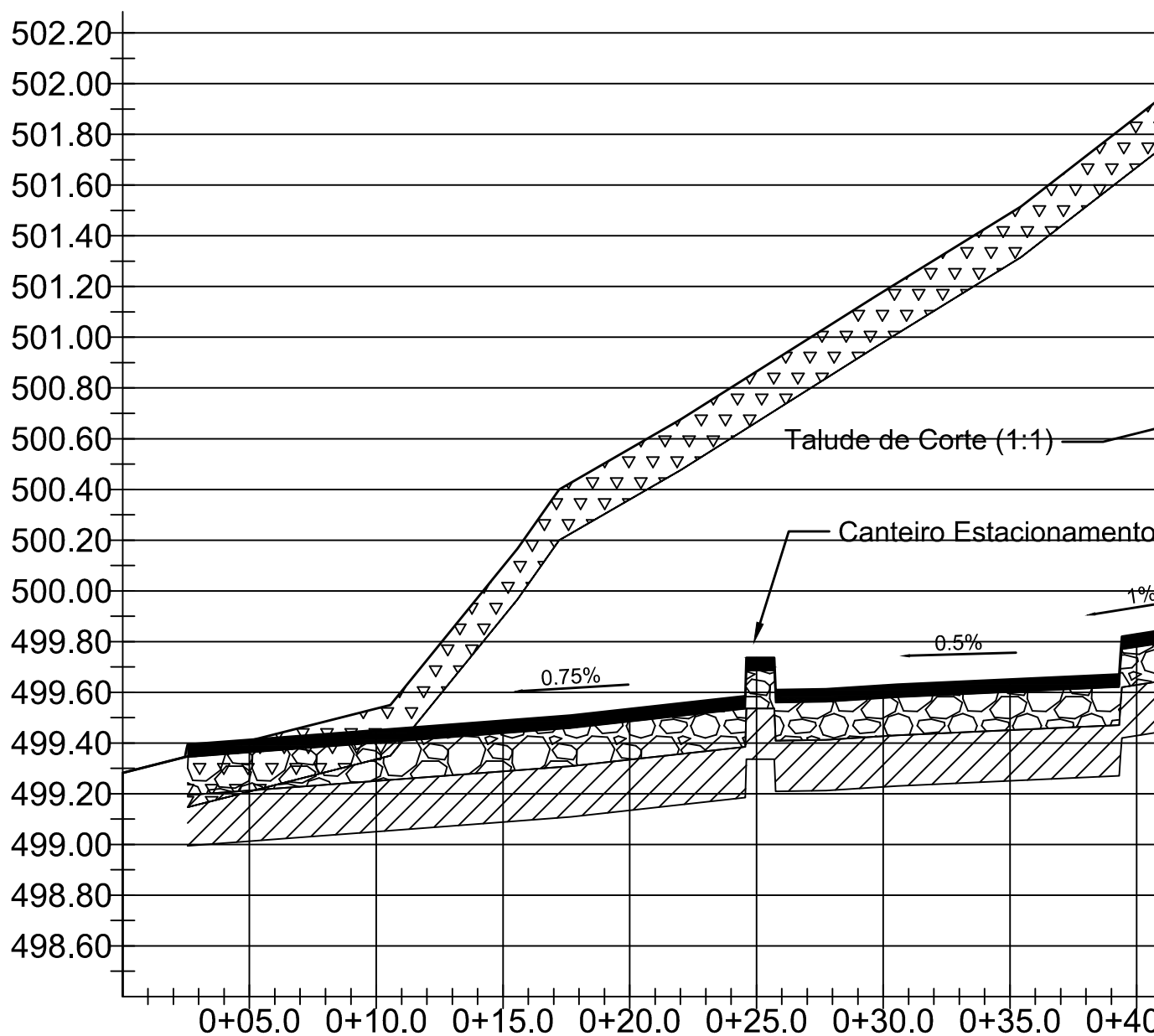
03 INCLINAÇÕES DO TERRENO
ESCALA: 1/400



8.5 Apêndice 5 – Perfis do Terreno

Esse apêndice contém os perfis do terreno para melhor representação do greide acabado, dos caimentos, da disposição das várias superfícies envolvidas no projeto e das zonas de corte e aterro.

01 LOCAÇÃO DOS PERFIS E SEÇÕES EM PLANTA BAIXA
ESCALA: 1/400



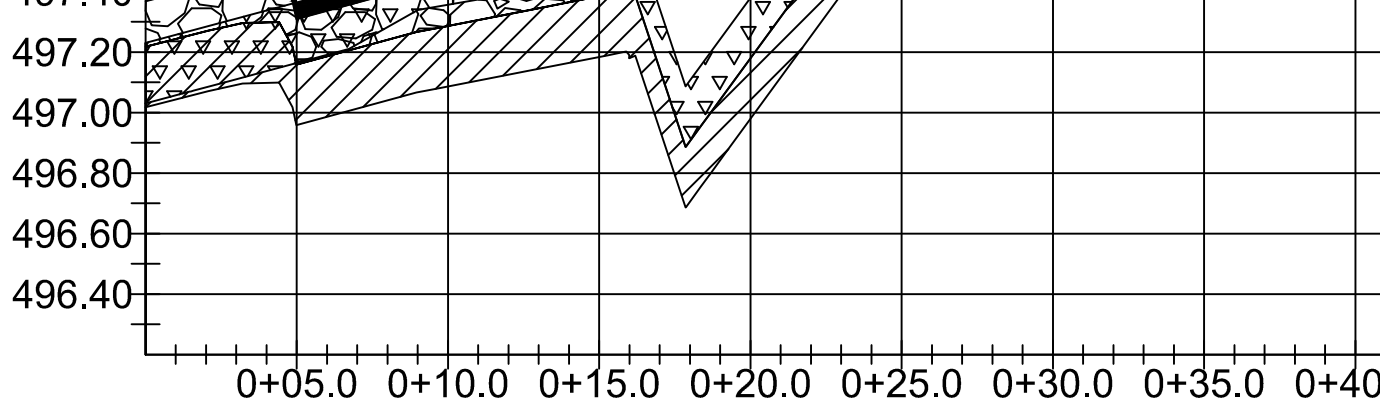
01 SEÇÃO A-A
ESCALA: 1/250

Notas:

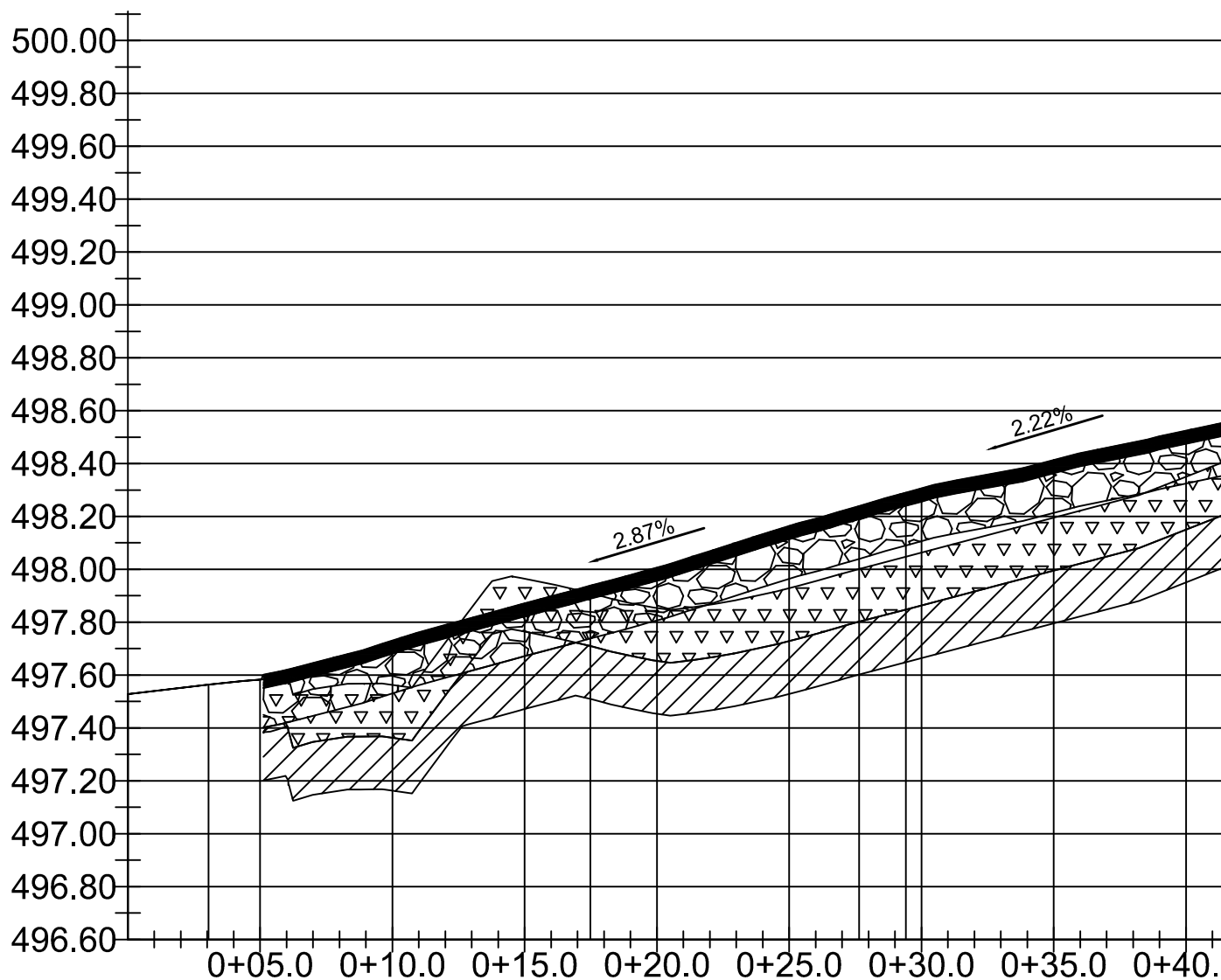
- 1) A escala descrita bate com a escala horizontal, a vertical esta exagerada em dez vezes para melhor representação.

Legenda:

-  Camada Vegetal ou Demolição
-  CBUQ ou Concreto
-  BGS
-  Zona de Escarificação



④ SEÇÃO D-D
ESCALA: 1/250



⑤ SEÇÃO E-E
ESCALA: 1/250

Notas:

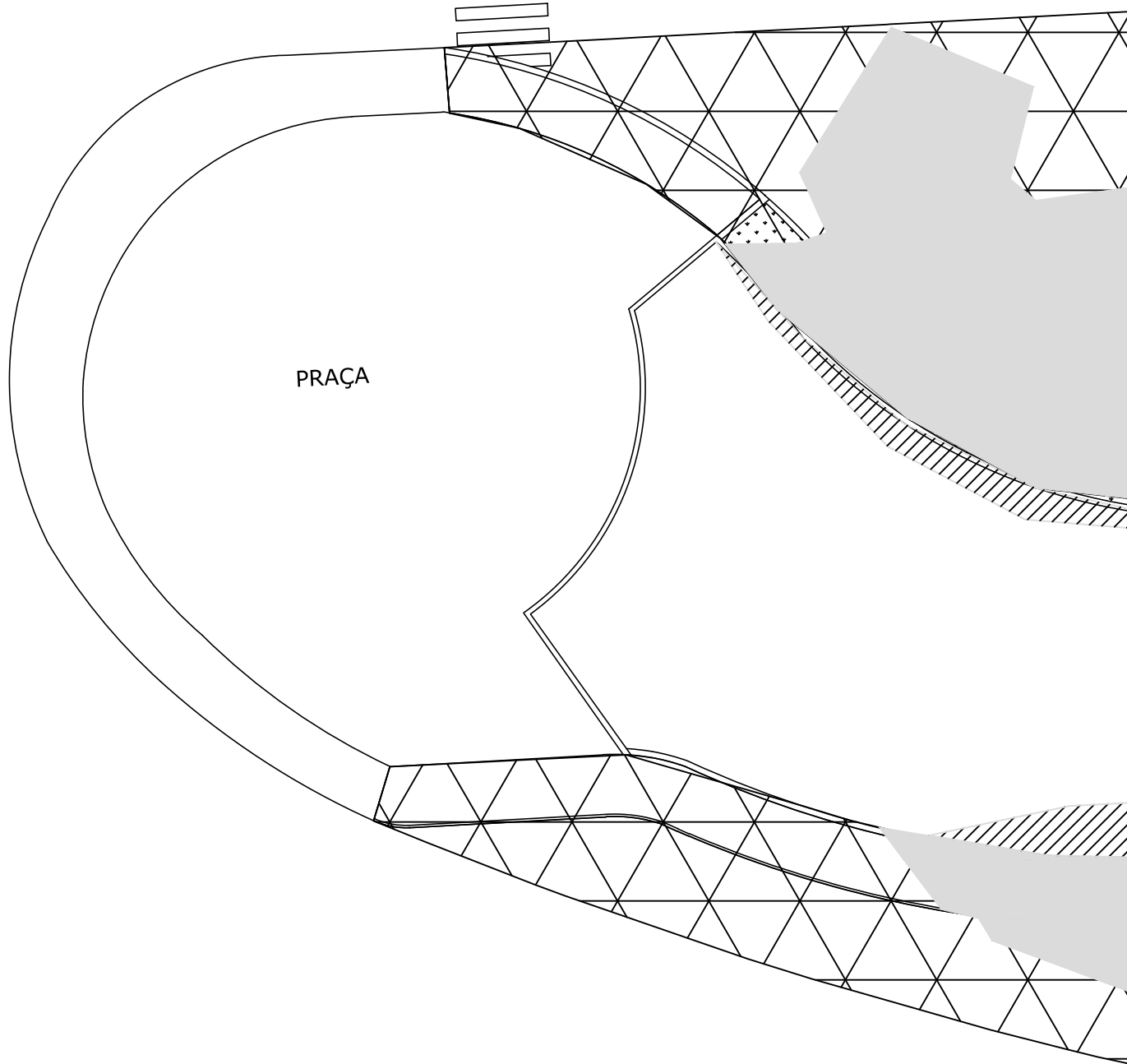
- 1) A escala descrita bate com a escala horizontal, a vertical esta exagerada em dez vezes para melhor representação.

Legenda:

- Camada Vegetal ou Demolição
- CBUQ ou Concreto
- BGS
- Zona de Escarificação

8.6 Apêndice 6 – Áreas de Corte/Aterro

Esse apêndice é destinado a delimitar as zonas de corte e de aterro envolvidas no projeto.

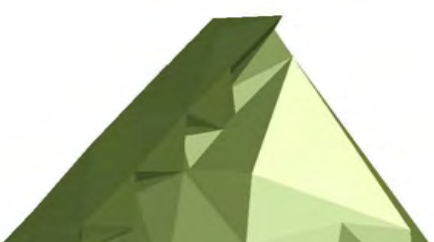


01 ÁREAS DE CORTE / ATERRO

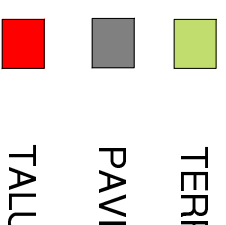
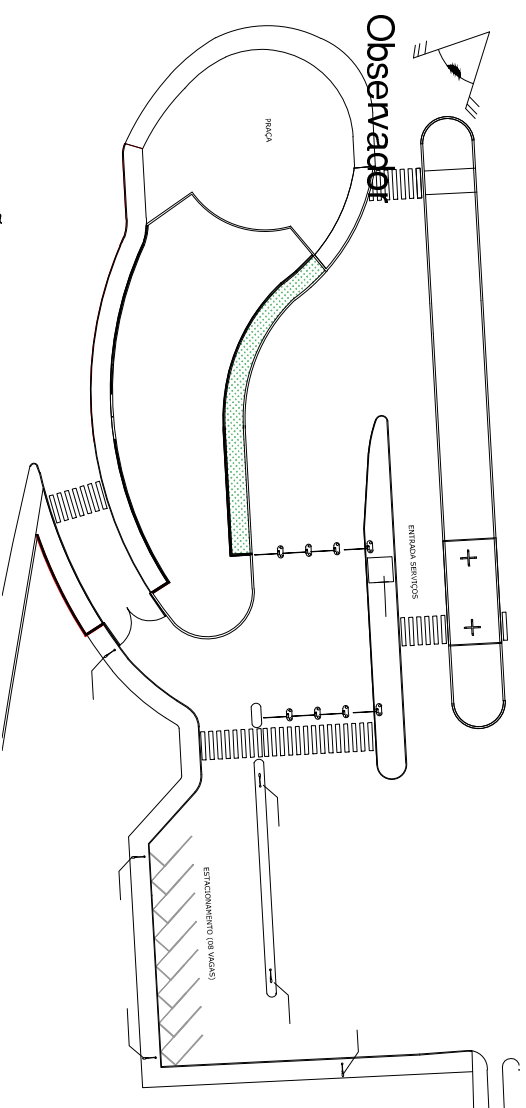
ESCALA: 1/250

8.7 Apêndice 7 – Modelo 3D

Esse apêndice destina-se a fazer a representação espacial do terreno para melhor visualização da configuração final do projeto.

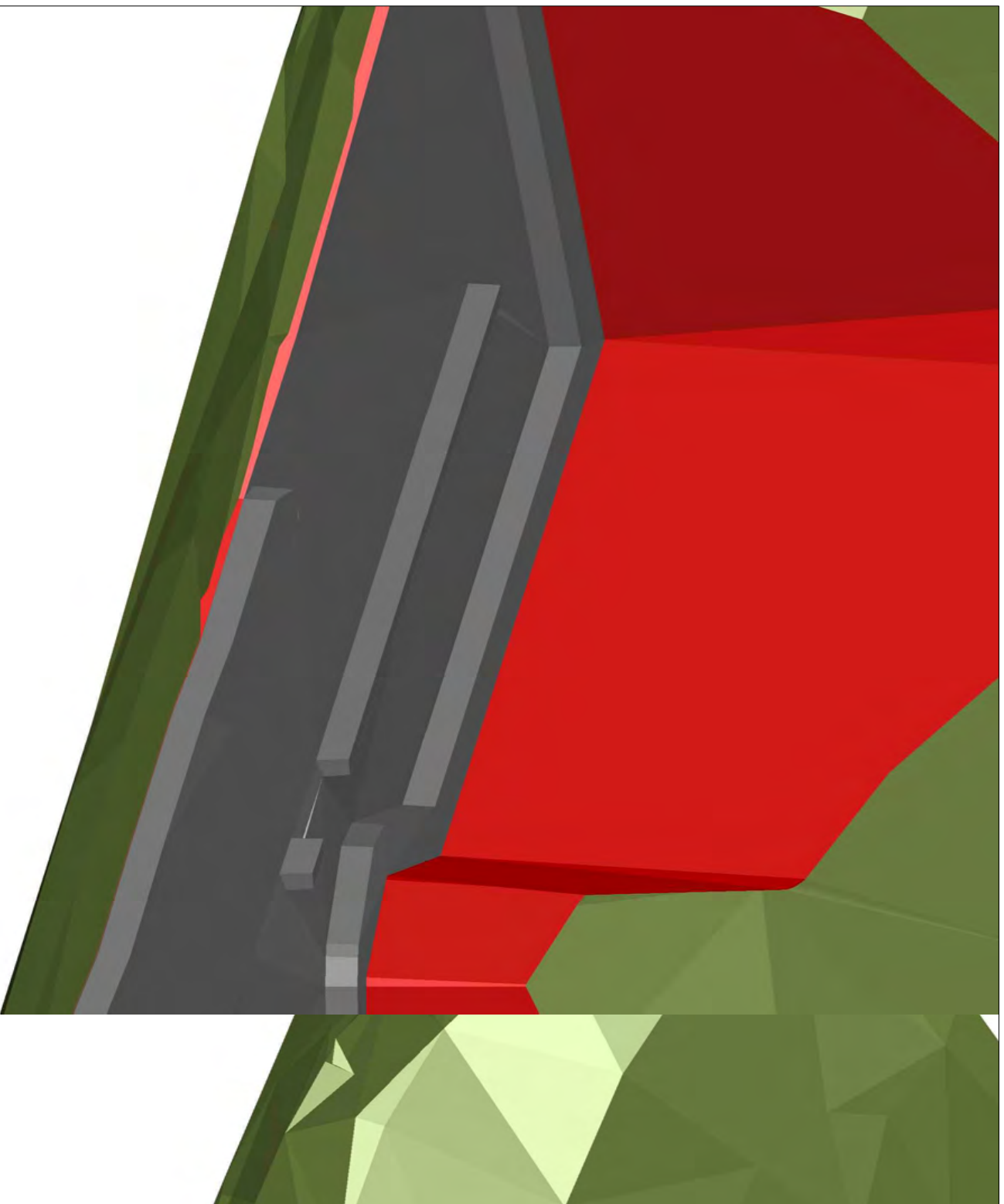


01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 10X

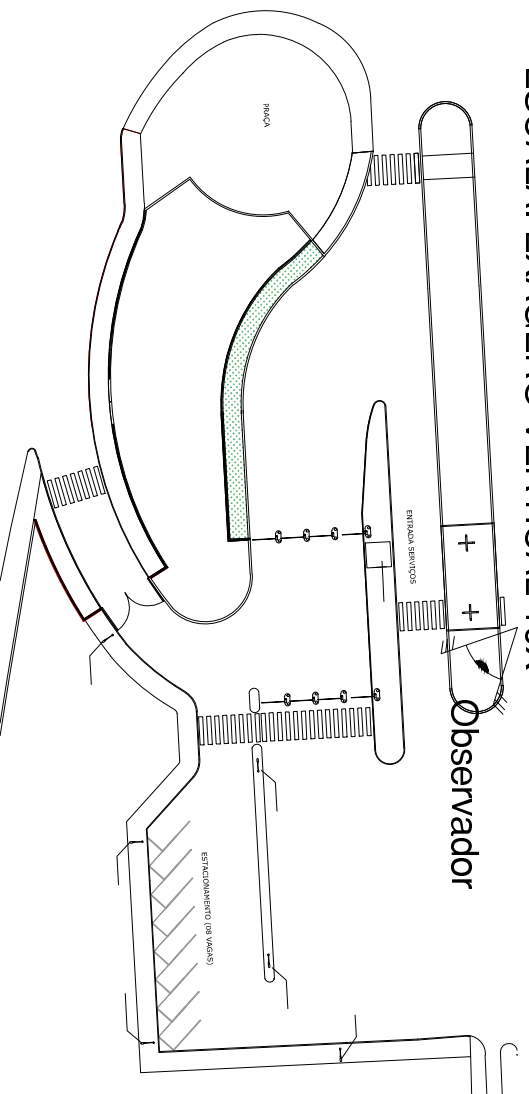


02 CONFIGURAÇÃO
ESCALA: -

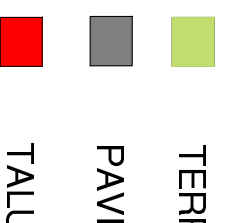
03 LOCAÇÃO DA VISTA
ESCALA: -



01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 10X



02 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: -

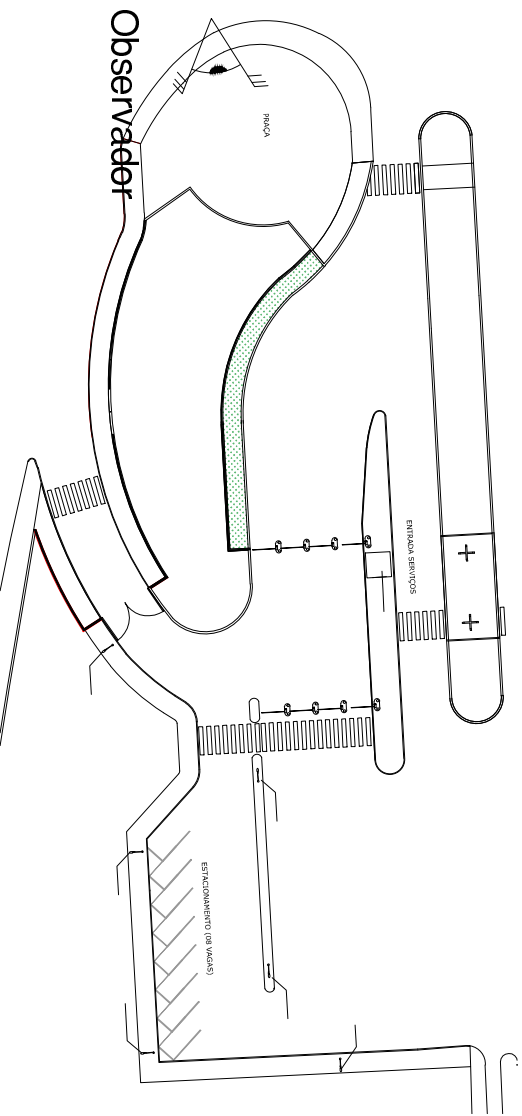


03 LOCAÇÃO DA VISTA
ESCALA: -



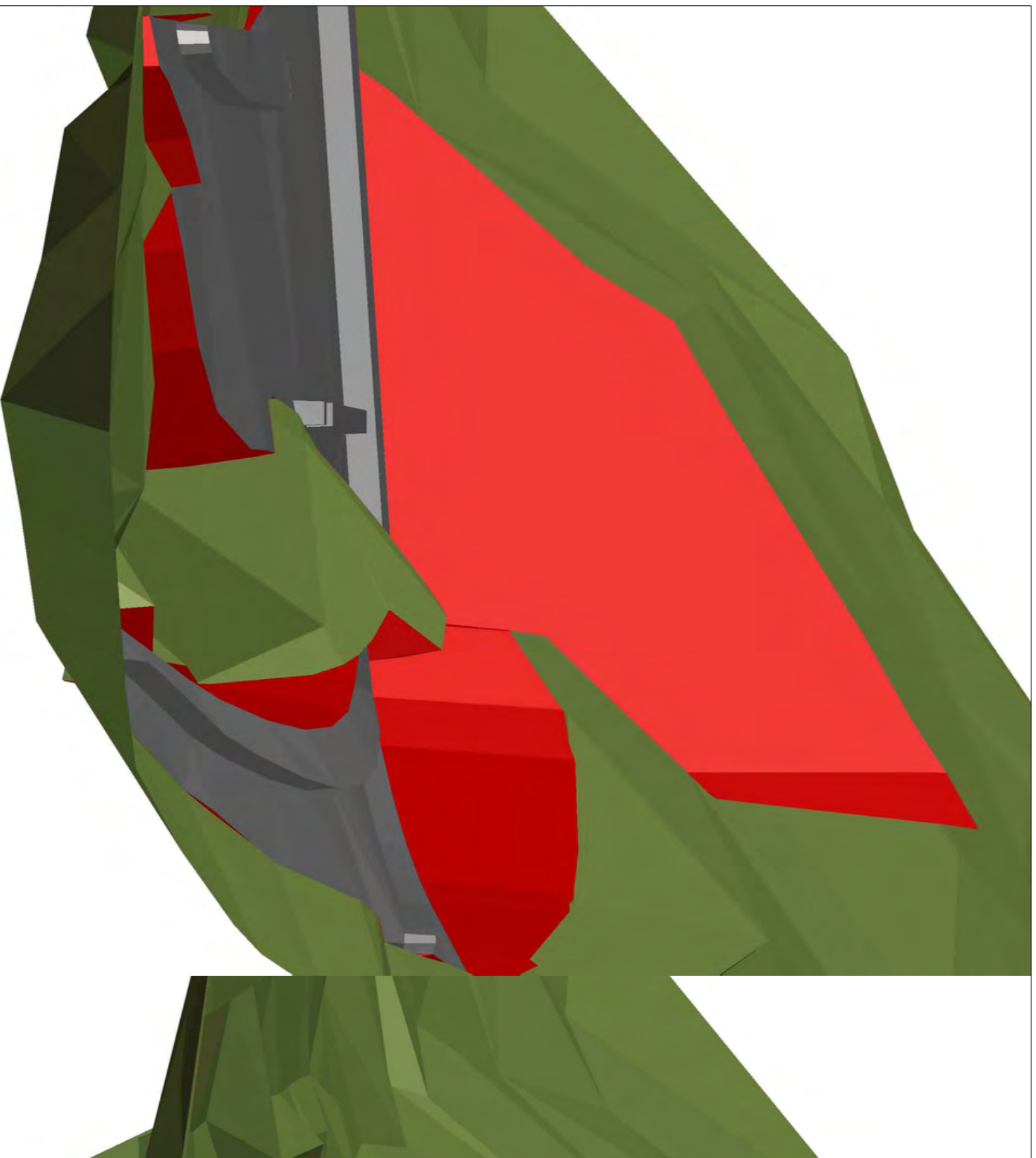
01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 10X

02 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: -

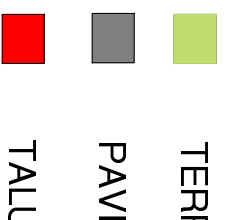
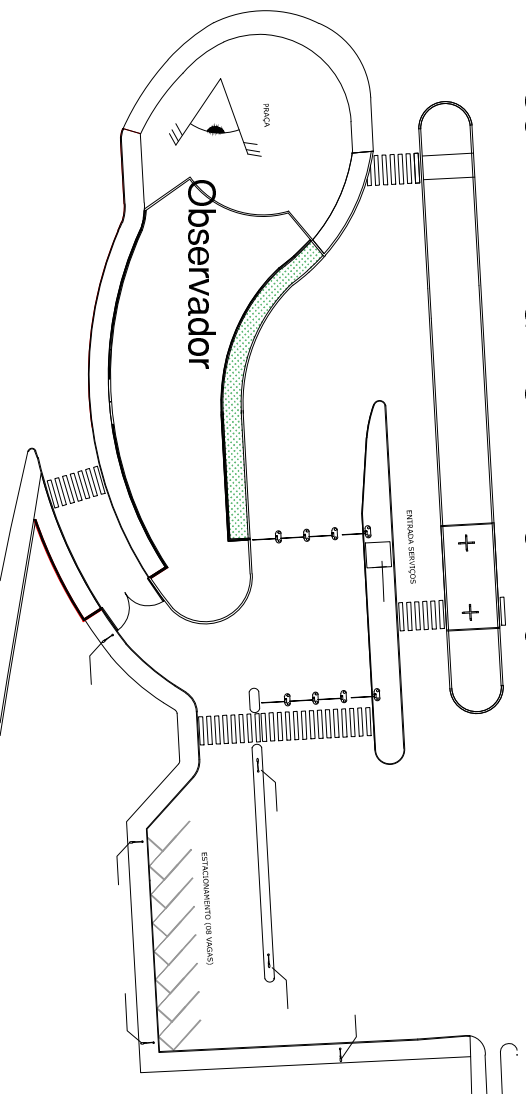


- TERREIRO
- PAVIMENTO
- TALLADO





01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 10X

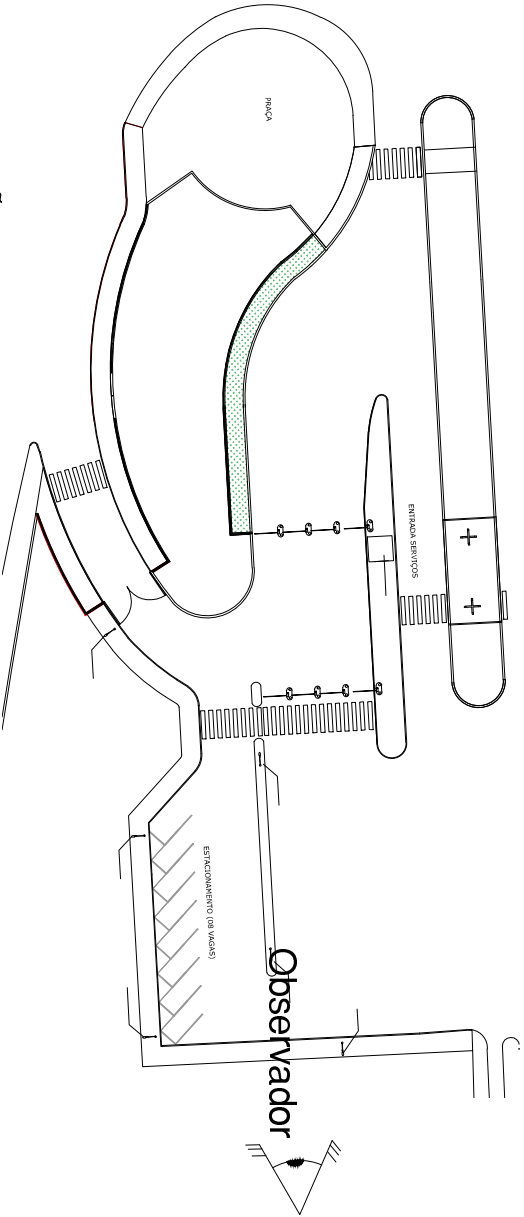


02 CONFIGURAÇÃO
ESCALA: -

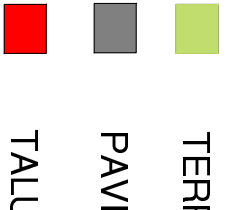
03 LOCAÇÃO DA VISTA
ESCALA: -



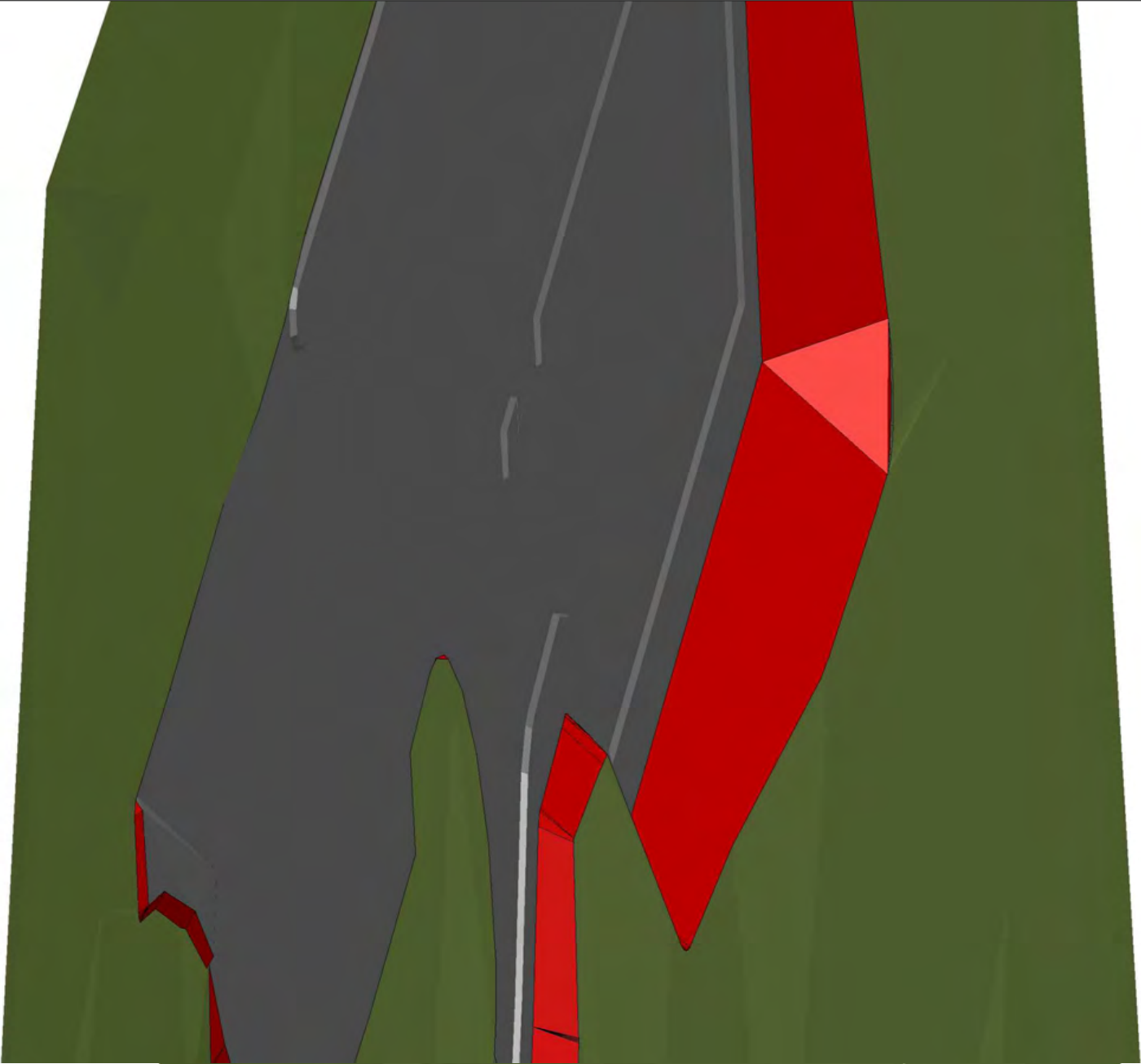
01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 10X



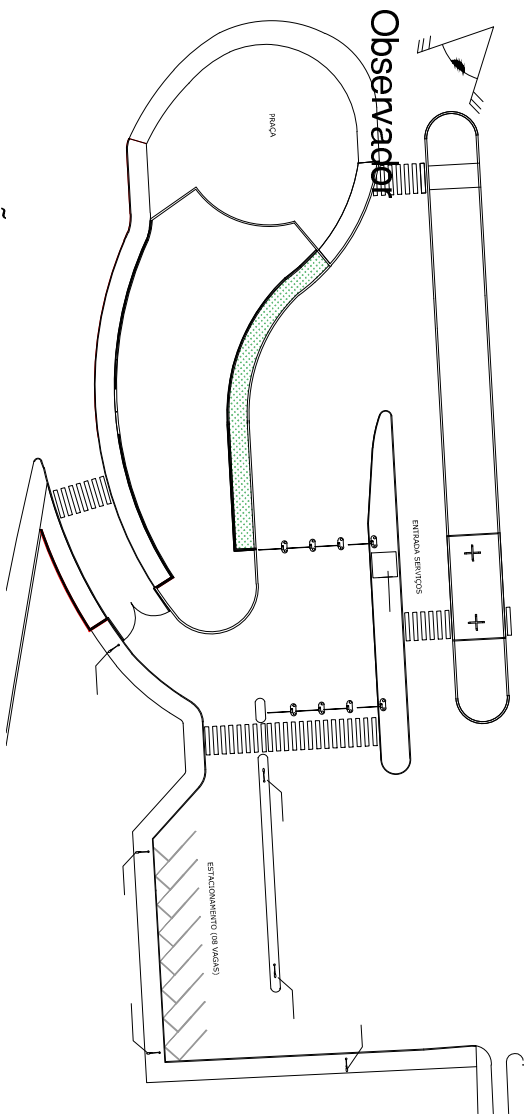
02 CONFIGURAÇÃO
ESCALA: -



03 LOCAÇÃO DA VISTA
ESCALA: -



01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 1X



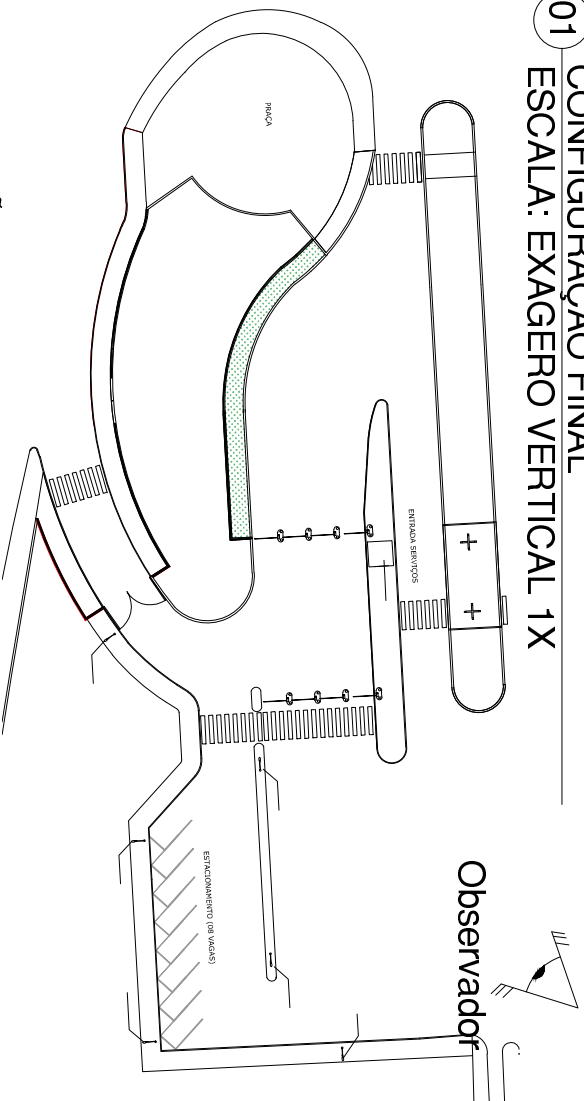
03 LOCAÇÃO DA VISTA
ESCALA: -

- TERREIRO
- PAVIMENTO
- TALLA

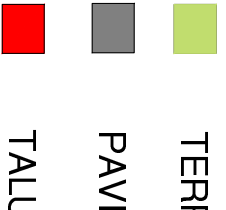
02 CONFIGURAÇÃO
ESCALA: -



01 CONFIGURAÇÃO FINAL
ESCALA: EXAGERO VERTICAL 1X



02 CONFIGURAÇÃO
ESCALA: -



03 LOCAÇÃO DA VISTA
ESCALA: -

8.8 Apêndice 8 – Planilha Orçamentária

Esse apêndice contém a planilha orçamentária referente aos serviços de terraplanagem e pavimentação.



ESTIMATIVA DE CUSTO

COMISSÃO DE OBRAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AEROESPACIAL

DIVISÃO TÉCNICA – DT

OBJETO: ADEQUAÇÃO DA PORTARIA PRINCIPAL DO DCTA

ITEM	FONTE	CÓDIGO	DISCRIMINAÇÃO DO SERVIÇO	UN	QUANT	Material		Mão-De-Obra	
						Custo (R\$)		Custo (R\$)	
						Unit.	Total	Unit.	Total
TERRAPLENAGEM									
Limpeza e Preparo da Área									
02.04.100	SINAPI	73672	Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com remoção de camada vegetal, utilizando trator de esteiras	m²	2,823.56	0.32	903.54	0.02	56.47
Destocamento de árvores									
02.04.102	SIURB	043310	Remoção de árvores, corte, recorte, inclusive raízes	un	40.00	43.63	1,745.20	88.29	3,531.61
Cortes									
02.04.200.01	SINAPI	72917	Escavação mecanizada de vala em material de 1ª categoria de 2,0m até 4,0m com utilização de escavadeira hidráulica (valas)	m³	939.43	9.06	8,511.24	2.91	2,733.33
02.04.200.02	SINAPI	72918	Escavação mecanizada de vala em material de 1ª categoria de 4,01 até 6,0m com utilização de escavadeira hidráulica (jazida)	m³	528.68	9.06	4,789.84	2.91	1,538.44
Aterro Compactado									
02.04.300.01	SINAPI	93382	Reaterro manual com apiloamento mecânico, em camadas até 20cm	m³	753.59	15.82	11,921.79	11.45	8,628.66
Transporte, Lçamento e Espalhamento de Material Escavado									
02.04.400	CPOS	05.10.020	Transporte de solo 1ª e 2ª categoria por caminhão até 3km	m³	2,432.76	0.00	0.00	4.39	10,679.33
02.04.400.02	SINAPI	83344	Espalhamento de material de 1ª categoria em Bola-Fora	m³	2,432.76	0.50	1,216.38	0.44	1,070.44
PAVIMENTAÇÃO									
Preparo da caixa									
04.05.101	SINAPI	74205	Escavação mecanizada de subleito (campo aberto)	m³	939.43	1.33	1,249.44	0.12	112.77
Preparo ou regularização do subleito									
04.05.102.01	SINAPI	79472	Regularização de superfície em terra	m³	2,643.50	0.47	1,242.45	0.00	0.00
04.05.102.02	CPOS	54.01.030	Abertura e preparo de caixa até 40 cm, compactação do subleito mínimo de 95% do PN e transporte até o raio de 1,0 km	m³	528.68	14.52	7,676.43	0.20	105.74
Guia									
04.05.103	CPOS	54.06.040	Execução de guia pré-moldada reta - fck 25 Mpa	m	357.00	28.48	10,167.36	7.69	2,745.33
Sarjetas									
04.05.104	CPOS	54.06.160	Execução de sarjeta em concreto	m³	17.85	379.80	6,779.43	56.50	1,008.55
Sub-bases e bases									
04.05.300	CPOS	54.01.210	Base de brita graduada	m³	396.62	126.50	50,159.78	12.78	5,067.57
Imprimações									
04.05.400	SINAPI	96401	Imprimação de base de pavimentação com emulsão CIM-30	m²	2,643.50	4.12	10,891.22	0.03	79.31
04.05.400.02	SINAPI	72943	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	m²	5,438.92	1.10	5,982.81	0.19	1,033.33
Camada de rolamento									
04.05.601	CPOS	54.03.210	Camada de rolamento em concreto asfáltico usinado a quente (esp. 5cm)	m³	139.77	762.63	106,592.80	10.65	1,488.55
04.05.601.02	CPOS	03.07.050	Fresagem de pavimento antigo até 5 cm (inclusive remoção de material)	m²	151.92	4.91	745.93	0.89	135.21
04.05.601.03	CPOS	11.20.050	Execução de corte de pavimento com serra de disco para pisos	m	40.00	0.00	0.00	10.73	429.20

9 Anexos

9.1 Anexo 1 - BIM BR Roadmap

BIM BR Roadmap

Resultados

Aumentar a produtividade das empresas em 10%

Reduzir custos em 9,7%

Aumentar em 10x a adoção do BIM (% do PIB da construção civil)

2018

2021

2024

Governança

Estabelecer instância de gestão

Gerenciar as atividades da Estratégia BIM BR / Analisar e publicar resultados

Infraestrutura Tecnológica e Inovação

Aprimorar a infraestrutura da rede de comunicação de dados em regiões estratégicas e soluções de TIC frente às necessidades do uso BIM / Incentivar a interoperabilidade por meio de padrões neutros

Arcabouço Legal

Estabelecer os requisitos BIM para compras governamentais

Aprimorar o marco legal e infralegal referente às compras públicas para o uso extensivo do BIM

Regulamentação Técnica

Estabelecer documentos e referências técnicas para edificações e infraestrutura

Atualizar guias para edificações e desenvolver guias para infraestrutura e para operação e manutenção de ativos / Aprimorar o arcabouço normativo técnico para incentivar a colaboração e a integração nos processos BIM

Investimentos

Promover ambiente de negócio favorável à atração de investimentos em BIM

Capacitação

Estabelecer objetivos de aprendizagem / Elaborar disciplinas modelo

Capacitar os educadores e profissionais do setor público / Desenvolver programas de certificação / Implantar programa de capacitação dos profissionais compreendendo todas as disciplinas

Indução pelo Governo Federal

Estruturar o Governo para adoção do BIM nos Programas Piloto

Adotar BIM em projetos dos Programas Piloto

Adotar o BIM em projetos e obras e incluir novos programas

Comunicação

Difundir o conceito BIM e seus benefícios / Divulgar a Estratégia BIM BR e seus resultados / Promover a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 19 de novembro de 2018	3. REGISTRO Nº DCTA/ITA/TC-068/2018	4. Nº DE PÁGINAS 104
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Projeto de infraestrutura para modernização do acesso ao campus do DCTA – uma proposta de modelagem em BIM.			
6. AUTOR(ES): Guilherme Basso Pelusi			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Terraplenagem. 2. Pavimentação. 3. BIM 4. Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Terraplenagem; Pavimentação; Projeto auxiliado por computador; CTA (São José dos Campos); Engenharia civil.			
10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional () Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadores: Prof. Eng. Ronaldo Gonçalves de Carvalho; Eng. Steven Meier. Publicado em 2018.			
11. RESUMO: A portaria principal do campus do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) passa por problemas de fluxo, operacionalidade e segurança. O layout atual é um projeto antigo, possui falhas e já não é capaz de atender as necessidades da organização. Esse trabalho de graduação (TG) consiste na elaboração do projeto básico de infraestrutura referente à reestruturação do sistema viário do portão principal. O projeto foi idealizado pelo Cel. Av. Steven, presidente da Comissão de Obras do DCTA, cujo corpo técnico está diretamente envolvido na elaboração do projeto, como um todo. São contempladas, particularmente, as áreas de terraplanagem e pavimentação. Outras disciplinas estão sendo desenvolvidas em paralelo, por outros membros da equipe de projeto, as quais certamente configuram condições de contorno, como é o caso da arquitetura. No desenvolvimento das disciplinas afetas ao TG, foi utilizado o software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 para modelagem BIM (Building Information Modelling) do projeto. A modelagem não foi somente um desenho tridimensional, mas contemplou objetos parametrizados que agregaram informações sobre materiais e processos construtivos, permitindo dessa forma a automação dos processos de quantificação, orçamentação e composição das plantas e vistas que resultaram do projeto. O uso dessa metodologia contribuiu para que o projeto tivesse um alto nível de detalhe e confiabilidade dos dados, mas ao passo que demandou um trabalho muito maior do que ao usar um processo tradicional. Além do uso da ferramenta, também foi descrita a experiência com o software, se preocupando com a aplicação desse tipo de modelagem no âmbito do Sistema de Engenharia do Comando da Aeronáutica.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			