

EMERSON CORDEIRO LOPES

**USO DA TECNOLOGIA LASER SCANNER NA GERAÇÃO DE MDT E DE
RECURSOS COMPUTACIONAIS EM PROJETO GEOMÉTRICO DE
ESTRADAS**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

L864u
2016

Lopes, Emerson, 19-

Uso da tecnologia laser scanner na geração de mdt e de
recursos computacionais em projeto geométrico de estradas /
Emerson Lopes. – Viçosa, MG, 2016.

xi, 73f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Taciano Oliveira da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Estradas - Projeto auxiliado por computador. 2. Sistemas
de varredura. 3. Programas de computador. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa
de Pós-graduação em Engenharia Civil. II. Título.

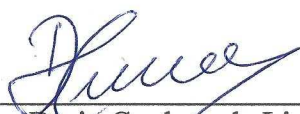
CDD 22. ed. 625.725

EMERSON CORDEIRO LOPES

**USO DA TECNOLOGIA LASER SCANNER NA GERAÇÃO DE MDT E DE
RECURSOS COMPUTACIONAIS EM PROJETO GEOMÉTRICO DE
ESTRADAS**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2016



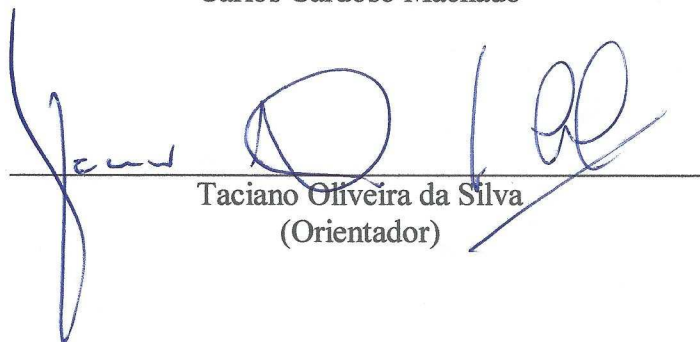
Dario Cardoso de Lima
(Coorientador)



Antônio Santana Ferraz
(Coorientador)



Carlos Cardoso Machado



Taciano Oliveira da Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder-me o dom da vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Civil (DEC) pela excelência no ensino e estrutura para o desenvolvimento desta pesquisa, e pela dedicação dos professores.

Ao Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa pelos equipamentos e estrutura concedida para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos Professores Taciano Oliveira da Silva e Carlos Alexandre Braz de Carvalho, pelo desenvolvimento científico, orientação, amizade e carinho durante todo esse tempo.

Aos Professores Dario Cardoso de Lima e Antônio Santana Ferraz pela Coorientação, e ao professor Afonso de Paula dos Santos pelas sugestões e críticas valiosas durante a realização deste trabalho.

À CAPES pelo apoio à pesquisa.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Civil: Professor Paulo Borges, Natalia, Reynner, Bernardo, Weiner, Eduardo, Laura e Klinger pelo companheirismo e pelos trabalhos realizados em equipe.

Aos amigos Pedro e Giovanne que me instruíram e me ajudaram na realização deste trabalho.

Aos meus pais, Hélio Leal Lopes e Maria Aparecida Cordeiro Lopes, pelo amor, apoio e incentivo que foi fundamental para minha formação.

A minha namorada Vanessa da Silva Duarte que conhece na minha jornada, e tornou-se parte dos meus sonhos e realizações, graças a seu amor e carinho, que se revelam todos os dias em seu sorriso.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

Emerson Cordeiro Lopes, filho de Hélio Leal Lopes e Maria Aparecida Cordeiro Lopes, nasceu em 13 de julho de 1987, em Viçosa, Minas Gerais.

Em 2002, concluiu o Ensino Fundamental no Colégio Estadual Pedro Lessa, em São Miguel do Anta, Minas Gerais. Em 2005, concluiu o 2º grau e, concomitantemente, em 2009, iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em Março de 2014.

Também em Março de 2014, iniciou o mestrado em Engenharia Civil, na Universidade Federal de Viçosa, concentrando os estudos na área de Geotecnia, subárea Infraestrutura de Transportes, submetendo-se à defesa de dissertação em 19 de fevereiro de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	4
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MODELAGEM DIGITAL DE ELEVAÇÃO ATRAVÉS DE LASER SCANNING TERRESTRE COM ÊNFASE EM PROJETOS GEOMÉTRICOS DE VIAS	6
2.1 Introdução	7
2.2 Sistema Laser Scanner Terrestre	9
2.3 Materiais e métodos.....	11
2.3.1 Área de estudo	11
2.3.2 Equipamentos utilizados	11
2.3.3 Levantamento de campo	11
2.3.4 Software	12
2.3.5 Coordenadas das posições do LST e processamento das nuvens de pontos 12	
2.3.6 Registro e ajuste das posições dos scans	13
2.3.7 Filtragem com extração dos pontos representativos ao terreno	14
2.3.8 Desenvolvimento das curvas de nível no software RiSCAN PRO	15
2.3.9 Tratamento dos dados e desenvolvimento das curvas de nível no software ArcGIS.....	16

2.4	Resultados e discussão.....	17
2.5	Conclusões	21
	Referências bibliográficas	22
ESTUDO COMPARATIVO DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS GEOMÉTRICOS DE VIAS.....		24
3.1	Introdução	25
3.2	Projeto assistido por computador	26
3.3	Materiais e Métodos	27
3.3.1	Materiais	28
3.3.2	Métodos.....	28
3.3.3	Etapas de elaboração do projeto geométrico.....	30
3.4	Resultados e Discussão	31
3.5	Conclusões	36
	Referências bibliográficas	36
PROJETO GEOMÉTRICO DE UMA VIA ALTERNATIVA PARA ACESSO AO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA.....		38
4.1	Introdução	40
4.2	Projeto geométrico	41
4.2.1	Reconhecimento	41
4.2.2	Exploração	41
4.2.3	Projeto.....	42
4.3	Terraplenagem.....	45
4.4	Materiais e métodos.....	46
4.4.1	Área de estudos	46
4.4.2	Veículo de Projeto	46
4.4.3	Parâmetros técnicos adotados.....	47
4.4.4	Seção Tipo.....	51

4.4.5	Estrutura do Pavimento.....	52
4.4.6	Processamento	53
4.5	Resultados e discussão.....	53
4.6	Conclusões	58
	Referências bibliográficas	59
	CONCLUSÕES GERAIS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento do laser scanner terrestre.....	9
Figura 2 - Laser Scanner Terrestre.	10
Figura 3 - Localização aproximada dos pontos do levantamento LTS.....	12
Figura 4 - Rotação das nuvens de pontos 1 e 2	13
Figura 5 - Polidata contendo vetores gerados pelo equipamento LST	14
Figura 6 - Seleção da área de exploração para implantação da via proposta.	14
Figura 7 - (a) a aplicação do filtro de vegetação, (b) a execução do filtro de objetos, respectivamente	15
Figura 8 - Rotina e configurações utilizadas para a criação das curvas de nível no software RiSCAN PRO.....	15
Figura 9- Ruídos nas curvas de nível (a) e (c) gerados no processamento do software RiSCAN PRO devido a falhas do algoritmo no filtro da vegetação (b) e (d).	19
Figura 10 - Diferenças entre os interpoladores Linear (a) e o Natural Neighbor (b) em uma mesma região	20
Figura 11 - Curvas de nível originais (vermelho) com deslocamento gerado pelo interpolador de mínimo (curvas de nível azul) figura (a), diferença entre o perfil original (vermelho) e o perfil gerados pelo interpolador de mínimo (azul) (b), com perspectivas em 3D.....	20
Figura 12 - Comparação entre as curvas de nível exportadas no software RiSCAN PRO (a) e (c) com as curvas produzidas após uso do interpolador de média no software ArGis (b) e (d).....	21
Figura 13 - Ilustração da área de estudo	28
Figura 14 - Componentes da seção transversal da via proposta.....	30
Figura 15 - Visualização da sobreposição da triangulação (a), Curvas de nível sobrepostas (b).....	32

Figura 16 - Visualização da sobreposição dos perfis longitudinais gerados pelos programas computacionais analisados, escala horizontal (1:1000) e escala vertical (1:200).....	33
Figura 17 - Comparação sobre distribuição da superelevação nas curvas horizontais C_1 e C_2	34
Figura 18 - Concordância horizontal.	44
Figura 19 - Projeto de uma estrada em perfil.	44
Figura 20 - Prismóide formado num tramo de rodovia.....	45
Figura 21 - Local de implantação da nova via de acesso a Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.	46
Fonte: Google Earth 2014 (Imagem referente à 19/09/2011).	46
Figura 22 – Distribuição da Superelevação em uma curva circular	48
Figura 23 - Componentes da seção transversal da via proposta.....	52
Figura 24 – Estrutura para o pavimento da via proposta.	52
Figura 25 - Ângulo de interseção entre a rodovia MG 280 e a via coletora projetada. ..	53
Figura 26 - Gráfico da distribuição da superelevação nas curvas 1 e 2 da Via Coletora gerado no software AutoCAD Civil 3D.....	55
Figura 27 - Locais onde foi extraído os pontos de controle para elaboração do projeto vertical.....	56
Figura 28 - Classificação do relevo onde irá passar a via coletora projetada	57
Figura 29 - Relatório gerado através da comparação do terreno natural e superfície final no software AutoCAD Civil 3D.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos das curvas de concordância horizontal.....	29
Tabela 2 - Elementos das curvas concordância vertical	29
Tabela 3 - Valores de superlargura encontrados nos programas computacionais analisados e os calculados de acordo com (DNER 1999).....	33
Tabela 4 - Valores de superelevação adotada nas curvas circulares.	35
Tabela 5 - Volumes estimados de corte e aterro para o projeto de terraplenagem da via proposta	35
Tabela 6 - Velocidade diretriz em função da classe do projeto da estrada e do relevo. .	43
Tabela 7 - Características básicas do projeto geométrico para a via coletora proposta..	47
Tabela 8 - Valores mínimos absolutos para os comprimentos de transição da superelevação.	48
Tabela 9 - Características básicas do projeto geométrico para a interseção em “T”.	49
Tabela 10 - Largura da faixa de giro para raios menores que 15 m	50
Tabela 11 :Largura das pistas de giro, em metro, para raios superiores a 15 m.....	51

RESUMO

LOPES, Emerson Cordeiro, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2016.
Uso da tecnologia laser scanner na geração de MDT e de recursos computacionais em projeto geométrico de estradas. Orientador: Taciano Oliveira da Silva.
Coorientadores: Dario Cardoso de Lima e Antônio Santana Ferraz.

O estudo inicial desta pesquisa teve como direcionamento propor e avaliar uma rotina de processamento de dados do equipamento Laser Scanning Terrestre (LST) para a geração de curvas de nível aplicadas a projetos geométricos de estradas. As curvas de nível geradas foram avaliadas mediante o conhecimento prévio do local estudado, realizando tratamento geostáticos específicos para melhoria dos ruídos gerados nos locais de vegetação densa. Por seguinte, foi realizado um estudo comparativo entre programas computacionais utilizados no desenvolvimento de projetos geométricos de vias visando o entendimento sobre as diferenças específicas em função das normas técnicas vigentes no Brasil. O que possibilitou o conhecimento específico de cada elemento geométrico analisado pelos programas computacionais utilizados, e quais os critérios utilizados por cada um para a determinação de alguns parâmetros geométricos. Por fim, foi elaborado um projeto geométrico para uma via de ligação entre a Rodovia MG-280 e a uma via local que margeia as lagoas, no campus da Universidade Federal de Viçosa, utilizando o programa computacional AutoCAD Civil 3D. A área escolhida apresenta características desafiadoras para a análise proposta, devido ao espaço físico disponível para o projeto geométrico ser reduzido e possuir declividades acentuadas. Além disso, foi possível apreciar os valores sugeridos em normas técnicas vigentes no Brasil, quando aplicados a uma situação específica de limitação de área e declividade acentuada, auxiliando no planejamento e tomada de decisão em projetos geométricos semelhantes.

ABSTRACT

LOPES, Emerson Cordeiro, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Using the laser scanner technology in MDT generation and the computing resources in geometric design of roads.** Adviser: Taciano Oliveira da Silva. Co-advisers: Dario Cardoso de Lima and Antônio Santana Ferraz.

The initial step of this study aimed to propose and evaluate a data processing routine of the equipment Terrestrial Laser Scanning (LST) for generating contour lines applied to geometric design of roads. The generated contour lines were evaluated by means of prior knowledge of the studied site, through specific geostatic treatment for improving the noise generated in densely vegetated sites. Next, a comparative study on computer programs used in developing geometric designs of routes aimed at understanding the specific differences depending on the technical standards in force in Brazil. This analysis provided the specific knowledge of each geometric element analyzed by computer programs used, and determined the criteria used by each to determine some geometrical parameters. Finally, we developed a geometric design for a route connecting the MG-280 highway to a local road that runs along the lakes, on the campus of the Federal University of Viçosa, using the computer program AutoCAD Civil 3D. The chosen area has challenging features for the analysis proposed, including the small physical area available for the geometric design and the steep slopes. In addition, it was possible to assess the values suggested in current technical standards in Brazil, when applied to a specific situation of limited area and sharp declivity, assisting in the planning and decision making in similar geometric designs.

1

INTRODUÇÃO GERAL

Com o avanço computacional nas últimas décadas, o conhecimento humano voltado para a tecnologia sofreu grandes impactos. Soluções que antes eram limitadas pela velocidade de processamento e dificuldades de execução de cálculos foram simplificadas e otimizadas com ferramentas computacionais (PRESSMAN, 1995).

Uma grande aplicação do avanço tecnológico computacional foi para atuações em engenharia, contribuindo para a ampliação e eficiência dos projetos. Para os projetos na área de transportes o impacto e mudança foram consideráveis. O planejamento operacional, a infraestrutura, o monitoramento das cargas, a logística entre outros passou a presenciar uma importante ferramenta de simulações, propondo um número maior de soluções para um mesmo problema, sendo os resultados obtidos monitorados e discutidos com uma maior eficiência (OLIVEIRA JUNIOR, 2007).

A elaboração de um projeto viário requer um considerável volume de informações técnicas, pois antes da elaboração definitiva do projeto geométrico da estrada são necessários estudos de: planejamento de transportes, engenharia de tráfego, reconhecimento da região por onde a estrada vai passar, exploração da faixa de inserção da rodovia, estudos ambientais, estudos geológicos, estudos hidrológicos, entre outros.

A geometria de cada elemento da estrada está associada à operação dos veículos, frenagem, velocidade de projeto, classe da estrada, relevo, distância de visibilidade, entre outros. Para tanto, existe uma sequência estruturada de rotinas que tem por objetivo definir os parâmetros geométricos, permitindo assim a elaboração do desenho técnico das vias. Essas rotinas são repetidas várias vezes, sendo de natureza empírica. Várias soluções para análise são geradas e dentre elas é escolhida a mais adequada (AASHTO, 2001; PIMENTA e OLIVEIRA, 2001; SENÇO, 2008; ANTAS, 2010).

Além disso, é fundamental estabelecer a concepção do projeto geométrico e do pavimento, a seleção das ocorrências de materiais a serem utilizados no pavimento, o dimensionamento e a definição dos trechos homogêneos, bem como o cálculo dos volumes e distâncias de transporte dos materiais empregados (DNER, 1999; SENÇO 2008).

Outro fator que deve ser levado em consideração nos projetos geométricos são as interseções, por serem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial, pois são os locais onde se concentram os conflitos mais graves. O projeto de interseções deve assegurar circulação ordenada dos veículos e o nível de serviço da via, garantindo a segurança nas áreas em que as suas correntes de tráfego sofrem a interferência de outras correntes, internas ou externas (NEUMAN, 1985).

Em ambiente urbano é fundamental garantir fisicamente as características geométricas da infraestrutura das vias e interseções, possibilitando reduzir a eventualidade de acidentes, aumentando a segurança do trânsito local (COSTA e FIGUEIREDO, 2001).

Devido à necessidade de uma maior precisão e qualidade dos projetos viários, esse trabalho de pesquisa, também, visa propor um projeto viário assistido por computador para o campus da Universidade Federal de Viçosa, projetando uma ligação com interseção entre duas vias já existentes, produzindo além de uma solução para o conflito do tráfego local, um material de consulta que garanta projetos mais apropriados para diferentes condições.

1.1 Justificativa

O fluxo desordenado de veículos gera interrupções e congestionamentos com alto risco de acidentes. Essa interrupção pode gerar pequenos atrasos até uma retenção considerável. Logo, o tipo de solução a se empregar nos projetos geométricos de vias e interseções é de extrema importância para garantir uma boa capacidade de fluxo do tráfego e segurança viária local.

O tipo de solução adotada para o dimensionamento viário encontra-se em constante questionamento pela carência de manuais e normas técnicas para as diversas modalidades

de projetos viários demandados. Além disso, existe uma grande quantidade de programas computacionais disponíveis que auxiliam na elaboração de projetos geométricos desde a fase de criação dos traçados verticais e horizontais até a modelagem final da superfície de trabalho com grande quantidade de informações, porém, com poucas análises críticas para aplicação dos mesmos em rodovias.

Na maioria das cidades o tráfego rodoviário é inserido no tráfego urbano, a exemplo da cidade de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Nesse trecho de transição do ambiente rural para o urbano, é preciso conciliar as demandas conflitantes desses dois tipos de tráfego. Uma atenção especial deve ser dada às interseções, onde se concentram os conflitos mais graves. Nesse caso, existe a necessidade de se estabelecer uma adaptação das características geométricas da infraestrutura de rodovia para via urbana, possibilitando a transição de forma ordenada do fluxo de tráfego entre as vias rurais e urbanas, reduzindo o número de acidentes e aumentando a segurança do trânsito local.

Além disso, a condição de projetos geométricos de vias urbanas poderia ter um melhor desenvolvimento se estes pudessem ser adaptados às características locais, contemplando aspectos próprios da cidade, como: composição do tráfego; tipos de veículos; características físicas; presença de pedestres e ciclistas; entre outros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho foi propor e avaliar uma rotina de processamento de dados coletados pelo Laser Scanning Terrestre (LST) para a construção e elaboração de um modelo digital de terreno MDT, e posterior geração de curvas de nível utilizadas no projeto geométrico de uma via alternativa no campus da Universidade Federal de Viçosa. Realizar um estudo comparativo do emprego dos programas computacionais TCP-MDT, AutoCAD Civil 3D e topoGRAPH na elaboração de projetos geométricos de estradas e projetar uma via alternativa no campus da Universidade Federal Viçosa, UFV, com emprego do programa computacional AutoCAD Civil 3D, Visando melhorar as condições de tráfego locais.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos, visando atendimento ao objetivo geral são os que seguem:

- avaliar a potencialidade de Laser Scanner Terrestre em projetos geométricos de estradas visando a obtenção de curvas de nível;
- avaliar a eficiência de softwares em condições de espaço físico limitado e declividades acentuadas comparando os resultados obtidos com as normas técnicas vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT);
- gerar traçados horizontal, vertical, seções transversais e o projeto de terraplanagem de um via alternativa projetada entre a rotatória da via alternativa da UFV que margeia as lagoas na altura do Alojamento Posinho e a MG 280 na altura do acesso ao Centro de Eventos da UFV.

1.3 Organização do trabalho

Apresenta-se neste item a estrutura geral deste trabalho de pesquisa, com uma síntese do que trata cada capítulo. O trabalho está dividido em cinco capítulos, incluindo o Capítulo 1 – Introdução Geral já apresentado.

No Capítulo 2 foi propor e avaliar uma rotina de processamento de dados oriundos do equipamento Laser Scanning Terrestre (LST) para a geração de curvas de nível aplicadas a projetos geométricos de estradas.

No capítulo 3 realizou-se a comparação entre os valores numéricos de alguns parâmetros geométricos oriundos do projeto geométrico de uma rodovia na província de Málaga, situada no Sul da Comunidade autônoma de Andaluzia, no Sul da Espanha, utilizando-se dos programas computacionais TCP-MDT, AutoCAD Civil 3D e topoGRAPH.

No capítulo 4 foi concebido o projeto geométrico de uma interseção “T” e uma ligação entre duas vias existentes, uma via localizada no campus da Universidade Federal Viçosa e a Rodovia MG 280 (Viçosa – Paula Cândido).

No capítulo 5 é apresentada a conclusão geral da pesquisa.

Referências bibliográficas

AASHTO. **Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. Washington D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials. 2001. 905 p.

ANTAS, P. M., ÁLVARO, V., GONÇALO, E. A., LOPES, L. A. S. **Estradas - Projeto Geométrico e de Terraplanagem**. Editora Interciência Ltda, Rio de Janeiro, 2010. 262p.

COSTA, P. S., FIGUEIREDO, W. C. **Estradas Estudos e Projetos**. Salvador: EDUFBA, 2001. 408p.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Rio de Janeiro, 1999. 195 p.

NEUMAN, T. R. **Intersection channelization design guide**, Washington: NCHRP Report, 1985. 279p.

OLIVEIRA JUNIOR, M. G. **Projeto Geométrico de Vias com Modelagem Digital do Terreno em Ambiente de Software Livre e Sistema de Informações Geográficas**. 2007. 172p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007.

PIMENTA, C. R. T., OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. São Carlos: 2. ed.SP: Rima Editora, 2004. 198 p.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**, São Paulo: Makron Books 1ª Edição, 1995. 1056 p.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de projetos Rodoviários**. São Paulo: Editora PINI Ltda, 1ª Edição, 2008. 759p.

2

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MODELAGEM DIGITAL DE ELEVAÇÃO ATRAVÉS DE LASER SCANNING TERRESTRE COM ÊNFASE EM PROJETOS GEOMÉTRICOS DE VIAS

Resumo. Visando propor e avaliar uma rotina de processamento de dados de Laser Scanning Terrestre (LST) para a geração de curvas de nível aplicadas ao projeto geométrico de estradas, realizou-se um estudo de caso em uma via alternativa no campus da Universidade Federal de Viçosa. Os dados coletados foram processados nos softwares RISCAN PRO e ArcGIS. Em ambos os softwares foram geradas curvas de nível, no entanto, no software ArcGIS foram realizados testes de dois interpoladores distintos, sendo que para o melhor resultado foi aplicado filtros estatísticos, utilizando os valores de células da vizinhança mais próxima, a média e o mínimo. O LST mostrou-se eficiente nos locais sem vegetação, gerando curvas de alta qualidade e precisão. No entanto, nos locais com vegetação, o processo de filtragem foi ineficiente, deixando pontos acima da cota do terreno, superestimando os volumes de movimentação de terra em projetos de terraplenagem. O filtro estatístico mais eficiente foi o que usou os valores médios, porque eliminou os ruídos nas curvas de nível e não distorceu o modelo produzido. Com isso, conclui-se que o LST pode ser utilizado em projetos geométricos de vias, desde que seja acompanhado da topografia convencional em áreas que apresentam cobertura vegetal densa.

Palavras Chaves: Projeto geométrico de estradas. Laser Scanning Terrestre. Movimentação de terra.

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR DIGITAL ELEVATION MODELING BY TERRESTRIAL LASER SCANNING WITH EMPHASIS ON ROUTE GEOMETRIC DESIGN

Abstract. Aiming to propose and evaluate a processing routine for data from the equipment Terrestrial Laser Scanning (LST) to produce contour lines to be used in road geometric design, this case study developed an alternative route in the campus of the Federal University of Viçosa. Data collected were processed in the softwares RISCAN PRO and ArcGIS. Contour lines were generated in both softwares, but two different interpolators were tested in ArcGIS, and statistical filters were applied to the best result using values of the nearest neighbors, the mean and the minimum. LST equipment was efficient for unvegetated sites, generating contour lines of high quality and accuracy. However, in vegetated areas, the filtering process was inefficient, leaving points above the terrain quota and overestimating the volumes of land movement in earthwork projects. The most efficient statistical filter was the one using the mean values, because it eliminated the noise in contour lines and did not skew the model produced. In conclusion, the LST equipment can be used in road geometric design, provided that it is accompanied by conventional topography in densely vegetated areas.

Key words: Road geometric design. Terrestrial Laser Scanning. Land movement.

2.1 Introdução

A rápida geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) sobre a superfície de estudo desperta um interesse especial no meio rodoviário, principalmente em projetos geométricos de estradas, sendo precisamente o levantamento da informação altimetria a tarefa que requer a maior carga de trabalho, na execução do mapeamento topográfico (WUTKE e CENTENO, 2007).

O MDT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre definida sobre um plano cartográfico num conjunto de coordenadas X, Y e Z. A coordenadas Z representa valor da altitude e profundidade num modelo tridimensional que contenha o

atributo elevação. Logo, torna-se base para qualquer tratamento automatizado de projetos geométricos de estradas. O projeto geométrico é caracterizado pelas coordenadas e altitude ou cota de seus pontos notáveis, necessários para definir os elementos geométricos. Neste tipo de projeto, além da visualização em um plano horizontal, requer-se, também, a visualização em um plano vertical. Muitas vezes, para a modelagem do terreno, é necessário obter valores de altitude que não foram amostrados na superfície de estudo, sendo estes pontos necessários durante o processamento do sistema (BARBOSA et al., 2008).

Reconstruir a informação altimétrica de uma determinada superfície, por metodologia diferente das tradicionais e empregando menor tempo de trabalho, pode ser o maior potencial de aplicação da tecnologia Laser Scanning para o mapeamento topográfico aplicado a projetos geométricos de estradas (WUTKE e CENTENO, 2007).

Tendo em vista a dificuldade de se obter uma quantidade de dados representativos do terreno, os fabricantes dos sistemas de varredura a laser atribuem maior vantagem oferecida pelo sistema a possibilidade de se dispor de uma massa considerável de dados altamente representativos da superfície de interesse, os quais podem ser facilmente processados para se obter modelos digitais do terreno (PFEIFER e WINTERHALDER, 2004; LICHTI et al., 2008; MAAS et al., 2008).

Devido à grande quantidade de informações geradas pela tecnologia de varredura a laser, a fase de processamento requer ferramentas que apresentem capacidade de extrair e selecionar as informações necessárias ao projetista. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) apresenta um poderoso conjunto de ferramentas capazes de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais, tornando-se um aliado ao processamento e tratamento dos dados produzidos pela referida tecnologia. (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

A tecnologia de varredura laser tem surgido como uma alternativa na elaboração de projetos em diversas áreas da engenharia, neste sentido, e analisado nesta pesquisa o potencial do uso desta tecnologia na geração do MDT com vista a projeto geométrico de estradas.

2.2 Sistema Laser Scanner Terrestre

O equipamento Laser scanner Terrestre (LST) é um sistema usado para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos de uma superfície. Seu funcionamento é baseado na geração de pulsos de laser que são emitidos na direção aos objetos. Esses pulsos são direcionados ao ambiente com auxílio de um espelho, ou prisma, e também um motor que gera a rotação horizontal (azimutal) em torno do eixo vertical do instrumento, como se ilustra na Figura 1. Ao atingir o objeto os pulsos são refletidos, e parte de sua energia retorna na direção do sistema. Como base nesses dados, o sistema determina a distância entre o sensor e o objeto através da medição do intervalo de tempo decorrido desde a emissão até o retorno do pulso (LENARTOVICZ, 2013).

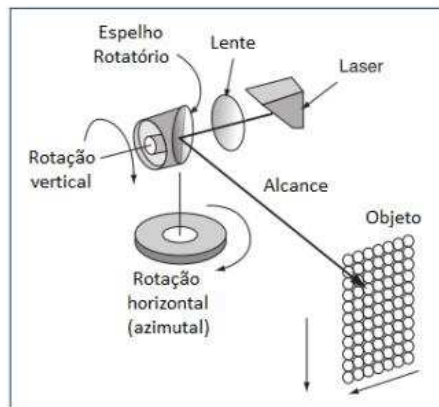


Figura 1 - Funcionamento do laser scanner terrestre.
Fonte: LENARTOVICZ, 2013

As principais características do sistema LST, Figura 2, segundo Lenartovicz (2013) são:

- é um método ativo que não depende da luz visível refletida, embora alguns modelos de scanners apresentem comportamento inadequado na ausência total de iluminação.
- operação remota, o que significa que o objeto não precisa ser tocado;
- o princípio geométrico de cálculo das coordenadas pode ser a triangulação, o intervalo de tempo ou a diferença de fase, dependendo do modelo, mas em todos os casos a varredura pode ser feita com apenas uma estação por visada;
- a resposta está disponível em tempo real, sendo que após o término da varredura o operador tem à sua disposição milhões de pontos com coordenadas conhecidas,

estando apto a fornecer respostas sobre os objetos, como: distâncias entre peças, dimensões, volumes, verticalidade de superfícies;

- alta densidade de pontos coletados e, conseqüentemente, altíssima redundância na descrição discreta dos objetos;
- é possível realizar o controle de qualidade durante a coleta e refazer a varredura, caso necessário;
- sistema de operação simples e flexível; pois basta um operador para posicionar e operar o sistema; e
- é possível combinar vários modelos numéricos gerados de diferentes posições, o que permite cobrir quase toda a superfície visível dos objetos.



Figura 2 - Laser Scanner Terrestre.
Fonte: CPE tecnologias 2016.

Alguns sistemas possuem software para a obtenção de descrições paramétricas dos objetos por ajuste à nuvem de pontos, o que permite uma acurácia ainda maior que a dos pontos isolados; além disto, devido à alta densidade de pontos as ferramentas automáticas de alguns sistemas fazem a busca pelos pontos pertencentes aos mesmos objetos ou superfícies com pouca interação com o operador, o que aumenta substancialmente a produtividade. (ALBA et al., 2006).

2.3 Materiais e métodos

2.3.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), as margens da rodovia MG-280. O local está situado entre a referida rodovia e uma via secundária pavimentada do campus da UFV. O local apresenta interferência de edificações e áreas de lazer, além de vegetação heterogênea, de pequeno a grande porte, densa em alguns locais, dificultando o acesso e a realização de levantamento topográfico convencional.

2.3.2 Equipamentos utilizados

Para a coleta dos dados topográfico no campo foi utilizado o equipamento LST (VZ 1000 da Riegl) e um receptor GNSS (GS08 Plus) da leica.

2.3.3 Levantamento de campo

O equipamento LST foi instalado em vinte e seis posições, distribuído ao longo da via secundária do campus da UFV que margeia a área de implantação da via alternativa que será proposta, bem como ao longo da MG-280, conforme a Figura 3. Em cada posição onde o equipamento LST foi estacionado, realizou-se o levantamento total da área do entorno (360° horizontal e 100° vertical), com aproximadamente 3 minutos de escaneamento e o registro das coordenadas com o GPS. Os locais foram distribuídos de forma a representar a área de exploração para a implantação da via alternativa de maneira eficiente, levando-se em consideração características como relevo, vegetação e ocupação física.

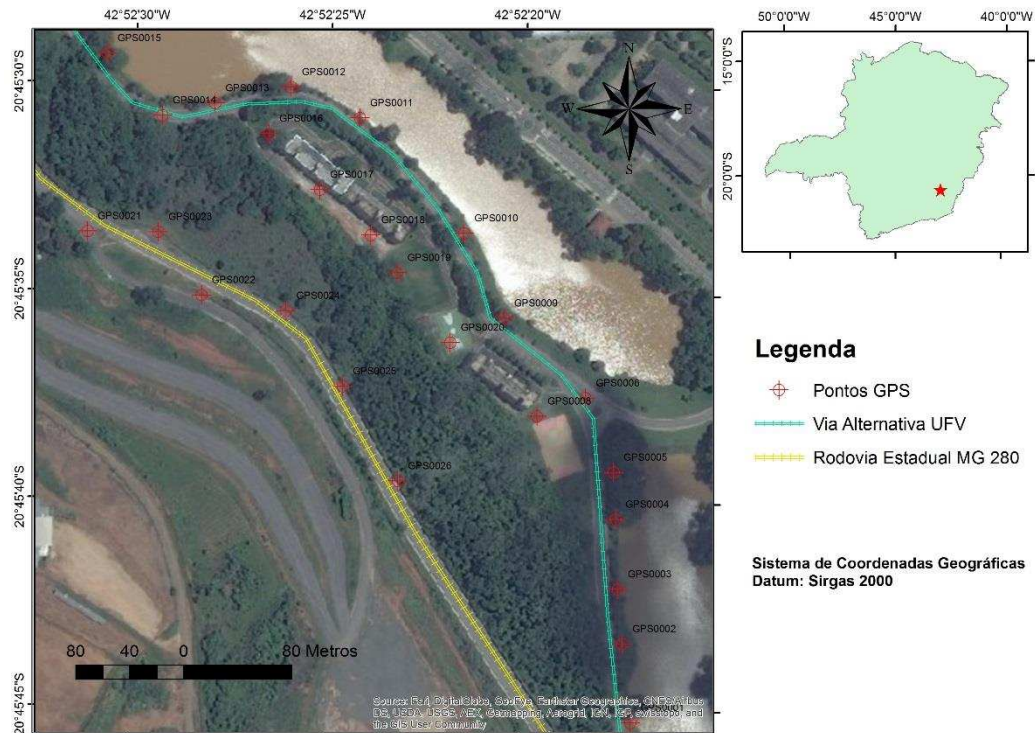


Figura 3 - Localização aproximada dos pontos do levantamento LTS.

2.3.4 Software

Foi feito o uso dos seguintes software: (i) Leica Geo office, para o processamento dos dados do receptor GNSS; (ii) o RiSCAN PRO, para o processamento dos dados do equipamento LST; e (iii) ArcGIS, para o processamento e geração dos MDTs e curvas de nível.

2.3.5 Coordenadas das posições do LST e processamento das nuvens de pontos

As coordenadas tridimensionais das posições do LST foram obtidas à partir dos dados de rastreamento com o receptor GNSS. Estes dados foram pós-processados utilizando o software Leica Geo office e a estação Vico da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), localizada num raio de menos de 1 Km da área de pesquisa, foi utilizada como base.

O processamento da nuvem de pontos gerada pela varredura do equipamento LST consistiu de quatro etapas:

- registro e ajuste das posições dos scans;

- filtragem com extração dos pontos representativos ao terreno;
- desenvolvimento das curvas de nível no software RiSCAN PRO; e
- tratamento dos dados e desenvolvimento das curvas de nível no software ArcGIS.

2.3.6 Registro e ajuste das posições dos scans

Nesta fase, foi utilizado o software RiSCAN PRO, no qual as coordenadas das posições obtidas com o receptor GNSS já reduzidas à origem do sistema de coordenadas do LST foram importadas e registradas nas vinte seis posições de escaneamento. Em seguida, foi efetuada a rotação das posições 1 e 2 dos scans, conforme se apresenta na Figura 4.



Figura 4 - Rotação das nuvens de pontos 1 e 2, (a) antes da rotação, (b) depois da rotação.

Feita a orientação aproximada das nuvens de pontos 1 e 2, o programa realizou o ajuste com maior precisão, sendo gerado um arquivo, contendo as informações vetoriais dos pontos levantados pelo equipamento LST, conforme a Figura 5. Nessa etapa, quanto maior a quantidade de vetores gerados, melhor o ajuste, mas maior é o esforço computacional (RIELG, 2013). Em seguida, o mesmo procedimento foi aplicado nas vinte e quatro posições restantes.

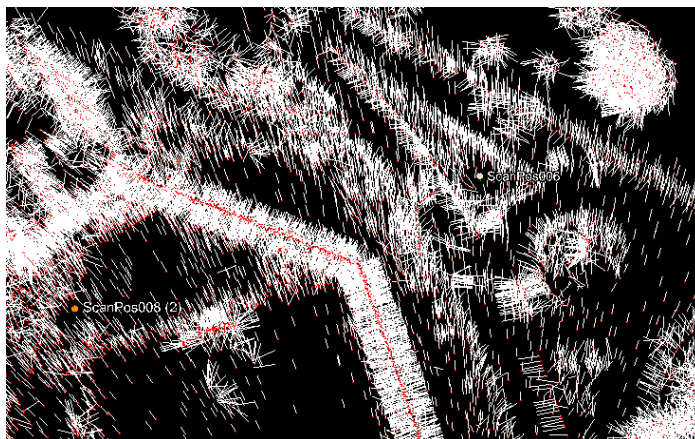


Figura 5 - Polidata contendo vetores gerados pelo equipamento LST

2.3.7 Filtragem com extração dos pontos representativos ao terreno

Nessa etapa do trabalho as 26 nuvens de pontos foram agrupadas no software RiSCAN PRO. Logo em seguida, essa nuvem densa de pontos foi reduzida para um espaçamento de 10 cm entre pontos, visando reduzir o esforço computacional, sendo que a necessidade do detalhamento depende de cada projeto em especial (RIEGL, 2013). Com os arquivos unidos foi realizada a seleção da área de interesse, conforme a Figura 6.

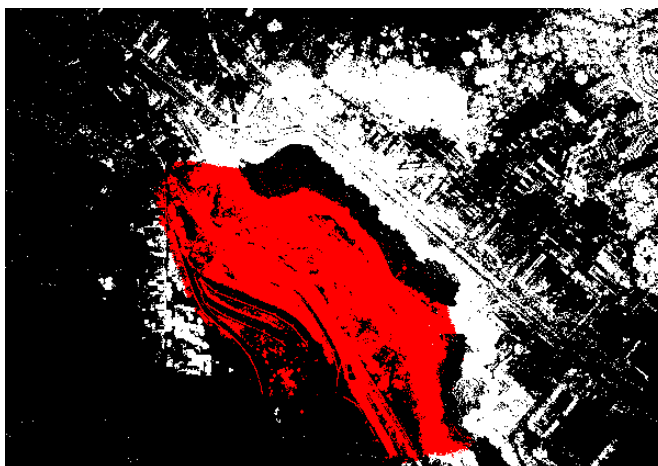


Figura 6 - Seleção da área de exploração para implantação da via proposta.

Após ter realizado a seleção da área de exploração para implantação da via proposta, o próximo passo foi a eliminação da vegetação e dos objetos. Esses foram retirados de forma automática, usando-se filtros encontrados no software RiSCAN PRO, conforme a Figura 7.

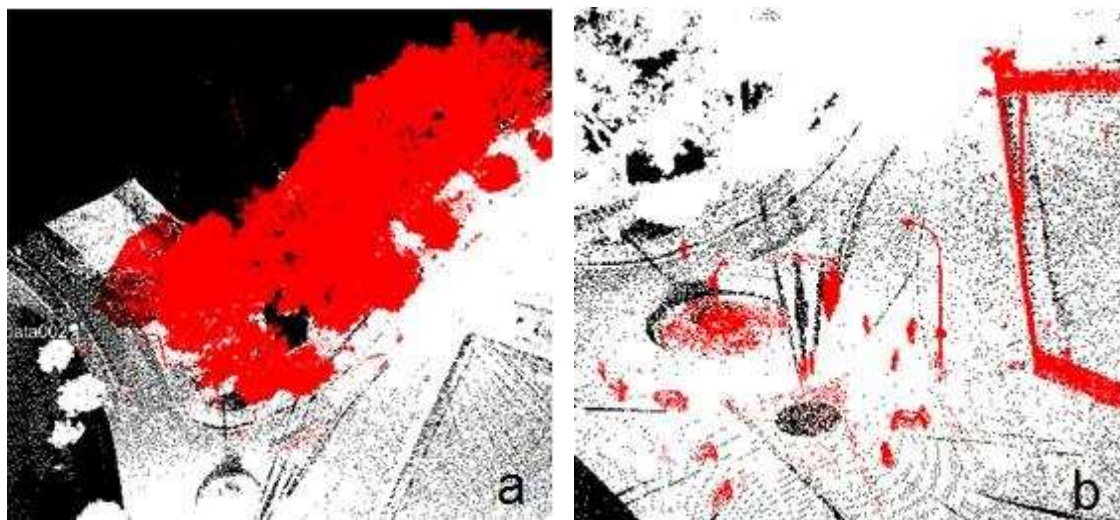


Figura 7 - (a) a aplicação do filtro de vegetação, (b) a execução do filtro de objetos, respectivamente

Para a possibilitar o tratamento dos dados no ArcGIS, os pontos remanescentes após o processo de filtragem foram exportados no formato LAS (Log ASCII Standard). Este formado facilita a troca, manipulação e análise de dados entre usuários da tecnologia de varredura a laser.

2.3.8 Desenvolvimento das curvas de nível no software RiSCAN PRO

Os procedimentos para a construção das curvas de nível englobaram a criação de um plano de referência e a determinação de uma superfície através de uma triangulação usando o interpolador Triangular Irregular Network (TIN). Conforme a Figura 8, apresenta-se a rotina e as configurações que foram utilizadas.

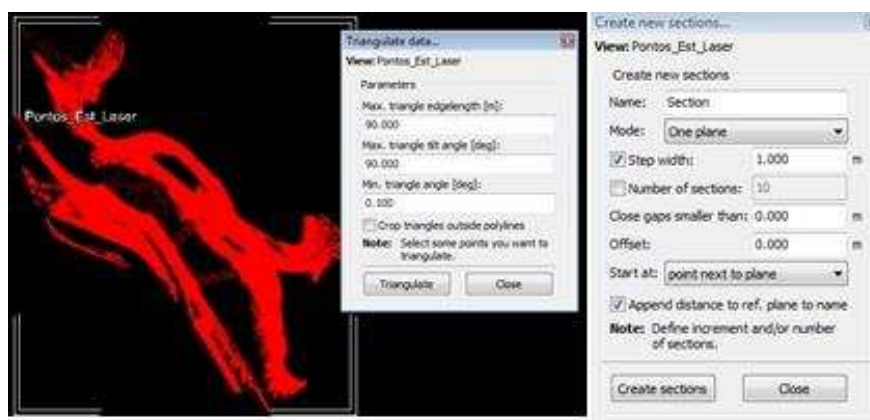


Figura 8 - Rotina e configurações utilizadas para a criação das curvas de nível no software RiSCAN PRO.

Após a geração das curvas de nível com equidistância de 1,0 m, foi realizada a exportação dos dados no formato DXF. Essas curvas foram comparadas com os modelos gerados no software ArcGIS.

Devido às características típicas da área de estudo, com grande quantidade de vegetação com diferentes tamanhos e formatos, o processo de limpeza e filtragem dos pontos coletados pelo equipamento LST não se mostrou eficiente. O próximo passo foi uma tentativa de melhorar e selecionar as informações de elevação geradas pelo processamento tradicional, usando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

2.3.9 Tratamento dos dados e desenvolvimento das curvas de nível no software ArcGIS

Os pontos exportados no formato LAS através do software RiSCAN PRO foram carregados no software ArcGIS e, logo em seguida, o resultado foi transformado em um arquivo Raster de pixels de 0,5 m. Nessa passagem, foram testados dois interpoladores diferentes, o Linear e o Natural Neighbor.

O resultado que apresentou menor distorção das curvas de nível entre os dois interpoladores foi utilizado na etapa seguinte, em que foram aplicados filtros estatísticos, utilizando-se os valores de células da vizinhança mais próxima. Nessa etapa, foram avaliados dois parâmetros estatísticos distintos, média e mínimo, ambos na tentativa de reduzir os defeitos provocados pela vegetação, gerando um MDT para cada método supracitado.

Após ter gerado os dois MDTs, foi realizada a comparação por meio de suas respectivas curvas de nível. O tratamento estatísticos que apresentou menor alteração nos mesmos, e que eliminou com maior eficiência os defeitos advindos do processo de filtragem e limpeza foi exportado para o formato Autodesk's Design Web Format (DWG), para ser utilizado na planta planialtimétrica da área de estudo e no projeto geométrico da via alternativa proposta.

2.4 Resultados e discussão

No ajustamento das nuvens de pontos do equipamento LST, foram obtidos desvios padrões menores que 3,0 cm. Esse valor de desvio padrão é uma representação global, pois quando se analisam os planos criados isoladamente, percebe-se pequenas variações do valor supracitado.

Segundo Riegl (2013), o processo de ajustamento tenta melhorar o registro das posições digitalizadas com o equipamento LST. Para esse efeito, as orientações e posições são modificadas em várias iterações, a fim de se calcular o melhor ajuste global. Infelizmente, os desenvolvedores do software RiSCAN PRO não disponibilizaram informações sobre os métodos e modelos matemáticos utilizados nesse ajuste. Um software parecido o 3DReshaper utiliza apenas os pontos classificados como mais apropriados para a criação de uma malha. Estes pontos seriam selecionados por sua proximidade a uma superfície teórica calculada para representar a nuvem levantada. Para a seleção dos pontos, podem ser utilizados métodos geométrico e/ou qualitativo (TECHNODIGT, 2015).

No método geométrico calculam-se planos triangulares na nuvem e, então, pontos que representarão a estrutura são criados na intersecção entre estes planos e a superfície teórica. Os pontos de intersecção são definidos utilizando-se um erro de desvio, que é a distância entre a superfície e os planos. Para o método quantitativo, o software 3DReshaper seleciona os pontos representativos da superfície teórica através da redução dos ruídos de medição, sendo os pontos escolhidos com base no critério de um valor de distância entre pontos e a superfície, eliminando-se os pontos distantes e definindo-se os mais próximos como os vértices dos triângulos do novo modelo. Outro processo para ajustamento das nuvens utiliza como padrão o cálculo de distâncias entre pontos pelo algoritmo do vizinho mais próximo. Para cada ponto da nuvem a ser comparada, o software 3DReshaper busca o ponto mais próximo na nuvem de referência e calcula a distância euclidiana entre eles (TECHNODIGT, 2015).

O processo de filtragem no RiSCAN PRO envolveu a eliminação dos objetos (edificações, postes, pessoas, carros, entre outros) e, principalmente, da vegetação. O algoritmo utilizado pelo software RiSCAN PRO não conseguiu distinguir, de forma adequada, os diferentes tipos de formação florestal da área de estudo, sendo obtido melhor

resultado, em locais com árvores espaçadas e troncos bem definidos. Um filtro para o isolamento de árvores em nuvem de pontos foi desenvolvido por Bienert et al., (2006). O método consiste em gerar um cilindro circular reto de altura e raio pré-definidos, a partir de um ponto na base da árvore. Um problema evidenciado para aplicação desse método é que nem toda vegetação apresenta formas geométricas definidas, o que dificulta a criação de algoritmos eficientes para eliminação ou separação da vegetação.

As curvas de nível geradas no software RiSCAN PRO apresentaram grande quantidade de ruídos e ondulações, principalmente nas áreas dominadas por vegetação densa e desuniforme. Essas alterações foram provocadas pela dificuldade dos pulsos laser do equipamento LST em penetrar em determinado tipo de vegetação, para detecção e registro da refletância do material de interesse que, para este estudo, foi o solo (GORDON et al, 2001; LICHTI e GORDON, 2004). Além disso, somado ao comprometimento da etapa de filtragem, os pontos não eliminados com cotas acima do terreno, irão causar irregularidades, refletidas, posteriormente, no interpolador e, conseqüentemente, nas curvas de nível produzidas, gerando-se projetos geométricos de vias com alterações significativas de movimentação de terra, conforme a Figura 9.

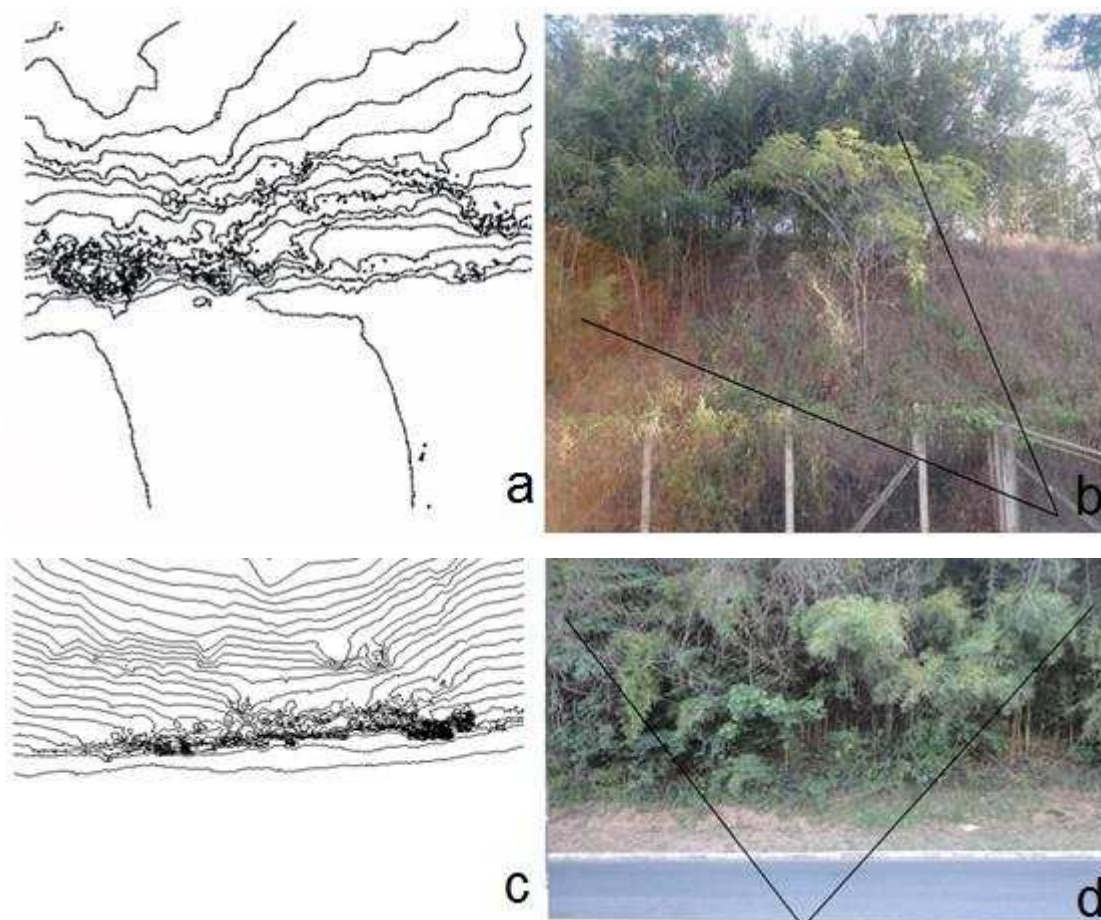


Figura 9- Ruídos nas curvas de nível (a) e (c) gerados no processamento do software RiSCAN PRO devido a falhas do algoritmo no filtro da vegetação (b) e (d).

As curvas de nível geradas no software ArcGIS, usando os interpoladores Linear e Natural Neighbor apresentaram resultados com muita similaridade, pois ambos são associados ao modelo TIN (ESRI, 2013). Contudo, no modelo de triangulação com interpolação linear, os graus elevados de correlação entre a superfície e os acidentes do relevo resultaram em curvas de níveis angulares, gerando um produto (MDE) desuniforme, tendo menos aproximação com a realidade. Em contrapartida, o interpolador Natural Neighbor produziu uma menor frequência de arestas, destacando-se melhor a continuidade da superfície na geração das curvas de nível, conforme a Figura 10.

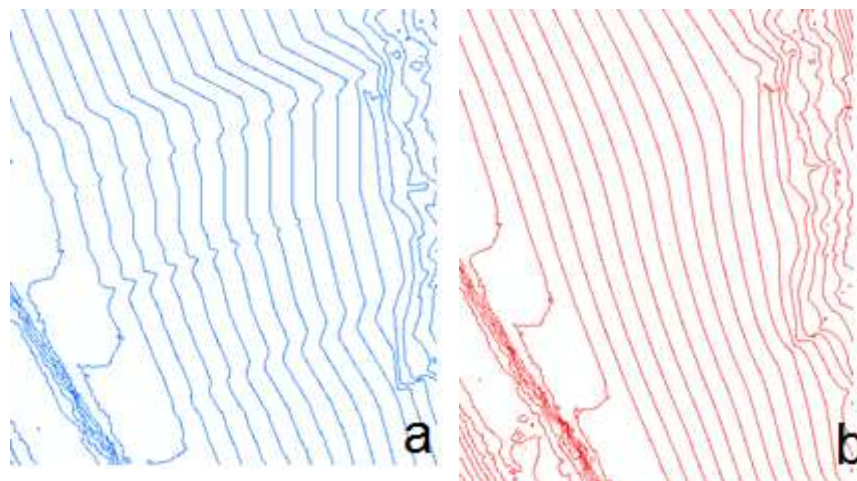


Figura 10 - Diferenças entre os interpoladores Linear (a) e o Natural Neighbor (b) em uma mesma região

Em seguida, para a retirada dos ruídos das curvas de nível, o filtro estático que usou o valor mínimo da vizinhança gerou um MDT que, apesar de suavizar a superfície, apresentou um deslocamento inexistente do terreno, subestimando, assim, o modelo gerado, conforme a Figura 11. Essas modificações podem gerar erros em cálculos de movimentação de terra em determinados projetos de terraplenagem.

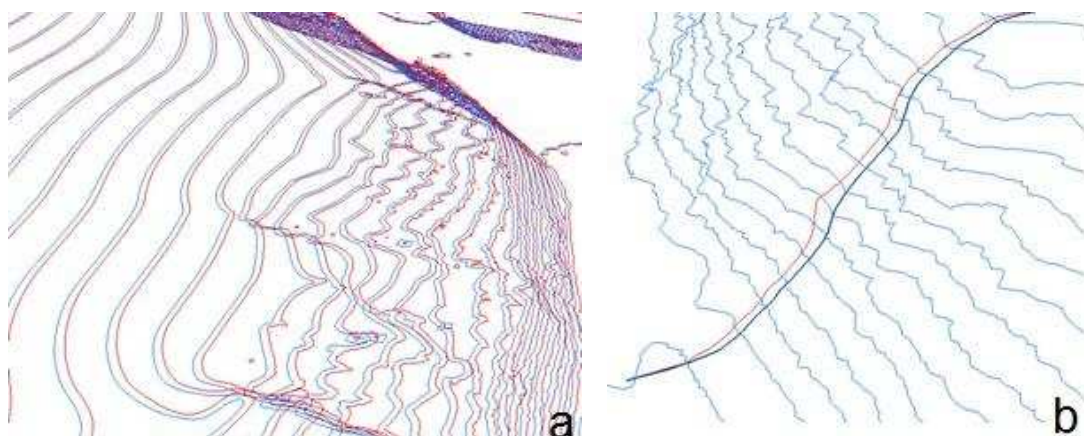


Figura 11 - Curvas de nível originais (vermelho) com deslocamento gerado pelo interpolador de mínimo (curvas de nível azul) figura (a), diferença entre o perfil original (vermelho) e o perfil gerados pelo interpolador de mínimo (azul) (b), com perspectivas em 3D.

De acordo com os modelos digitais do terreno gerados pelos interpoladores utilizados, evidenciou-se que o método de média suavizou as curvas de níveis, e foi o mais adequado à área em estudo, com um produto final mais ajustado e próximo da realidade quando comparado com os demais métodos estatísticos utilizados. Conforme a Figura 12, é possível ver o resultado das curvas de nível produzidas inicialmente no

software RiSCAN PRO (Figura (12 (a) e 12 (c))) em comparação com as curvas de nível após o tratamento com o software ArcGIS utilizando-se o interpolador Natural Neighbor e o filtro estatístico da média (Figura (12 (b) e 12 (d))).

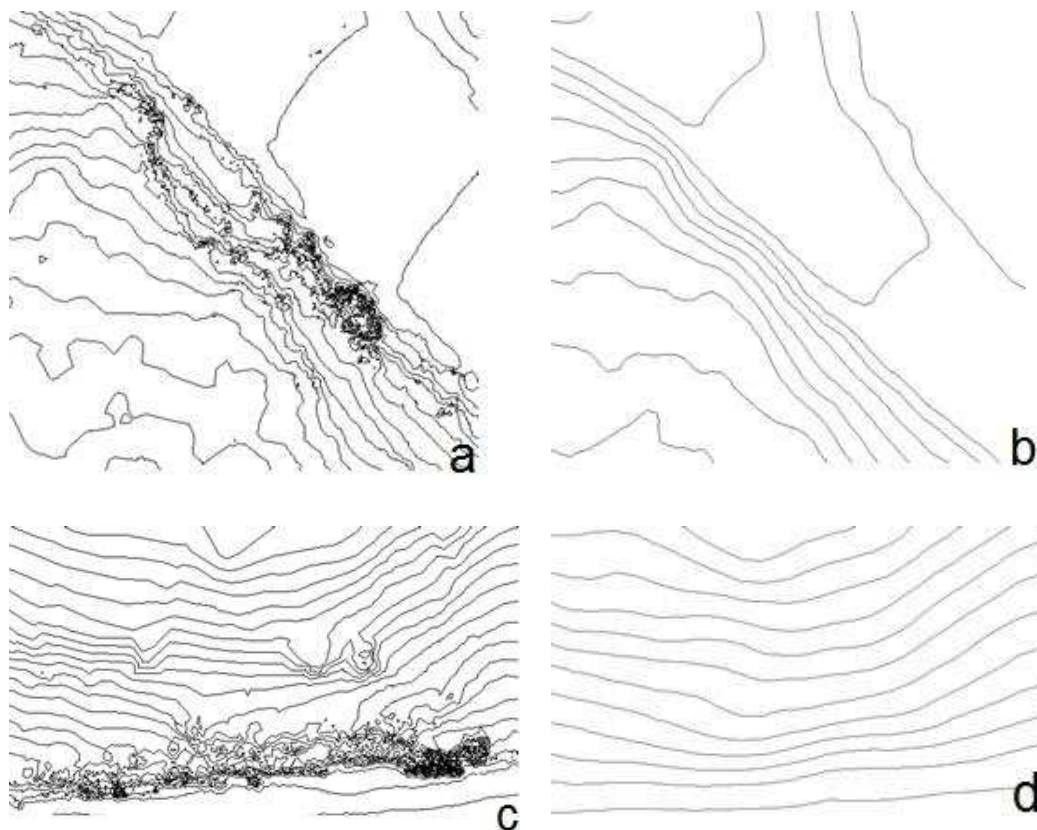


Figura 12 - Comparação entre as curvas de nível exportadas no software RiSCAN PRO (a) e (c) com as curvas produzidas após uso do interpolador de média no software ArGis (b) e (d).

2.5 Conclusões

O processo de ajustamento deve ser melhor esclarecido pelos desenvolvedores do software RiSCANPRO, devido à necessidade de se avaliar a adequação do sistema do equipamento LST para diferentes tipos de projetos de engenharia e ambientes.

O algoritmo para filtrar a vegetação apresenta ineficiência para certas espécies; além disto, o processo de melhoria fica comprometido devido às restrições impostas pelo fabricante ao acesso aos cálculos matemáticos envolvidos na construção dos algoritmos de limpeza.

O SIG mostrou ser um importante aliado no processamento e melhoria de dados de LST, sendo que no presente estudo as melhores respostas foram obtidas através do interpolador Natural neighbor e do filtro estático que usou o método estatístico da média.

De uma forma geral, o LST pode ser aplicado a projetos geométricos de vias, apresentando as seguintes vantagens: baixo tempo na aquisição de dados, densidade alta de pontos e facilidade de escaneamento em locais de difícil acesso, no entanto, em ambientes que apresentam áreas comprometidas com a presença de vegetação, esse sistema deve trabalhar consorciado com a topografia convencional.

Referências bibliográficas

ALBA, M., GIUSSANI, A., RONCORONI, F., SCAIONI, M., VALGOI, P. Geometric Modelling of a Large Dam by Terrestrial Laser Scanning. In: **XXIII FIG Congress. Munich**, Munich, Germany. 2006.

BARBOSA, R. L., MENEGUETTE JR, M., SILVA, J. F. C., GALLIS, R. B. A., ITAME, O. Y. Análise Estatística da Qualidade de um Modelo digital do Terreno Gerado com Thin Plate Spline. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 60, n 2, p. 127-132. 2008.

BIENERT, A., MAAS, H. G., SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial laserscanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. In: **Workshop on 3D Remote Sensing in Forest**, Vienna, Austria, 2006.

BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. ed. 1. New York: Oxford University Press, 1998.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE -ESRI. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.2. **Redlands**, 2013. ArcGIS 10.2.

GORDON, S., LICHTI, D., STEWART, M. Application of high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements. In: **The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements**, Orange, California, 2001.

LENARTOVICZ, I. R. **Avaliação da Potencialidade do Laser Scanner Terrestre no Monitoramento de Estruturas: Estudo de Caso Uhe Mauá**. 2013. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LICHTI, D.; GORDON, S. Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording. In: **FIG Working Week**, Atenas, Grecia, 2004.

LICHTI, D.; PFEIFER, N., MAAS, H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial Laser Scanning”. **ISPRS Journal of Photogrammetry e Remote Sensing**, v. 63. p. 1-3, 2008.

MAAS, H. G., BIENERT, A., SCHELLER, S., KEANE, E. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. **International journal of remote sensing**, v. 29, n. 5, p. 1579-1593, 2008.

PFEIFER, N.; WINTERHALDER, D. Modelling of tree cross sections from terrestrial laser scanning data with free-form curves. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 8, 2004.

RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS. OPERANTING e Processing Software RiSCAN PRO for RiEGL 3D Laser Scanners. **Riegl LMS**, 2013. RiSCAN PRO v. 2.0.

TECHNODIGT. **3DReshaper documentation**. Disponível em: <http://www.3dreshaper.com>. Acesso em: 29 de Julho. 2015.

WUTKE, J. D., CENTENO, J. A. S. Métodos Para Avaliação da Resolução de Sistemas de Varredura a Laser Terrestres. **Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 151, 2007.

3

ESTUDO COMPARATIVO DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS GEOMÉTRICOS DE VIAS

Resumo. No presente trabalho comparou-se os resultados obtidos na realização de um projeto geométrico de uma via utilizando-se dos programas computacionais TCP-MDT, AutoCAD Civil 3D e TopoGRAPH. Para isso, levou-se em consideração as normas técnicas vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Os parâmetros avaliados foram: modelagem do terreno em função de curvas de nível; traçado horizontal; traçado vertical; superlargura; superelevação; e o projeto de terraplenagem. Na modelagem digital do terreno, foram observadas pequenas diferenças nas curvas de nível. No traçado horizontal não houve diferença nos resultados dos programas analisados. Para o traçado vertical, observou-se pouca diferença no perfil do terreno, provocada possivelmente, pela modelagem digital gerada nos programas computacionais analisados. Na determinação do parâmetro superlargura, os programas computacionais TopoGRAPH e TCP-MDT foram os que melhor atenderam às normas técnicas brasileiras vigentes. Para o cálculo dos valores de superelevação, os melhores resultados foram encontrados nos programas computacionais AutoCAD Civil 3D e TCP-MDT. Além disso, houve diferenças entre os respectivos volumes de terra calculados pelos programas computacionais, o que pode causar problemas no planejamento e no custo final da obra. Portanto, conclui-se que a escolha do programa computacional dentre os analisados nesta pesquisa pode afetar os parâmetros técnicos e o planejamento construtivo da obra.

Palavras Chaves: Projeto geométrico de estradas. Softwares. Movimentação de terra

COMPARATIVE STUDY OF COMPUTER PROGRAMS FOR USE IN ROAD PROJECTS GEOMETRIC

Abstract. This study compared the results obtained in developing a highway geometric design through the use of the softwares TCP-MDT, AutoCAD Civil 3D and TopoGRAPH. For this, the results were compared to each other taking into account the standards of the National Department of Transportation Infrastructure (DNIT). The parameters evaluated were: modeling with contour lines; horizontal layout; vertical layout; superwidth; superelevation; and land moving calculation. In the digital modeling, small differences were observed in the contour, both in the mesh and the final product. There was no difference in the results of the horizontal layout between softwares. For vertical layout, there was a slight difference in the terrain profile possibly caused by the digital modeling of programs. In superwidth, TopoGRAPH and TCP-MDT were the ones that best met the Brazilian standards. To calculate the superwidth, the best results were found in AutoCAD Civil 3D and TCP-MDT. In addition, there were differences between respective land volumes calculated by the programs, which can cause problems in the planning and in the final cost of the work. Therefore, it is concluded that the choice of program can affect since the technical side until the planning of the work, with implications on the overall cost.

Key words: Road geometric design. Softwares. Land movement.

3.1 Introdução

O projeto geométrico de uma estrada tem por objetivo fazer a ligação entre duas ou mais localidades adequadamente, ou seja, observando-se as condições de segurança e conforto dos usuários e as condições técnico-econômicas da região por onde a estrada irá passar. Sua representação em planta e em perfil, no sentido longitudinal, é feita por um conjunto de retas concordadas com curvas. No sentido transversal, ao longo da estrada, são determinadas seções normais ao eixo que fornecerão informações importantes sobre o trecho a ser analisado, isto é, trata-se da definição de trechos em corte, aterro e seção mista (corte e aterro) (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004; PONTES FILHO, 1998).

Em um projeto básico de estrada, representam-se os seguintes elementos: larguras de pista; de faixa de tráfego e de acostamento; dispositivos de drenagem; comprimento de retas (tangentes); rampas; raios de curvas; superelevação; superlargura; distância de visibilidade; dentre outros. A sua elaboração requer uma sequência estruturada de rotinas que tem por objetivo definir os parâmetros geométricos a serem adotados para a estrada em função da velocidade de projeto e do tipo de relevo. Diante dessas informações, é possível definir a geometria da via. A informática contribui fortemente para agilizar a elaboração do projeto geométrico de estrada, além de facilitar inúmeras simulações de alternativas de traçado com rapidez e precisão (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

Os projetos geométricos de vias ganham qualidade técnica quando executados em programas computacionais específicos. Isso permite o aumento da produtividade e redução de custo, através de simulação rápida de vários cenários, minimizando erros e melhorando a qualidade final (FIGUEIRA et al., 2014).

No entanto, cada projeto geométrico de estrada possui uma peculiaridade, em função do local e da região que será executado (AASHTO, 2011). Nesse contexto, esse trabalho de pesquisa visa destacar e comparar os resultados do projeto geométrico de uma rodovia executado empregando-se três programas computacionais, os quais forneceram informações sobre as principais diferenças para resultados obtidos com relação a alguns parâmetros geométricos, a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

3.2 Projeto assistido por computador

Com a evolução computacional no campo da engenharia o mercado tem exigido das empresas projetos cada vez mais rápidos e abrangentes, sendo que alguns apresentam uma grande quantidade de parâmetros, como os projetos geométricos de estradas, que englobam variáveis de naturezas físicas, técnicas, econômicas, sociais e ambientais. Portanto, ficou evidente que a computação poderia trazer uma melhoria na qualidade desses projetos. Além disso, as rotinas de um projeto podem ser sistematizadas, com as vantagens de ganho de tempo, aumento de alternativas e diminuição de erros (CALLISPERIS, 2003; OLIVEIRA JUNIOR, 2007).

Há pouco tempo atrás, a integração do computador nos projetos geométricos era pontual. Utilizava-se um sistema CAD para realizar os desenhos e plantas e planilhas com cálculos de volume e orçamento. No entanto, esta utilização era muito limitada devido a uma série de fatores como o número e indefinição de muitas variáveis envolvidas, impossibilitando contar com todos os dados desde o início, bem com as dificuldades em se fazer correções e alterações no projeto depois de concluído, entre outras. Com isso, a utilização de um sistema totalmente automatizado foi se concretizando (OLIVEIRA JUNIOR, 2007).

Segundo Figueira et al, (2014), os programas de desenvolvimento de projetos geométricos devem ser interativos e convergentes. Os programas atuais permitem que informações geradas ao longo do desenvolvimento do projeto possam ser trabalhadas e modificadas em pouco tempo, tornando mais eficiente busca do projetista por uma solução otimizada. Isto é possível graças à rapidez com que o computador realiza rotinas respectivas de cálculos, desenho e a integração de ambos com um banco de dados estruturado.

3.3 Materiais e Métodos

Para o presente estudo, foi utilizado uma área de, aproximadamente, 13 hectares, na província de Málaga, situada no Sul da Comunidade autônoma de Andaluzia, no Sul da Espanha. A área escolhida para esse estudo, feita concebida, em função da existência de um projeto geométrico de estrada realizado através de um software chamado TCP-MDT muito utilizado na Espanha e alguns países da Europa, cedido pela empresa Aplitop Surveying and Civil Engineering Solutions. A referida área se encontra próxima ao município de Ardales, ao lado da rodovia A-357, cujas coordenadas centrais são 36°53'29,91"N e 04°51'00,37"W, situada entre uma rodovia e uma estrada vicinal, conforme ilustrado na Figura 13. A região pode ser enquadrada na modalidade de terreno montanhoso, com abruptas variações longitudinais e transversais na elevação.

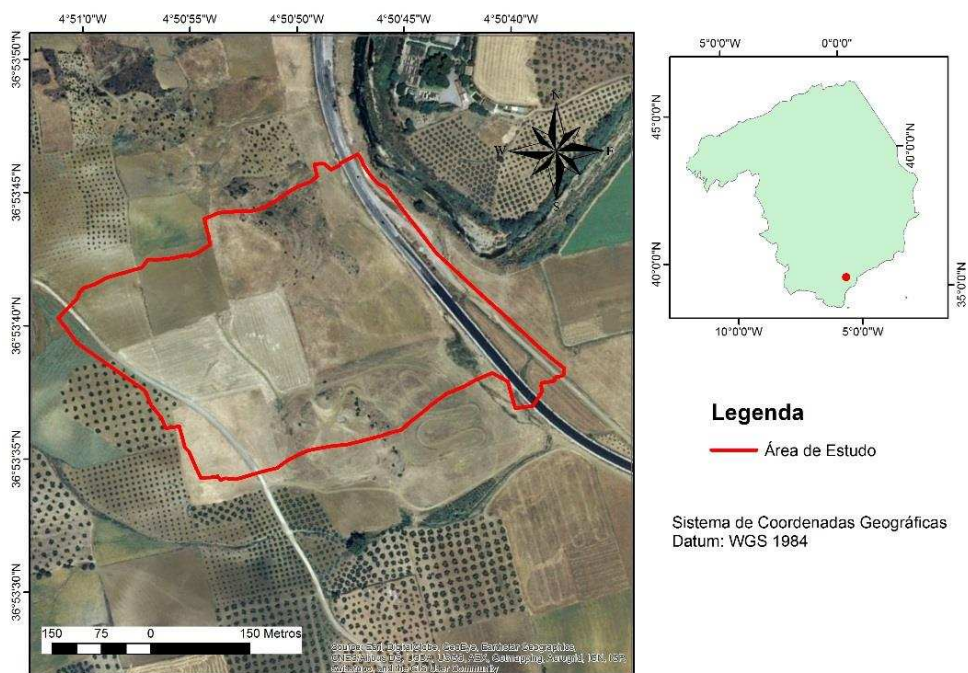


Figura 13 - Ilustração da área de estudo.

3.3.1 Materiais

Foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) em formato DWG (Autodesk's Design Web Format), cedido pela empresa Aplitop Surveying and Civil Engineering Solutions. Os programas computacionais utilizados foram os que seguem: TCP-MDT, desenvolvido pela empresa Aplitop S.L.; TopoGRAPH 98 SE, desenvolvido pela Char*Pointer; e o AutoCAD CIVIL 3D versão estudantil 2015 desenvolvido pela empresa Autodesk. A escolha desses programas computacionais se deve ao fato deles apresentarem atributos diferenciados de engenharia para elaboração do projeto geométrico de estradas.

3.3.2 Métodos

Os parâmetros técnicos para simulação do projeto geométrico nos programas computacionais supramencionados foram os que seguem:

- veículo de projeto = veículos comercial rígido, não articulado (CO);
- velocidade diretriz = 40,00 km/h;
- superelevação máxima = 4%;
- rampa máxima = 8%;

- distância de visibilidade de parada = 42 m; e
- tangente mínima = 40 m.

Os elementos das curvas de concordância horizontal foram definidos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Elementos das curvas de concordância horizontal

Curvas horizontais	Pontos notáveis	Tipo	Azimute	Raio (m)	Desenvolvimento (m)
P ₁	Início	Reta	88°46'01,000"	-	25,00
C ₁	PC	Curva Circular	88°46'01,000"	111.25	51,284
	PT	Reta	115°10'43,194"	-	55,00
C ₂	TS – SC	Espiral	115°10'43,194"	Infinito	20
	SC – CS	Curva Circular	102°43'23,014"	46.00	48,00
	CS – ST	Espiral	42°56'10,172"	Infinito	20,00
	ST – PC ₃	Reta	30°28'50,002"	-	90,00
C ₃	PC ₃	Curva Circular	30°28'50,002"	56.00	47,00
	PT ₃	Reta	78°34'05,108"	-	46,970
P _f	Fim	-	78°34'05,108"	-	-

Para o projeto geométrico em perfil, foram utilizadas as curvas de concordância vertical, conforme os elementos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Elementos das curvas concordância vertical

Estacas	Ponto Notável	Cota (m)	Raio (m)	Rampa (%)
0 + 0,00	Início	365.999	-	0.432
0 + 14,987	PCV ₁	366.064	744.109	-
3 + 12,028	PTV ₁	364.121	-	-7.252
4 + 12,028	PCV ₂	362.671	604.742	-
7 + 00,840	PTV ₂	361.107	-	0.837
7 + 10,840	PCV ₃	361.191	616.841	-
10 + 01,297	PTV ₃	359.548	-	-7.362
14 + 16,398	PCV ₄	352.547	1,076.64	-
20 + 03,254	Fim ou PTV ₄	350.000	-	2.583

A seção tipo da via projetada apresentou as seguintes características, conforme apresentado na Figura 14:

- largura da pista de rolamento = 7,00 m;
- abaulamento das faixas de tráfego = 2%;
- largura de calçada = 2,00 m; e
- altura do meio fio = 0,20 m;

- valeta em corte = 0,40 na direção horizontal (X) e 0,15 na direção vertical (Y);
- talude de aterro = 3,00 em X e 2,00 em Y;
- talude de corte = 2,00 em X e 3,00 em Y; e
- altura e largura de banquetas = 2,00 m.

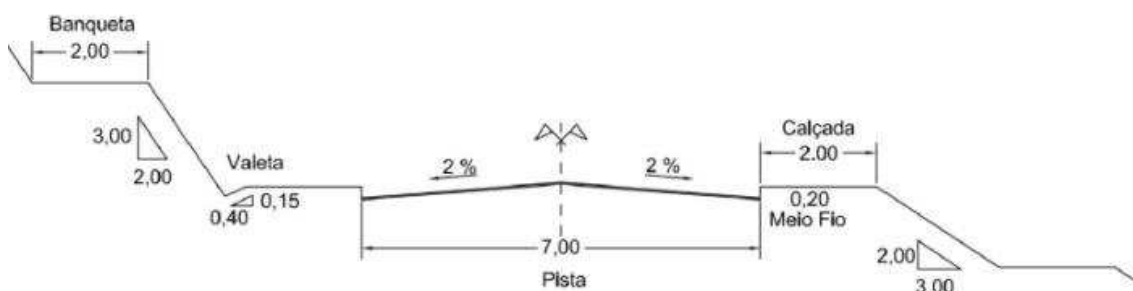


Figura 14 - Componentes da seção transversal da via proposta.
Fonte: MENEZES, 2014.

3.3.3 Etapas de elaboração do projeto geométrico

A elaboração do projeto geométrico da via proposta consistiu nas seguintes etapas:

- traçado horizontal;
- traçado vertical;
- superlargura e superelevação; e
- volume de corte e aterro.

Por fim, a partir dos resultados obtidos nos programas computacionais analisados, os mesmos foram comparados entre si, em função dos padrões contidos nas especificações técnicas para projeto geométrico de estradas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), antes representado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1999). Diante do exposto, foi possível analisar as diferenças entre os programas computacionais no dimensionamento dos principais elementos geométrico da via proposta.

3.4 Resultados e Discussão

Para a definição dos elementos geométricos dos projetos obtidos pelos programas computacionais analisados, percebeu-se que a triangulação dos pontos altimétricos do relevo da área de estudo não coincidiu, apesar do método utilizado ter sido a triangulação de Delaunay (TIN), utilizada pelos programas computacionais analisados. As diferenças podem estar nos algoritmos usados para implementação desta triangulação e, conseqüentemente, na interpolação utilizada sobre esta triangulação, a interpolação pode inserir uma incerteza no ponto estimado, é importante, conhecer os algoritmos implementados nestes interpoladores que induzem ao menor erro, e, conseqüentemente, ao um melhor resultado para cálculos de movimentação de terra em projetos geométricos de estrada (MAZZINI e SCHETTINI, 2009). Segundo Botsch et al., (2010), os algoritmos nos diferentes programas computacionais podem gerar modelos com vértices mal amostrados, redundantes ou triângulos com formas incoerentes proporcionando resultados que não reproduzem a realidade de campo. No entanto, foi observado por Burrough e McDonnell (1998), quando há riqueza de informações de campo, a maioria dos métodos de interpolação produz resultados semelhantes. Nos programas computacionais analisados, como resultado da triangulação foi gerado curvas de nível coerentes, exceto em alguns locais na planta, conforme apresentado na Figura 15.

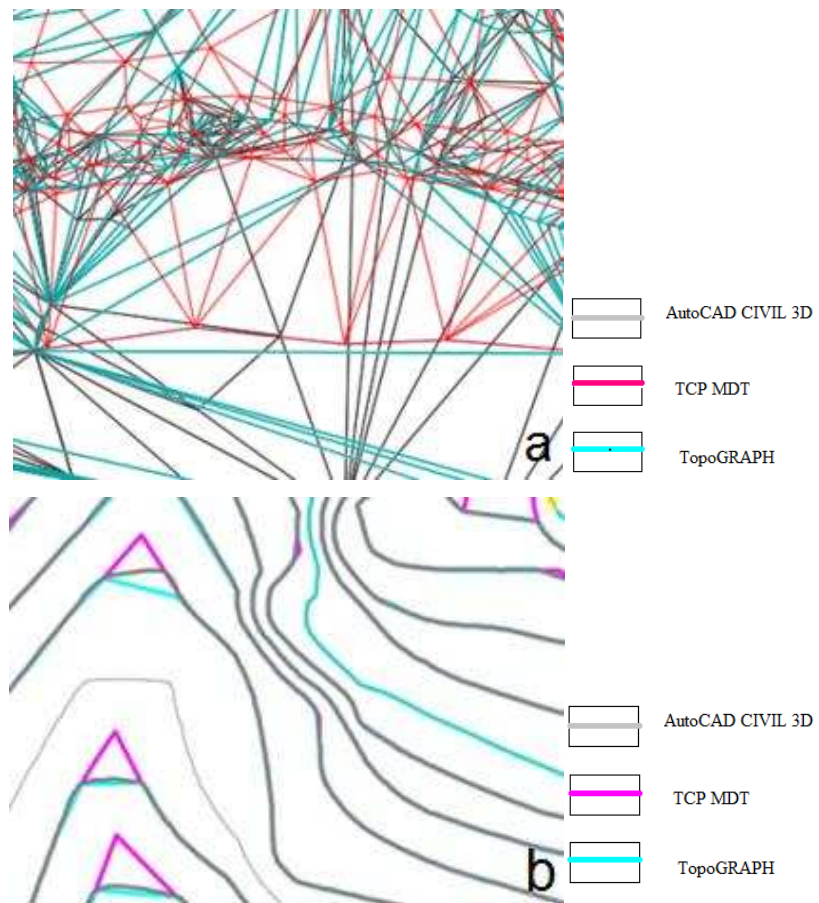


Figura 15 - Visualização da sobreposição da triangulação (a), Curvas de nível sobrepostas (b).

Para a construção do traçado horizontal da via proposta, os resultados foram idênticos para os três programas computacionais analisados, ou seja, os resultados de estacas, ângulos e tangentes foram similares. Analisando-se os perfis gerados nos três programas computacionais, através de uma sobreposição, observa-se uma pequena diferença, que, possivelmente, foi provocada devido às diferenças na triangulação utilizadas na modelagem do terreno, conforme apresentado na Figura 16.

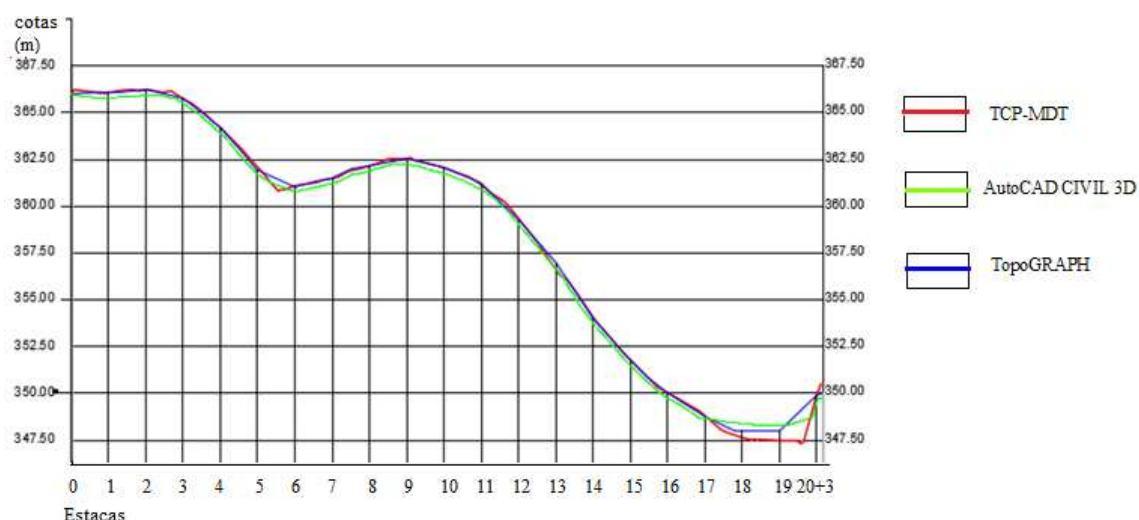


Figura 16 - Visualização da sobreposição dos perfis longitudinais gerados pelos programas computacionais analisados, escala horizontal (1:1000) e escala vertical (1:200).

A concordância vertical não apresentou diferenças significativas, tendo em média uma separação de 5,00 cm entre os resultados dos programas computacionais analisados.

No cálculo da superlargura, os programas computacionais que se aproximaram dos valores recomendados pelo DNER (1999) foram o TopoGRAPH e o TCP-MDT. O AutoCAD Civil 3D apresentou valores inferiores aos recomendados em 20 cm, considerando-se as recomendações prescritas pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2011), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de superlargura encontrados nos programas computacionais analisados e os calculados de acordo com (DNER 1999).

Curvas horizontais	DNER	Programas computacionais		
		TopoGRAPH	AutoCAD Civil 3D	TCP-MDT
C ₁	0,80 m	0,8 m	0,60 m	0,8 m
C ₂	1,60 m	1,50 m	1,40 m	1,76 m
C ₃	1,40 m	1,30 m	1,20 m	1,40 m

Segundo o DNER (1999), os valores de superlargura a considerar nos projetos geométricos devem ser arredondados para múltiplos de 0,20 m e limitados ao valor mínimo de 0,40 m. As normas técnicas técnicas brasileiras vigentes consideram que superlarguras menores que esse limite não resultam em efeitos práticos relevantes, podendo ser desconsideradas. Contudo, a AASHTO (2011) adota um limite inferior de 0,60 m, e sugere a dispensa de superlargura para concordâncias com raios de curva

superiores a 250 m, nos projetos geométricos com largura normal de faixa de tráfego de 3,60 m.

Nos cálculos para obtenção dos valores de superelevação, não houve diferença significativa para a distribuição em planta, conforme apresentado na Figura 17. Nos programas computacionais analisados, foram adotados o critério de distribuição do DNER (1999), que também é adotado pela AASHTO (2011). Esse consiste em estipular um valor proporcional ao comprimento de transição da superelevação, de forma a manter desejavelmente a mesma rampa de superelevação desde o ponto do abaulamento até aquele onde se atinge a superelevação máxima.

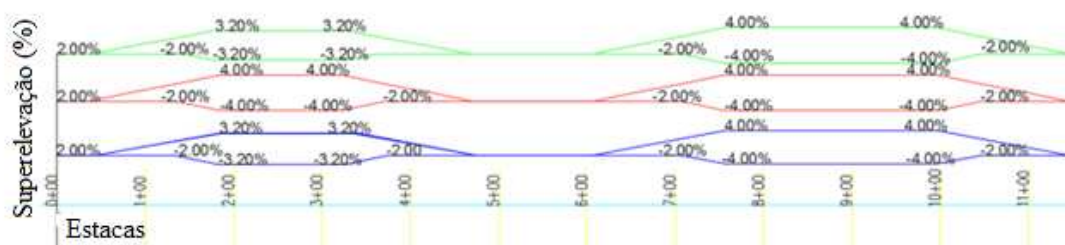


Figura 17 - Comparação sobre distribuição da superelevação nas curvas horizontais C_1 e C_2 .

No entanto, para o cálculo da superelevação máxima adotada nos trechos circulares, o programa computacional TopoGRAPH não considerou a distribuição parabólica recomendada pelo DNER (1999), na curva horizontal C_1 . Essa função considera o raio mínimo, a taxa de superelevação e os coeficientes de atrito transversal que decrescem gradual e simultaneamente, até o valor do raio adotado de projeto (PONTES FILHO, 1998; AASHTO 2011). Nos outros dois programas computacionais analisados, os valores obtidos foram próximos aos recomendados pelo DNER (1999). A diferença ocorreu em função da determinação do raio mínimo de projeto adotado por cada programa computacional, o qual depende dos valores da velocidade de projeto, da superelevação máxima e do coeficiente de atrito transversal (PONTES FILHO, 1998; DNER, 1999; PIMENTA e OLIVEIRA, 2004; AASHTO, 2011). Os valores de superelevação calculados pelos programas computacionais analisados, assim como os valores aproximados resultantes do DNER (1999) encontram-se apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de superelevação adotada nas curvas circulares.

Curvas horizontais	DNER (1999)	Programas computacionais		
		TopoGRAPH	AutoCAD Civil 3D	TCP-MDT
C ₁	3,00%	4,00%	3,20%	3,20%
C ₂	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
C ₃	3,80%	4,00%	4,00%	3,80%

Na análise do projeto de terraplenagem, em função dos valores de volume de material a serem movimentados no projeto geométrico da via proposta, percebeu-se que o programa computacional TopoGRAPH gerou um volume de corte maior. Já o programa computacional TCP-MDT gerou um volume maior de aterro. A explicação para essa diferença pode estar nas modelagens do terreno. Apesar dessas estarem associadas nos três programas computacionais analisados a um modelo TIN, existe uma diferença gerada na triangulação dos mesmos, como se observa na Figura 3. Essa diferença pode superestimar ou subestimar os valores de movimentação de terra, devido a valores altimétricos do modelo que podem não representar a superfície do relevo local. A Tabela 5 apresenta os volumes de corte e aterro obtidos no projeto de terraplenagem da rodovia proposta com o uso dos três programas computacionais analisados.

Tabela 5 - Volumes estimados de corte e aterro para o projeto de terraplenagem da via proposta

Programas computacionais	Volume de corte (m³)	Volume de aterro (m³)
TopoGRAPH	4.646,22	2.130,47
TCP-MDT	4.330,01	2.392,76
AutoCAD Civil 3D	4.340,06	2.118,96

As diferenças nos valores de volumes de corte e aterro apresentados na Tabela 5 podem ser ainda mais expressivas com o aumento longitudinal da obra. Nos valores citados na Tabela 5, a extensão utilizada para essa análise comparativa foi de, aproximadamente, 400 m. Assim, a etapa de planejamento pode ser seriamente comprometida, de modo que o projetista deve estar atento a possíveis variações desses valores e trabalhar com um certo nível de segurança.

3.5 Conclusões

A análise comparativa entre os projetos geométricos desenvolvidos, no âmbito dessa pesquisa, por meio dos programas computacionais TCP-MDT, AutoCAD Civil 3D e TopoGRAPH permitiu concluir que:

- não houve diferença significativa nos valores encontrados para as concordâncias horizontais e verticais;
- os programas computacionais TopoGRAPH e TCP-MDT foram os que aproximaram-se dos valores de superlargura sugeridos pelas normas técnicas brasileiras vigentes;
- não houve diferença significativa na distribuição da superelevação em planta entre os programas computacionais analisados. No entanto, os resultados que se aproximaram dos valores sugeridos pelo (DNER, 1999) foram registrados nos programas computacionais AutoCAD CIVIL 3D e pelo TCP-MDT;
- houve pequena diferença nos volumes de movimentação de terra calculados pelos programas computacionais analisados, a qual, porém, pode tornar-se maior com o aumento da extensão longitudinal da obra, comprometendo, eventualmente, o planejamento da execução da via;
- os programas computacionais TopoGRAPH, TCP-MDT e AutoCAD Civil 3D podem ser usados em projetos geométricos de vias, em obediência às normas técnicas brasileiras vigentes. Contudo, o projetista deve estar atento à regularização e à padronização dos resultados gerados nos referidos programas computacionais, observando-se sempre, quando pertinente, as recomendações das normas técnicas vigentes.

Referências bibliográficas

AASHTO. **A policy on geometric design of highways and streets**. Washington, D.C.: American Association of State Highway And Transportation Officials: 2011. 912 p.

BOTSCH, M., KOBELT, L., PAULY, M., ALLIEZ, P., UNO LEVY, B., **Polygon Malha Processing**. Natick: AK Peters Ltd, 2010. 250 p.

BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1998.

CALLISPERIS, O. J. T. **CAD para rodovias: O impacto das modelagens digitais do terreno e projeto**. 2003. 102 p Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 1999. 195 p.

FIGUEIRA, A. C., LARocca, A. P. C., QUINTANILHA, J. A., KABBACH JR, F. I. The Use of Three-Dimensional Visualization Tools to Detect Deficiencies in Geometric Roadway designs. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 54-69. 2014.

MAZZINI, P. L. F., SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de Metodologias de Interpolação espacial aplicadas a Dados Hidrográficos costeiros Quase-sinóticos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MENEZES, R. R. V. **Emprego dos Softwares TCP-MDT e TOPOGRAPH para Projeto Geométrico de Estrada**. 2014. 46p. Monografia-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

OLIVEIRA JUNIOR, M. G. **Projeto Geométrico de Vias com Modelagem Digital do Terreno em Ambiente de Software Livre e Sistema de Informações Geográficas**. 2007. 172p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007.

PIMENTA, C. R. T., OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. São Carlos: 2. ed.SP: Rima Editora, 2004. 198 p.

PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem Projeto Geométrico**. São Carlos: Bidim, 1998. 432 p.

4

PROJETO GEOMÉTRICO DE UMA VIA ALTERNATIVA PARA ACESSO AO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Resumo. Este trabalho de pesquisa elaborou um estudo de caso para uma via alternativa ao campus da Universidade Federal de Viçosa, visando à melhoria do tráfego local. Para isso, foi realizado um projeto de uma via de ligação com uma interseção em “T” ligando a Rodovia Estadual MG 280 a uma via local que margeia as lagoas do campus universitário. O local apresenta espaço reduzido e declividades acentuadas. A elaboração e o processamento de dados foram feitos no programa computacional AutoCAD Civil 3D, em que foi possível perceber que o espaço local e a característica acentuada do relevo não permitem o cumprimento de todas as exigências das normas técnicas vigentes no Brasil. Além disso, essa situação exige construção de aterros e cortes elevados com grande movimentação de terra. No entanto, foi possível aplicar alternativas e ponderar o valor sugerido pelas normas técnicas em função das necessidades de engenharia e das condições locais. Com isso, apesar das limitações apresentadas foi possível elaborar um projeto geométrico que atendesse ao objetivo local sem contrapor as recomendações técnicas, objetivando a escolha de alternativas que otimizassem os custos de construção e de alterações no ambiente local.

Palavras chaves: Projeto Geométrico; Programa Computacional AutoCAD Civil 3D; Via Coletora.

GEOMETRIC DESIGN OF AN ALTERNATIVE ROUTE FOR ACCESS TO THE CAMPUS OF THE FEDERAL UNIVERSITY OF VIÇOSA

Abstract. This research produced a case study for an alternative route to the campus of the Federal University of Viçosa, aimed at improving the local traffic. To this end, it was designed a connection route with a T-intersection linking the State Road 280 MG to a local road that runs along the lakes of the university campus. The site has limited area and steep slopes. Preparation and processing of data were made using the computer program AutoCAD Civil 3D, which indicated that the local area and the steep slope of the terrain do not allow to meet all the requirements of the technical standards in force in Brazil. Moreover, this situation calls for construction of embankments and high cuts with large earthmoving. However, it was possible to implement alternatives and consider the value suggested by the technical standards according to the engineering needs and local conditions. Thus, despite the limitations presented, we could draw a geometric design that met the local goal without diverging from technical recommendations, aiming at choosing alternatives that optimize the costs for construction and amendments in the local environment.

Key words: Geometric Design; Computer Program AutoCAD Civil 3D; Collecting route.

4.1 Introdução

O projeto geométrico de uma estrada é caracterizado pela concordância de um conjunto de retas e curvas. Os trechos curvos são formados por curvas horizontais e os trechos retos por tangentes. Uma forma de definir o traçado é acomodar as retas no terreno em função da topografia e demais obstáculos existentes e depois concordá-las por meio de curvas (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

Na elaboração de projetos viários, devem-se considerar o tráfego e as características de operação dos veículos, de maneira a garantir uma estrada segura, confortável e eficiente, com o menor custo possível durante toda a sua vida de serviço, tomando como base as necessidades locais e disponibilidade de recursos (DNER, 1999).

Os elementos de projeto tanto em planta quanto em perfil estão associados a elementos como: velocidade de projeto; raio mínimo de curvatura; à rampa máxima; distância de visibilidade; superelevação; e tangente mínima, em conformidade com a classe e relevo da estrada a ser projetada (PONTES FILHO, 1998).

É fundamental o estabelecimento de padrões mínimos das características geométricas de projeto, para evitar valores incompatíveis com a qualidade aceitável de projeto, embora se reconheça que padrões inferiores aos mínimos absolutos poderão eventualmente ocorrer, a depender das circunstâncias locais. Essa decisão, bem como os valores a adotar, deverá ser cuidadosamente ponderada, objetivando encontrar a solução ótima de engenharia entre as exigências de projeto e as restrições físicas, econômicas e ambientais do local de implantação do projeto viário (DNIT, 2005; AASHTO, 2011).

Neste contexto, torna-se recorrente a falta de reserva adequada do espaço urbano necessário para a implantação de determinadas soluções técnicas para as interseções e conexões do sistema viário. Essa dificuldade provocada pela falta de espaço público urbano também é encontrada nos transportes não motorizados (pedestres e ciclistas), que necessitam de espaços dimensionados as necessidades para atenderem as necessidades dos fluxos de pedestres e a implantação de ciclovias ou ciclo faixas (COELHO, 2012).

Na tentativa de otimizar o espaço urbano e apresentar opções para acesso ao campus da Universidade Federal de Viçosa, almejando à melhoria do tráfego local, nesse estudo abordam-se a concepção do projeto geométrico de uma interseção e uma via de ligação entre duas vias existentes, englobando a Rodovia MG 280 (Viçosa – Paula Cândido) e

uma via de acesso secundário a Universidade Federal de Viçosa, que se inicia nas Quatro Pilastras, margeando a primeira lagoa, em direção à Avenida da Agronomia.

4.2 Projeto geométrico

O projeto geométrico de uma via urbana é realizado através de um conjunto de estudos, levantamentos, definições das melhores soluções técnicas, cálculos, entre outros elementos, que visam garantir a viabilidade técnica, econômica, ambiental e social da rodovia (PONTES FILHO, 1998).

O estudo do traçado é uma fase preliminar do projeto geométrico propriamente dito, que tem por objetivo revelar e delimitar os locais convenientes à passagem da via urbana, que unido às informações geomorfológicas da região permite o desenvolvimento do projeto (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

Para caracterizar a geometria espacial do local onde serão inseridos os elementos geométricos do corpo estradal, as seguintes etapas devem ser realizadas (PONTES FILHO, 1998; PIMENTA e OLIVEIRA, 2004; CARVALHO et al., 2005):

- reconhecimento;
- exploração; e
- projeto.

4.2.1 Reconhecimento

Constitui-se a primeira etapa da determinação do traçado horizontal, com o objetivo de levantar os locais por onde a estrada possa passar. São analisados os obstáculos topográficos, geológicos, hidrológicos, entre outros, escolhendo-se o melhor local possível para o lançamento de um eixo conhecido como anteprojeto (PONTES FILHO, 1998; PIMENTA e OLIVEIRA, 2004; ANTAS et al., 2010).

4.2.2 Exploração

Após a determinação do possível local de lançamento do traçado é feito um levantamento detalhado, explorando uma faixa restrita, de mais ou menos 100 m de

largura a partir do eixo estradal escolhido. Nesse levantamento, empregam-se métodos mais precisos que os utilizados na fase de reconhecimento. Após esse levantamento, é possível gerar plantas planialtimétricas do local de estudo com curvas de nível de 1 m em 1 m ou de 2 m em 2 m. As plantas geradas, em geral, são produzidas nas escalas de 1: 1.000 ou 1: 2.000, dependendo da característica do projeto (PONTES FILHO, 1998, DNER, 1999).

4.2.3 Projeto

Após a determinação das plantas planialtimétricas da região a ser atravessada pela estrada em uma escala apropriada, vem fase do detalhamento final, ou seja, o cálculo de todos os parâmetros em planta e em perfil, que possibilitarão a elaboração do traçado horizontal e vertical com suas respectivas tangentes, concordâncias e seções transversais. Esses elementos estão associados à velocidade de projeto, ao raio mínimo de curvatura, à rampa máxima, à distância de visibilidade, à superelevação e à tangente mínima, em conformidade com a classe e relevo da estrada a ser projetada (PONTES FILHO 1998; PIMENTA e OLIVEIRA 2004; CARVALHO et al., 2005).

4.2.3.1 Elementos geométricos de rodovias e vias urbanas

Segundo Pontes Filho (1998) a geometria da estrada é definida pelo traçado do seu eixo em planta, em perfil e em seções transversais. O Quadro 1 contém os principais elementos geométricos de uma estrada.

Quadro 1 - Elementos geométricos de uma estrada

Elementos Geométricos de uma estrada					
Axiais	Planimétricos	Trechos restos	Tangentes às curvas		
		Trechos curvos	Curvas de Concordância Horizontal	Simples	
				Compostas	Sem transição
	Altimétricos	Trechos retos	Greides retos		Tangentes às curvas
				Trechos Curvos	
		Transversais	Secções transversais		Seções Transversais
Aterro					
Mista					

Fonte: CARVALHO et al., 2005.

Os elementos geométricos do projeto de uma estrada dependem de vários fatores sendo o principal deles a velocidade de projeto ou velocidade diretriz. Seus valores variam de acordo com a classe e as características do relevo por onde passará a estrada. A Tabela 6 mostra os valores das velocidades diretrizes segundo a classe de projeto e a classificação do relevo (PONTES FILHO, 1998, CARVALHO, et al., 2005).

Tabela 6 - Velocidade diretriz em função da classe do projeto da estrada e do relevo.

Classe de projeto		Velocidade de Projeto (km/h)		
		Plano	Ondulado	Montanhoso
0		100	100	80
I	A	100	80	60
	B	100	80	60
II		80	70	50
III		70	60	40
IV	A	60	40	30
	B	60	40	30

Fonte: DNER, 1999.

4.2.3.2 Elementos planimétricos

Sabe-se que não é possível a construção de uma estrada apenas com elementos retilíneos, pois os veículos teriam dificuldade em mudar de direção nos vértices do traçado. Por isso, os alinhamentos retos são concordados uns aos outros por meio de curvas. Os trechos retos são chamados de tangentes e os trechos em curvas são chamados

de concordância horizontal, que podem ser diferenciadas em curvas circulares e de transição (PEREIRA et al., 2001) conforme Figura 18.

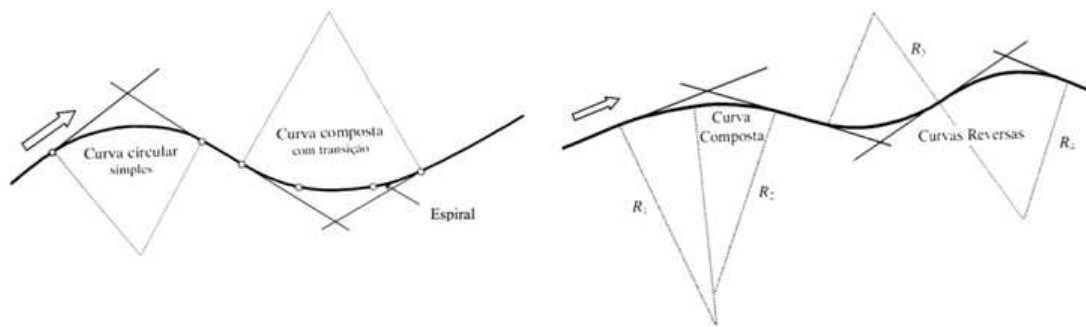


Figura 18 - Concordância horizontal.
Fonte: PONTES FILHO, 1998.

4.2.3.3 Elementos altimétricos

Tirando-se o perfil do terreno ao longo do eixo da estrada em planta, é possível obter o projeto da estrada em perfil, cuja geometria se caracteriza por um conjunto de retas concordadas com curvas, o que representa o greide da estrada.

Assim como o traçado horizontal, os trechos retos em perfil são concordados por curvas, tornando as mudanças de inclinações mais suaves e confortáveis, extinguindo situações de perigo e danos físicos aos veículos e usuários da estrada. As curvas verticais podem ser côncavas ou convexas, sendo que a curva mais utilizada para se realizar as concordâncias verticais é a parábola do segundo grau (CARVALHO, et al., 2004), conforme apresentado na Figura 19.

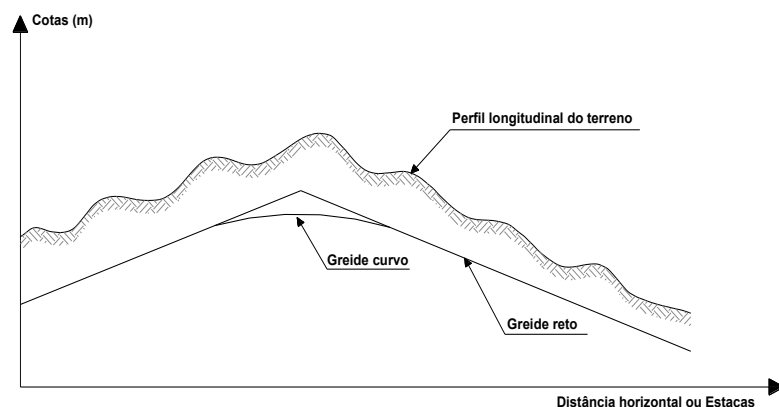


Figura 19 - Projeto de uma estrada em perfil.
Fonte: CARVALHO et al., 2005

4.3 Terraplenagem

Quando se realiza um projeto viário, uma das principais metas seguidas pelo projetista é encontrar uma solução que permita a construção da estrada como a menor movimentação de terra possível, sem que a segurança e a qualidade do projeto sejam comprometidas (PONTES FILHO, 1998).

A terraplenagem envolve quatro operações básicas: escavação; carga; transporte do material escavado; e deposição do mesmo. Posteriormente, o material é espalhado, pulverizado, regularizado e compactado (SENÇO, 2008).

O custo da movimentação de terra é relativamente significativo em relação ao custo total da estrada. Segundo Pontes Filho (1998), deve-se tentar equilibrar as áreas de corte e aterro, usando os materiais provenientes do corte para o aterro, minimizando empréstimos e/ou bota-foras, reduzindo assim significativamente os custos com terraplenagem.

Para o cálculo do volume de movimentação de terra de um projeto viário, é considerada uma série de prismóides (sólidos geométricos limitados nos extremos por faces paralelas e lateralmente por superfícies planas), conforme apresentado na Figura 20. Em que A_1 e A_2 são áreas das seções transversais extremas, A_m é a área da seção transversal no ponto médio entre A_1 e A_2 assim como L é a distância entre as seções A_1 e A_2 . As faces projetadas correspondem às seções transversais, as superfícies planas laterais correspondem à plataforma da estrada, os taludes e a superfície do terreno natural (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004).

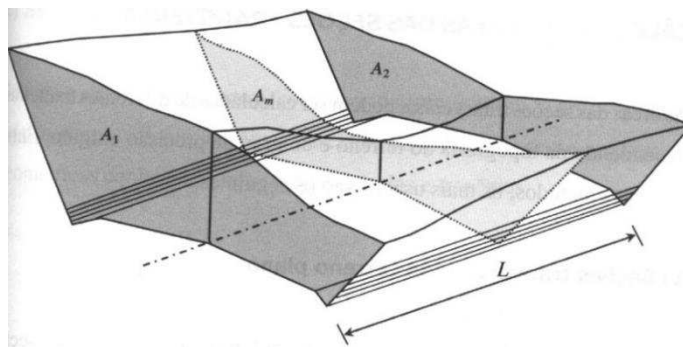


Figura 20 - Prismóide formado num tramo de rodovia.
Fonte: PONTE FILHO, 1998.

4.4 Materiais e métodos

4.4.1 Área de estudos

A ligação viária foi projetada entre a Rodovia MG 280 e uma via de acesso secundário a Universidade Federal de Viçosa, que se inicia nas Quatro Pilastras, margeando a lagoa, em direção à Avenida da Agronomia, conforme se ilustra na Figura 21.

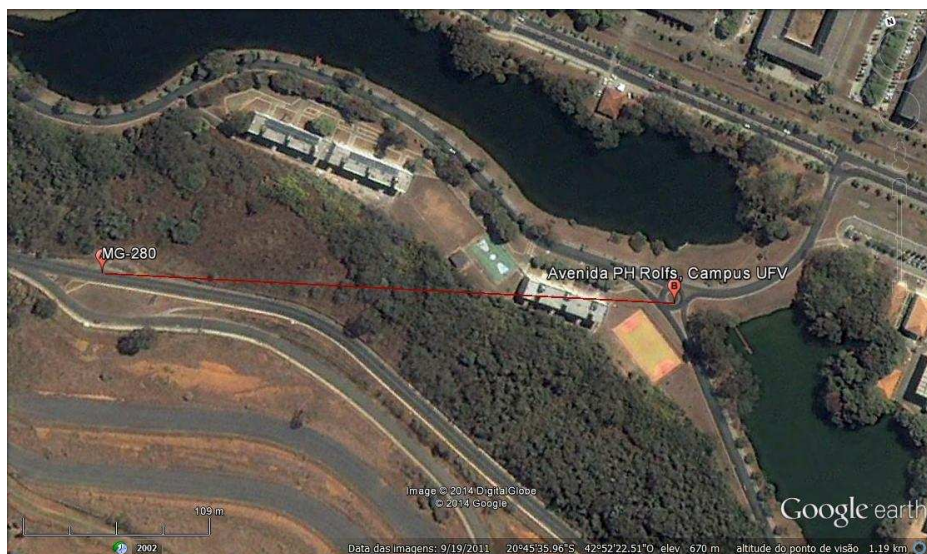


Figura 21 - Local de implantação da nova via de acesso a Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Fonte: Google Earth 2014 (Imagem referente à 19/09/2011).

O entorno do local destaca-se pela movimentação de pedestres que utilizam as vias universitárias para realizar atividades esportivas. Além disso, as vias são usadas pela população universitária para atividades acadêmicas e de serviço. Nos dias especiais de eventos e horários de pico, as vias universitárias recebem um volume considerável de pedestres e veículos.

4.4.2 Veículo de Projeto

O veículo de projeto escolhido foi o CO, ou seja, caminhões e ônibus convencionais.

4.4.3 Parâmetros técnicos adotados

4.4.3.1 Via coletora

Devido às características das vias que serão ligadas, uma rodovia sob jurisdição estadual e outra de característica local, a via projetada foi desenvolvida com parâmetros técnicos de uma via coletora, seguindo em sua maioria as recomendações sugeridas pelo DNIT (2010). A Tabela 7 apresenta o resumo dos parâmetros adotados.

Tabela 7 - Características básicas do projeto geométrico para a via coletora proposta

Características	Adotado
Velocidade diretriz	50 km/h
Distância mínima de visibilidade de parada	65 m
Raio mínimo de curva horizontal	
e = 4%	85 m
Taxa máxima de superelevação	4 %
Rampa máxima	10 %
Rampa mínima	0,35 %
Valor mínimo de K para curvas verticais convexas	7
Valor mínimo de K para curvas verticais côncavas	13
Largura da faixa de rolamento	3,5 m
Superlargura adotada para os trechos em curvas	1,2 m
Declividade transversal da pista	2 %
Largura da faixa de acostamento	1,5 m

4.4.3.2 Cálculo da Superelevação

Seguindo a recomendação do (DNER, 1999) para cálculo da superelevação, foi utilizado a equação 1.

$$e = e_{\max} \times \left(\frac{2R_{\min}}{R} - \frac{R_{\min}^2}{R^2} \right) \quad (1)$$

Em que:

e = superelevação (m/m);

$e_{\max}$ = superelevação máxima (m/m);

$R_{\min}$ = raio mínimo de curvatura fixado para o projeto (m); e

$$T = \frac{L_{\min} \cdot dt}{e_{\max}} \quad (2)$$

Em que:

T = comprimento de transição do abaulamento (m);

$L_{\min}$ = comprimento de transição da superelevação (m);

dt = declividade transversal da pista em tangente (m/m ou %); e

$e_{\max}$ = superelevação máxima (m/m ou %)

4.4.3.4 Interseções de três ramos

Devido ao espaço limitado e ao fato de que o relevo da área de estudo é muito acidentado, foi escolhida uma interseção em “T”. Esperando-se um volume moderado a elevado de tráfego local, a interseção foi projetada com ilhas canalizadoras, que minimizam os pontos conflitantes do tráfego. A Tabela 9, apresenta o resumo dos parâmetros adotados para a elaboração da interseção proposta, seguindo em sua maioria os valores recomendados pelo DER-MG (2013).

Tabela 9 - Características básicas do projeto geométrico para a interseção em “T”.

Características	Adotado
Velocidade diretriz	30 km/h
Raio mínimo de curva horizontal	10 m
e = 2%	
Taxa máxima de superelevação	2 %
Rampa máxima	10 %
Rampa mínima	0,35 %
Valor mínimo de K para curvas verticais convexas	2
Valor mínimo de K para curvas verticais côncavas	4
Comprimento do Taper nas faixas de mudança de velocidade	55 m
Comprimento da faixa desaceleração	25 m
Comprimento da faixa aceleração	45 m
Declividade transversal da pista	2 %
Área mínima para as ilhas centrais	5 m ²
Raio de contornos das bordas nas ilhas centrais	0,6 m

Para as faixas de aceleração/desaceleração propostas, utilizou-se o recurso de construir o “taper” de todos os ramos através de espirais. Segundo (PONTES FILHO, 1998), esse tipo de curva tem a capacidade de minimizar o efeito da força centrífuga que tende a retirar o veículo de sua trajetória.

4.4.3.5 Comprimento de faixa para os ramos na interseção

O projeto foi construído através de três ramos denominados de A, B e Alargamento. No Ramo B, com raio de giro de 10 m, dotou-se a largura de faixa de 9 m, conforme se apresenta na Tabela 10.

Tabela 10 - Largura da faixa de giro para raios menores que 15 m

Largura da pista de giro							
Raio interno da curva no ramo (m)	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	8,00
Largura da pista do ramo	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	11,00

Fonte: (DER-MG, 2013).

Para a construção do Ramo A, que apresentou raio de giro de 30 m na Tabela 10 sugere-se o valor de 4,9 m para a largura da pista de giro. Esse valor foi encontrado através do Caso I, ou seja, sem previsão de passagem à frente, na subclasse B, que permite número suficiente de veículos do tipo CO como referência para o projeto geométrico. Além disso, o DER-MG (2013) sugere acrescentar 0,6 m ao comprimento da faixa de rolamento para acomodar os dispositivos de drenagem (Tabela 11).

Tabela 11 :Largura das pistas de giro, em metro, para raios superiores a 15 m

Raio do Bordo Interno da Pista (m)	Caso I Uma faixa de trânsito sem previsão de passagem à frente.			Caso II Uma faixa de trânsito com previsão para passagem de um veículo parado.			Caso III Duas faixas de trânsito, com um ou dois sentidos.		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5,4	5,5	7,0	6,0	7,8	9,2	9,4	11,0	13,6
25	4,8	5,0	5,8	5,6	6,9	7,9	8,6	9,7	11,1
30	4,5	4,9	5,5	5,5	6,7	7,6	8,4	9,4	10,6
50	4,2	4,6	5,0	5,3	6,3	7,0	7,9	8,8	9,5
75	3,9	4,5	4,8	5,2	6,1	6,7	7,7	8,5	8,9
100	3,9	4,5	4,8	5,2	5,9	6,5	7,6	8,3	8,7
125	3,9	4,5	4,8	5,1	5,9	6,4	7,6	8,2	8,5
150	3,6	4,5	4,5	5,1	5,8	6,4	7,5	8,2	8,4
Tangente	3,6	4,2	4,2	5,0	5,5	6,1	7,2	7,9	7,9
A= Predominam veículos do tipo VP, mas é dada alguma consideração para veículos do tipo CO. B = Número suficiente de veículos do tipo CO para governar o projeto, mas é dada alguma consideração para veículos do tipo SR. C = Número suficiente de veículos do tipo CO e SR para governar o projeto.									

Fonte: (DER-MG, 2013)

No Alargamento, a largura da faixa seguiu o trecho em tangencia, ou seja, 3,5 m, pois esse foi projetado para auxiliar o giro à esquerda para o acesso à via coletora, localizando-se paralelo à rodovia MG 280.

4.4.4 Seção Tipo

A seção tipo adotada no projeto geométrico apresenta os seguintes elementos, conforme se ilustra na Figura 23:

- largura da faixa de rolamento = 3,5 m;
- largura do acostamento = 1,5 m;
- abaulamento = 2 %;
- calçada = 2,00 m;
- meio fio = 0,20 m;
- valeta em corte = 0,60 na direção horizontal (X) e 0,15 na direção vertical (Y);

- aterro = 3,00 em X e 2,00 em Y;
- corte = 2,00 em X e 3,00 em Y;
- altura máxima de corte = 7 m;
- altura máxima de aterro = 7 m;
- largura de Banquetas = 2,00 m.

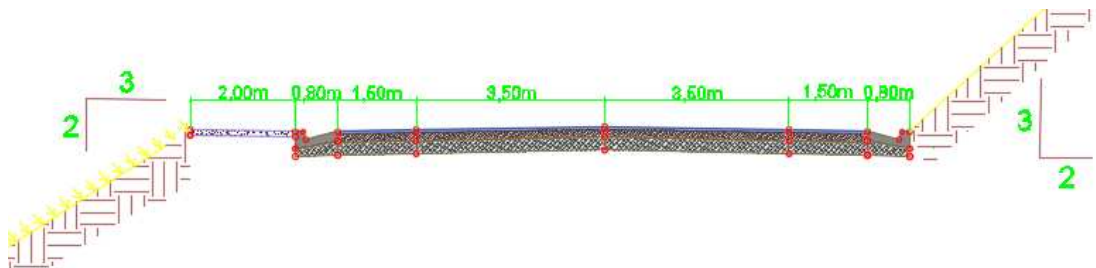


Figura 23 - Componentes da seção transversal da via proposta.

4.4.5 Estrutura do Pavimento

Para elaboração da estrutura do pavimento, foi considerado um tráfego médio com característica de via coletora adotando-se um número “N” típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão 8,2 toneladas, para um período de 10 anos (VILLIBOR et al., 2009). Além disso, foi adotado um CBR de 6% na energia do proctor normal para o subleito, como base em estudos prévios desenvolvidos no Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Viçosa, em trabalho de graduação e de pós-graduação. O resultado dessas considerações foi à estrutura representada na Figura 24.



Figura 24 – Estrutura para o pavimento da via proposta.

4.4.6 Processamento

Todo processamento das informações foi feito através do AutoCAD Civil 3D, versão 2016. As etapas do processamento compreenderam o cálculo e elaboração do:

- projeto geométrico em planta;
- Projeto geométrico em perfil; e
- projeto de terraplenagem.

4.5 Resultados e discussão

A elaboração do projeto geométrico em planta foi realizada através da posição do entroncamento entre a rodovia já existente e a via a ser construída, o ângulo formado entre as duas vias fornece os principais parâmetros de projeto, os quais foram adotados e citados na metodologia supracitada.

Segundo o DNIT (2005) o menor ângulo de interseção entre duas vias para o qual é possível manter condições adequadas de segurança é de 30° , sendo o mesmo adotado no projeto proposto, figura 25, pois proporciona menor intervenção no espaço físico local, no entanto, nessa opção aproveita-se parte de uma antiga estrada, otimizando a ocupação do terreno local (Figura 25).

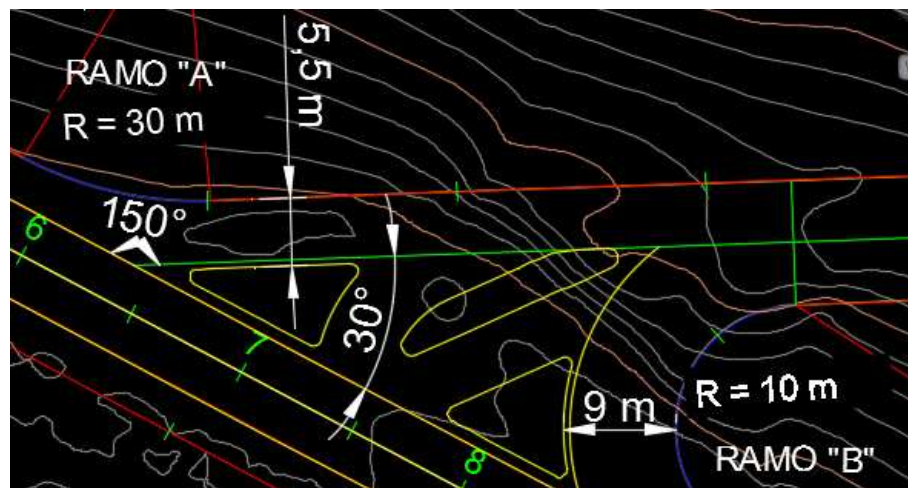


Figura 25 - Ângulo de interseção entre a rodovia MG 280 e a via coletora projetada.

O raio para elaboração do bordo da pista de acesso ao Ramo B apresenta valor pequeno devido a um ângulo agudo. Para contornar esse problema, utilizou-se uma

largura de faixa maior. Seguindo as recomendações do (DNER-MG, 2013), essas larguras de faixas foram de 9 m para o Ramo B e de 5,5 metros para o Ramo A. O Ramo A apresenta uma largura de faixa menor, pois tem um ângulo de giro maior, conforme se mostra na Figura 22.

Nos canteiros centrais, a largura de faixa, assim com as áreas das ilhas e o afastamento regular dos ramos e rodovia, foi desenvolvida através de valores tabelados e sugeridos por DNIT (2005). Além disso, foi utilizado um gabarito do veículo de projeto (CO), testando o giro em todos os ramos, garantindo a segurança e economia do projeto.

Na construção das faixas de aceleração/desaceleração para acesso à rodovia e aos ramos, foram utilizados em parte os valores sugeridos pelo DNIT (2005), porque não houve espaço suficiente para acomodação do “taper” no Ramo A e no Alargamento. Para tentar contornar a deficiência do espaço físico foram utilizadas curvas de transição para a construção das referidas faixas, que normalmente é feito através de trechos em tangentes, tornando assim o acesso as faixas de aceleração/desaceleração mais suaves e confortáveis para os motoristas. Para a construção do “taper” que dá acesso ao Ramo A, não houve restrição física, sendo que o único problema foi que o mesmo caiu sobre o trecho em curva. Segundo o DNIT (2005), quando isso acontece, é aconselhável que toda a curva seja coberta pelo “taper”, para evitar a presença de “joelhos” e extensões confusas ao motorista (Anexo 1).

Após a escolha do ângulo de interseção e definição da largura de faixa para os ramos propostos, foi traçada uma diretriz que se adequasse melhor às características locais. Observando a topografia, pôde-se ver que no local havia uma estrada vicinal desativada a algum tempo. Na tentativa de minimizar a movimentação de terra, a diretriz da via coletora, ou seja, a via que irá coletar os veículos da rodovia estadual (MG 280) para o campus universitário, foi projetada de maneira a seguir em parte o traçado da antiga estrada.

Devido ao pouco espaço físico disponível e trechos com declividades acentuadas, foi possível realizar o traçado com inserção de duas curvas circulares simples de raio de 85 m. Segundo o DNER (1999) é sempre desejável a escolha de curvas de transição, que apresentam melhor condição de conforto e segurança. No entanto, segundo o DNIT (2010) em lugares que apresentam características urbanas, ou seja, espaços restritos, pode-se lançar mão da curva de transição, já que esta ocupa uma maior área se comparada

à curva circular, devido ao espaço extra ocupado pelas espirais lançadas nesse tipo de curva.

Com relação à superelevação devido à restrição do espaço para distribuição da mesma, foram utilizados valores de mínimo absoluto sugeridos pelo DNER (1999). A primeira curva da via coletora proposta por exigência da topografia local ficou muito próxima dos ramos de acesso, Assim, o espaço para giro da pista e, conseqüentemente, normalização do abaulamento ficou comprometido, conforme Anexo 1. No entanto, usando o valor mínimo foi possível distribuir a superelevação de maneira a aumentar a segurança local, conforme apresentado na Figura 26. Nos ramos de acesso, à superelevação seguiu o valor normal do abaulamento de 2%, isto porque a velocidade de projeto para esses é baixa, em torno de 30 km/h, dispensando maiores inclinações. No acostamento, o valor da superelevação seguiu o mesmo valor da faixa de rolamento, pois se o mesmo fosse maior não haveria espaço suficiente para que se completasse o giro, conforme pode-se ver na Figura 26, em que a superelevação começa a efetuar o giro nos primeiros centímetros da via coletora.

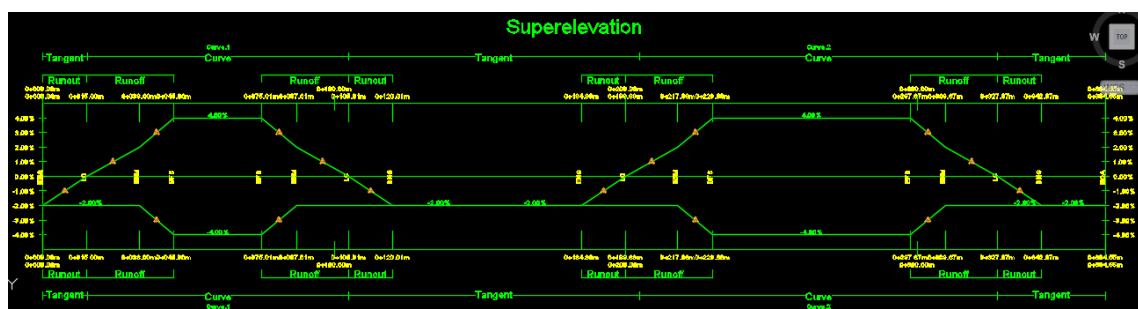


Figura 26 - Gráfico da distribuição da superelevação nas curvas 1 e 2 da Via Coletora gerado no software AutoCAD Civil 3D.

Para a elaboração do projeto geométrico em perfil, foi utilizado como base a rodovia estadual MG 280, com o estabelecimento do seu greide e, a partir deste, extração dos pontos de controle com suas referidas cotas de projeto. Para que esses pontos fossem representativos, os mesmos foram alocados de maneira sistemática nos principais locais de curvas e confluência entre as vias. Esses pontos foram rebatidos, levando-se em consideração o valor de 2% para o abaulamento, como ilustrado na Figura 27.

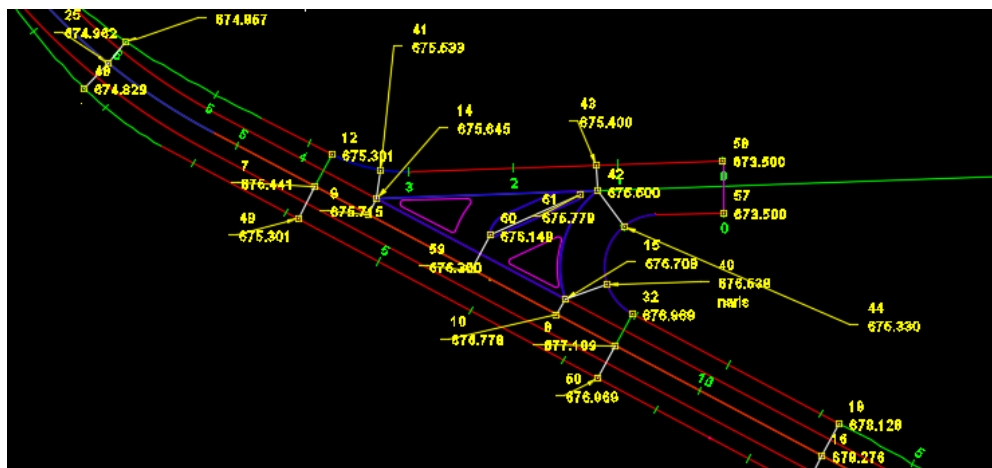


Figura 27 - Locais onde foi extraído os pontos de controle para elaboração do projeto vertical.

Diante do exposto, o número de alternativas para o traçado vertical ficou reduzido, pois os valores de abaulamento devem ser seguidos para que a segurança e o padrão técnico da via seja mantido. Para se respeitarem as cotas desses pontos de controle, foi necessário lançar um grande volume de aterro nos Ramos A e B, devido à inclinação natural do terreno e ao espaço físico limitado, fazendo com que o projeto não apresente muitas opções de mudanças, como apresentado no Anexo 2.

Além de elevar os valores de aterro, a grande diferença de cota entre a rodovia estadual MG 280 e a via coletora projetada comprometeu, também, o critério de segurança. Quanto à distância de visibilidade de parada, os critérios do DNIT (2010) sugerem um fator “K” mínimo para as curvas convexas de 2; no entanto, para os Ramos A e B não foi possível atender completamente a esta exigência, pois se assim fosse feito, os valores de abaulamento seriam mais altos, assim como os volumes de aterro, na busca de se alcançar um ponto que atendesse a ambos, os ramos foram gerados com curvas verticais convexas de fator “K” de aproximadamente de 1,6, como mostra o Anexo 2.

Mesmo adotando valores de K um pouco abaixo do sugerido pelo DNIT (2010), houve grande volume de aterro nos ramos e em parte da via coletora. Esses valores podem comprometer a viabilidade técnica e econômica do projeto, demandando obras especiais de contem. Também, foi possível observar as grandes saias de aterro e se ter uma ideia da movimentação transversal de terra como ilustrado nos Anexos 3, 4, 5 e 6 (seções transversais), especialmente para os Ramos A e B e nas primeiras estacas da via coletora.

Além de grandes volumes de aterro na via coletora, houve necessidade de se gerarem grandes volumes de corte, devido à elevada diferença de nível entre a rodovia

estadual MG 280 (cota de aproximadamente 676 m) e a via local no campus da Universidade Federal de Viçosa (cota de aproximadamente 647 m), que deve ser distribuída em um trecho pequeno da via coletora, de aproximadamente 400 m. Para minimizar essas áreas de corte, foi adotada uma inclinação de rampa de aproximadamente, 12 %. Esse valor é permitido em caso especiais, segundo o DNIT (2010), em locais montanhosos ou seja terreno que apresenta declividade superior a 20% (Anexo 2).

A Figura 28 mostra a classificação do relevo através de sua declividade no local onde o corpo estradal foi projetado, onde é possível constatar que quase toda área apresenta declividades superiores a 20%.

TABELA DE DECLIVIDADES DA SUPERFÍCIE				
Nº	% MÍNIMA	% MÁXIMA	ÁREAS (m ²) / (ha)	COR
1	0,000%	8,000%	9891,218 / 0,989	
2	8,000%	20,000%	6259,037 / 0,626	
3	20,000%	100,000%	41752,976 / 4,175	

Figura 28 - Classificação do relevo onde irá passar a via coletora projetada.

O cálculo de volume foi realizado através de comparação entre a superfície natural do terreno e a superfície gerada após as definições do projeto geométrico. Além disso, também foi feito o cálculo através das áreas geradas nas seções transversais. Em ambos os cálculos, foi aplicado um fator de homogeneização de 1,20 para correção dos aterros gerados no projeto. É recorrente encontrar valores variando de 1,15 até 1,30 a depender das características do solo (PEREIRA et al., 2001).

O volume gerado através da comparação direta entre as superfícies forneceu os valores globais de corte e aterro, ou seja, não foi possível determinar o volume em cada local específico ou por estacas. No entanto, foi possível perceber a ocorrência de um maior valor de corte, obtendo-se, respectivamente, 34.414,39 m³ e 26.808,06 m³ para corte e aterro, conforme a Figura 29.

Volume Summary							
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
superfície global	full	1.000	1.200	18518.45	34414.39	26808.06*	7606.32*

Figura 29 - Relatório gerado através da comparação do terreno natural e superfície final no software AutoCAD Civil 3D.

Esse alto volume de corte foi devido à adequação das inclinações do greide de projeto na via coletora em concordância com as normas vigentes, sendo possível confirmar observando as tabelas geradas de corte e aterro no Anexo 7. O volume total de corte para a via coletora projetada de 31.396,98 m³. Nos Anexos 8, 9 e 10 é possível se ter o volume de movimentação de terra por estaca em cada projeto.

Por fim, através do software AutoCAD Civil 3D 2016 foi possível simular várias alternativas de traçado. Para tanto, foi necessário à criação de uma “template” com configurações específicas para esse projeto de pequeno porte, que trabalha com escalas maiores. Além disso, houve necessidade de adequação das normas técnicas dentro do próprio software, em específico para cálculo da superelevação, distâncias de visibilidade de parada, ultrapassagem e luminosidade, parâmetros relacionados ao fator K e determinação do raio mínimo de projeto.

4.6 Conclusões

O software AutoCAD Civil 3D foi capaz de construir de maneira eficiente o projeto geométrico da via coletora proposta, gerando seus principais elementos. Além disso, foi capaz de simular várias alternativas de traçado auxiliando na tomada de decisão. Apesar dessas condições, é necessário realizar a adequação do referido software pelo projetista a situações específicas.

O espaço físico e a topografia local acentuada são fatores limitantes em projetos geométricos urbanos, sendo imprescindível a busca, pelo projetista, por alternativas viáveis e adequação dos projetos a esses limitantes.

Em alguns locais, as inclinações de rampas prescritas na norma técnica vigente tornam inviáveis projetos geométricos que buscam a melhoria da infraestrutura local, assim, os mesmos devem ser revistos e ajustados às situações específicas.

Em locais urbanos as faixas de aceleração/desaceleração apresentam extensões descritas por normas técnicas muitas vezes impraticáveis, sendo que o planejamento e o estudo prévio para lançamento e desenvolvimento desses elementos são imprescindíveis.

A superelevação demanda extensões consideráveis para locais com espaço restrito. No entanto, é um elemento fundamental para o conforto e segurança do motorista. Sempre que possível, deve-se procurar métodos que aperfeiçoem a utilização do espaço por este elemento geométrico.

Deve-se buscar, sempre que possível nos projetos geométricos a utilização dos recursos locais e a adequação do projeto à topografia local, visando uma menor movimentação de terra, e, conseqüentemente, incluir em menor custo e impacto ao meio ambiente.

Referências bibliográficas

AASHTO. **A policy on geometric design of highways and streets**. Washington, D.C.: American Association of State Highway And Transportation Officials: 2011. 912 p.

ANTAS, P. M., ÁLVARO, V., GONÇALO, E. A., LOPES, L. A. S. **Estradas - Projeto Geométrico e de Terraplanagem**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 2010. 262p.

CARVALHO, C. A. B. **Caderno Didático Nº 108: Projeto Geométrico de Estradas (Concordância Horizontal e Vertical)**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 80 p

COELHO, M. D. **Análise e Sugestões para Projetos Geométricos de Rótulas Modernas em Vias Urbanas**. 2012. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS- DER-MG - **Recomendação Técnica**. Belo Horizonte: Assessoria Técnica, 2013. 61 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 1999. 195 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT -. **Manual de Projeto de Interseções**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005. 532 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT -. **Manual de Projeto de Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Publicação 740, 2010. 390 p.

PEREIRA, D. M., RATTON, E., BLASI, G.F., PPEREIRA, M. A., KUSTER FILHO, W. **Projeto Geométrico de Rodovias**. Paraná: Diretório Acadêmico de Engenharia Civil, 2001. 108p.

PIMENTA, C. R. T., OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. São Carlos: 2. ed.SP: Rima Editora, 2004. 198 p.

PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem Projeto Geométrico**. São Carlos: Bidim, 1998. 432 p.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de projetos Rodoviários**. São Paulo: Editora PINI Ltda, 1ª Edição, 2008. 759p.

VILLIBOR, D. F., NOGAMI, J. S., CINCERRE, J. R., SERRA, P. R. M., NETO, A. Z. **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas**. São Paulo: 2ª Edição Arte & Ciência, 2009. 193 p.

5

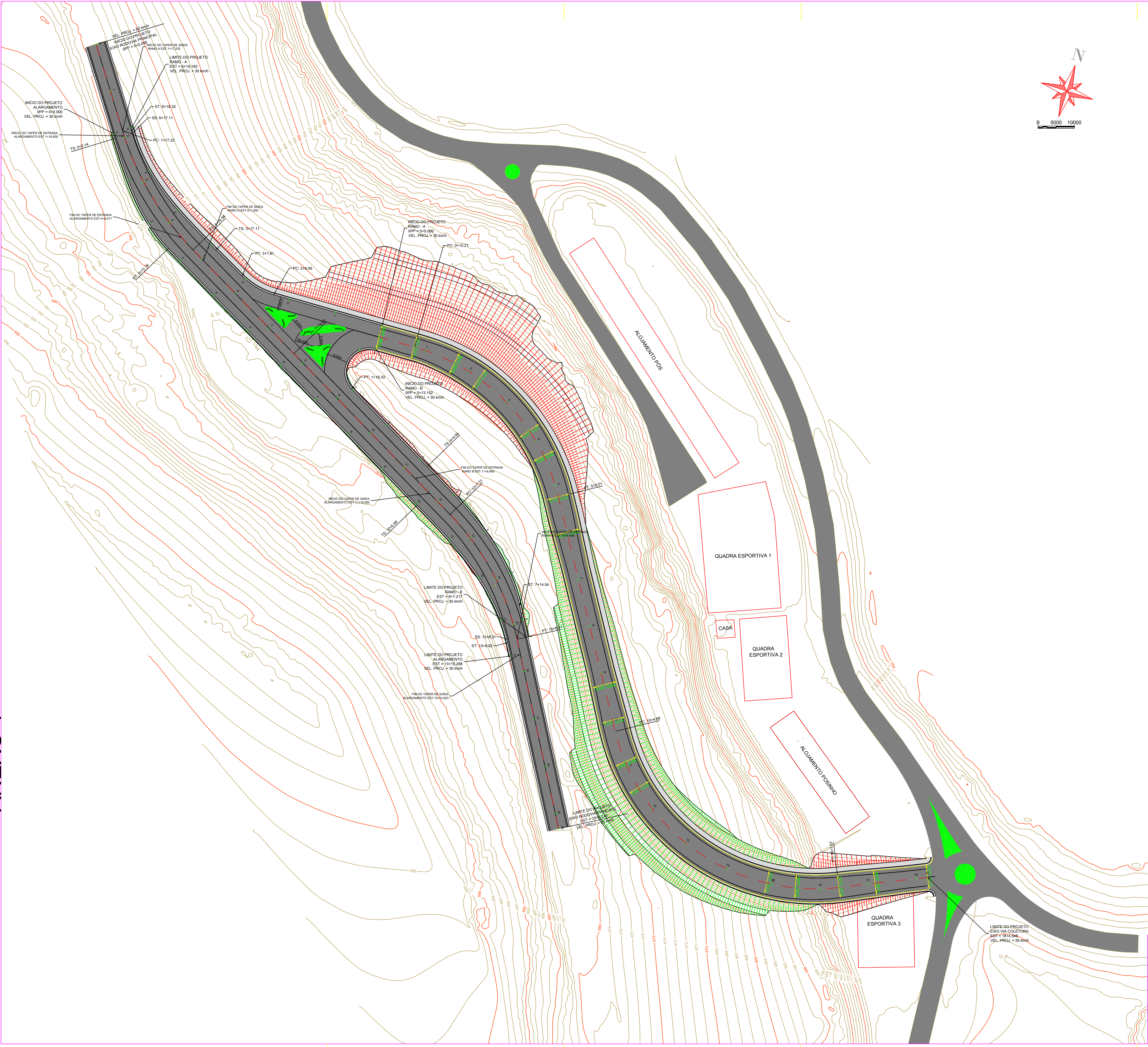
CONCLUSÕES GERAIS

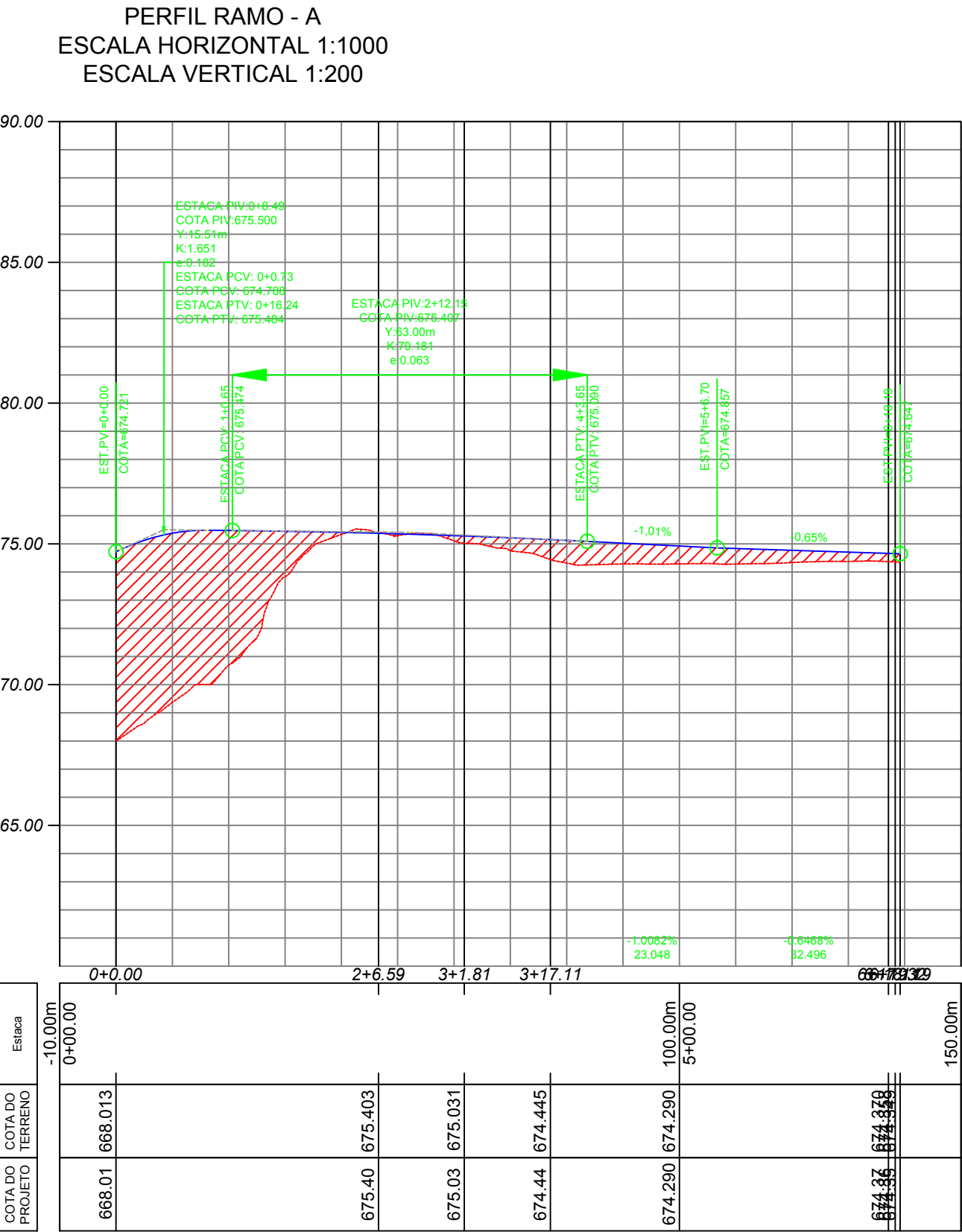
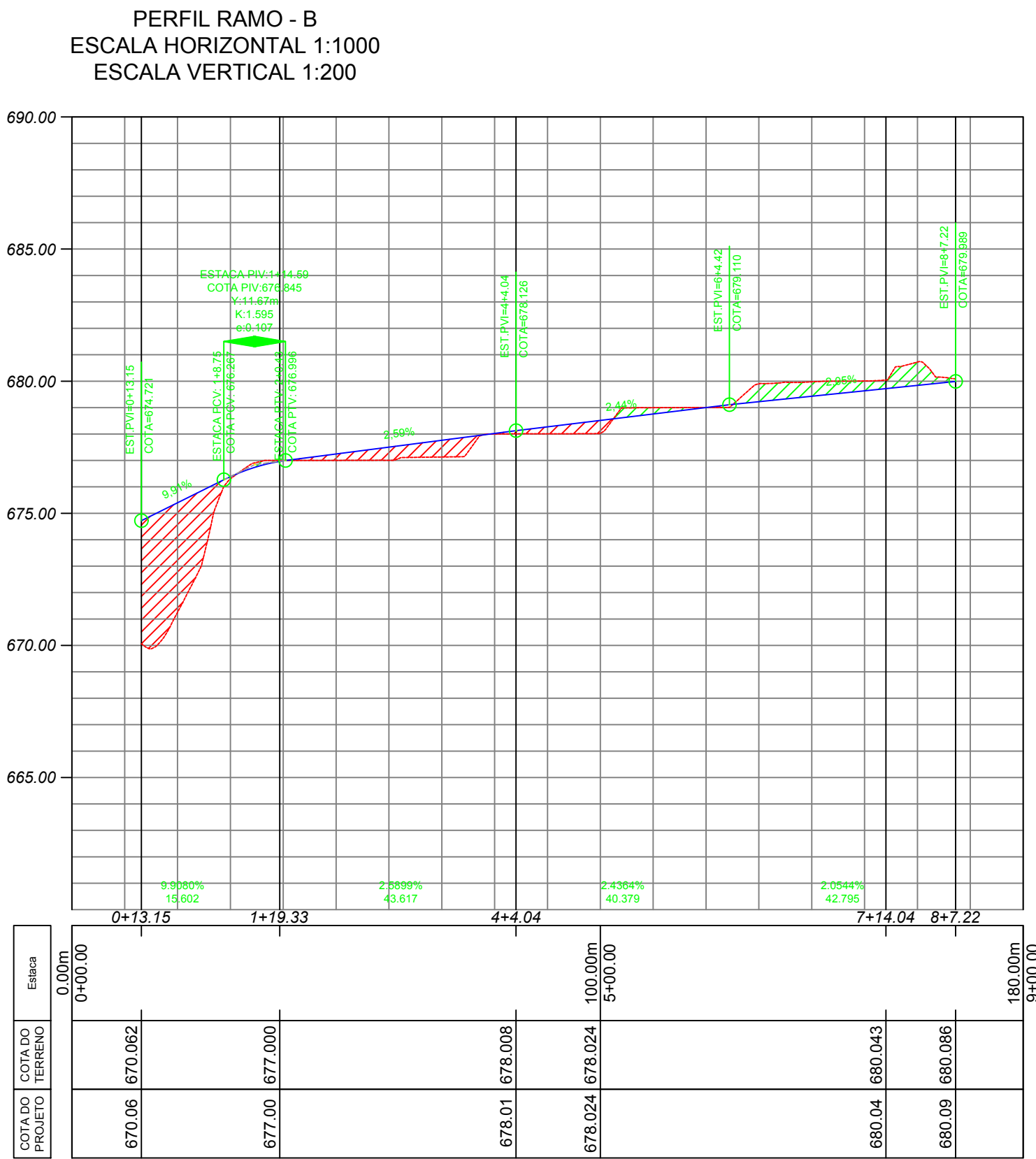
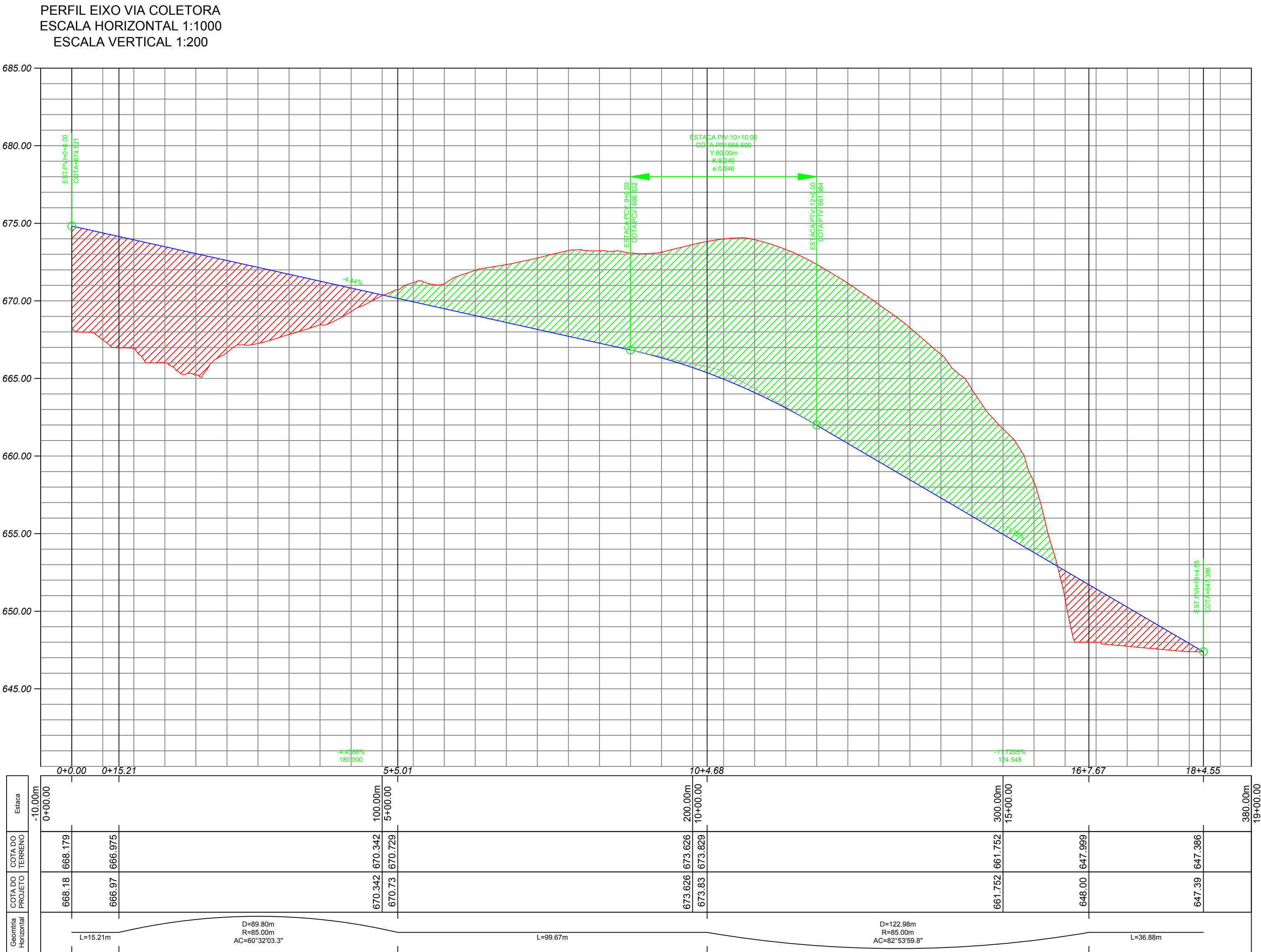
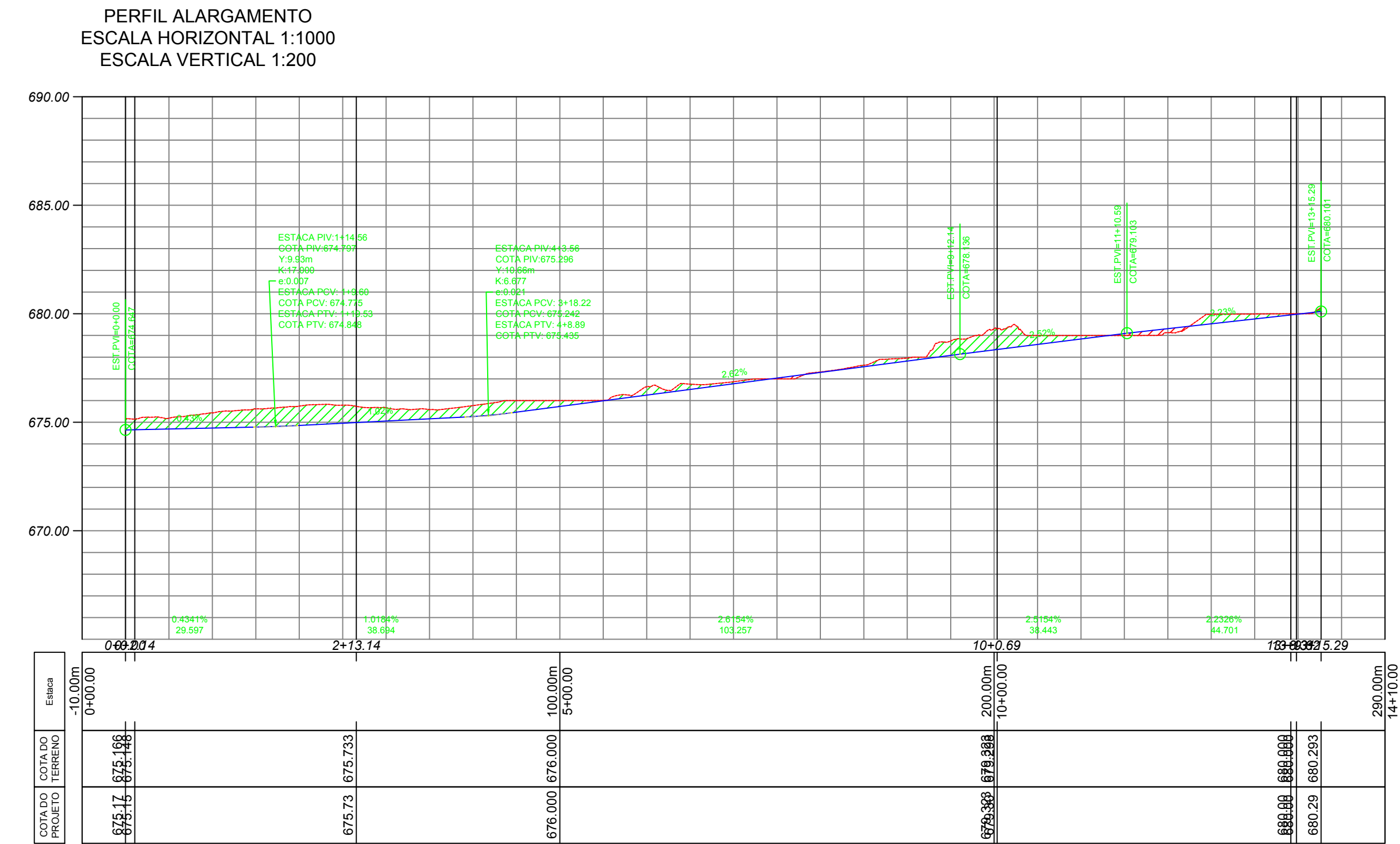
Com base nos estudos e observações apresentados nos estudos realizados, apresentam-se as seguintes conclusões:

- o processamento dos dados oriundos do equipamento LST mostrou falhas para locais com grande presença de vegetação. O SIG ArcGis mostrou ser uma importante ferramenta para o processamento e melhoria dos dados oriundos do equipamento LST para essas condições. O interpolador que mostrou melhor resposta para as características do projeto geométrico da via proposta foi o Natural neighbor, associado ao filtro estatístico que usou os valores vizinhos de média.
- o equipamento LST mostrou potencial para a utilização em projetos geométricos de estrada, desde que essa tecnologia seja associada à topografia convencional em áreas que apresente vegetação densa.
- a análise comparativa entre os programas computacionais TCP-MDT, AutoCAD Civil 3D e TopoGRAPH apresentou diferenças para o cálculo da superlargura e superelevação. Para a superlargura os melhores resultados foram obtidos pelo TopoGRAPH e TCP-MDT. Na comparação da superelevação, os melhores resultados foram obtidos pelos programas computacionais AutoCAD Civil 3D e TCP-MDT.
- os programas computacionais TopoGRAPH, TCP-MDT e AutoCAD Civil 3D podem ser usados em conformidade com as normas técnicas brasileiras. Contudo, o projetista deve estar atento à regularização e à padronização dos resultados gerados nos referidos programas computacionais.

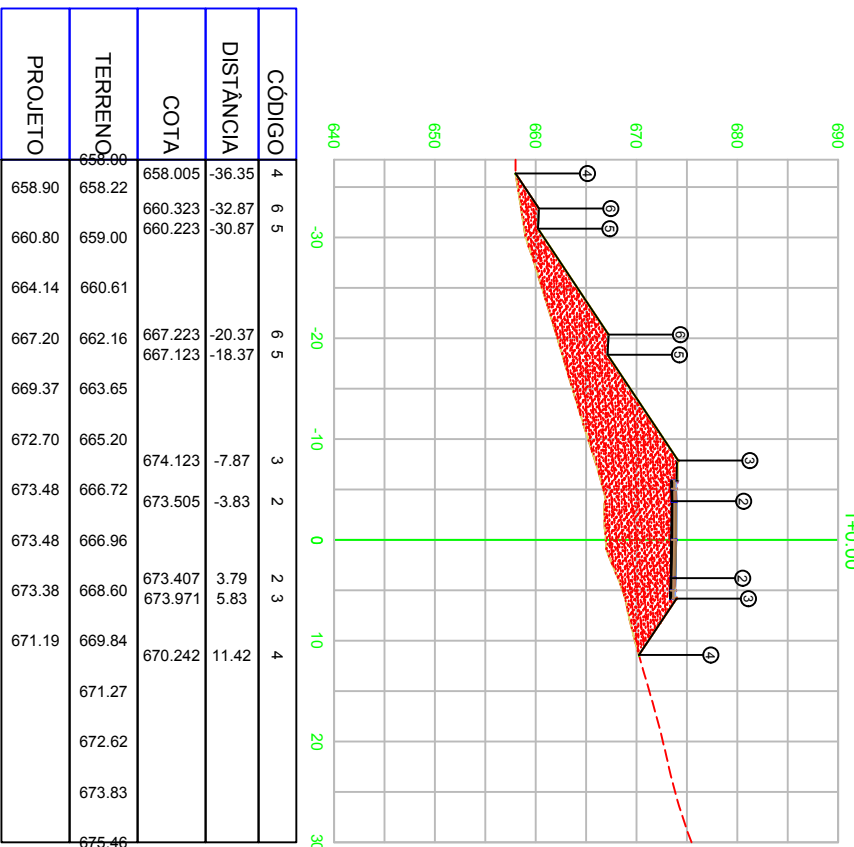
- a restrição do espaço físico associado a topografia tornam-se fatores desafiantes para o projetista no meio urbano, que deve buscar alternativas viáveis, sendo essas muitas vezes não contempladas pelas normas técnicas vigentes.
- o programa computacional AutoCAD CIVIL 3D foi capaz de realizar uma série de simulações de maneira rápida e eficiente. Isso auxiliou a tomada de decisão e minimizou erros decorrentes da escolha pela melhor solução. Além disso, esse programa computacional permitiu de maneira eficiente o cálculo e mudanças de variáveis durante a elaboração do projeto geométrico da via coletora proposta, permitindo adequação das variáveis de projeto às condições locais.

ANEXOS

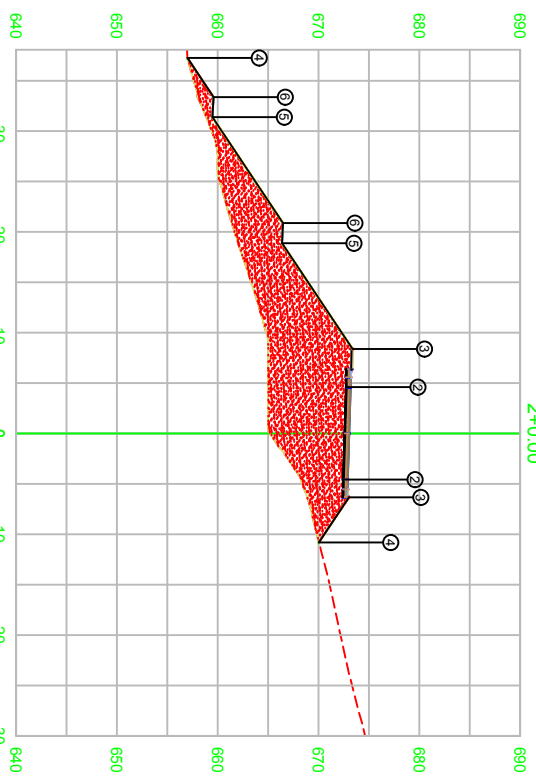
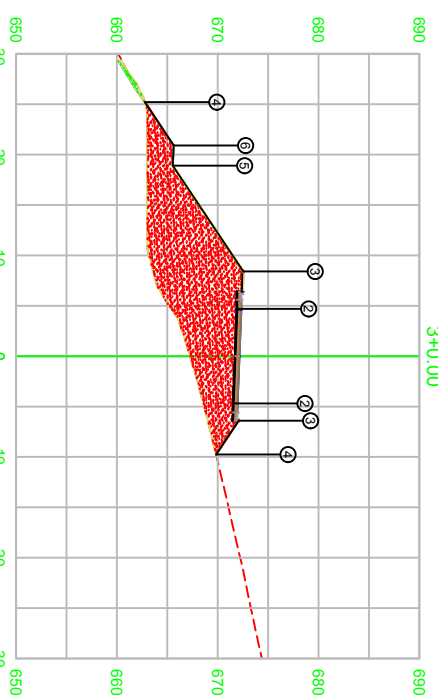




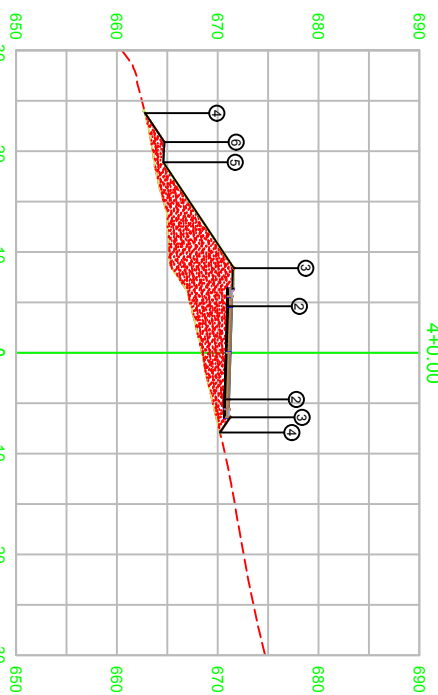
ANEXO 3



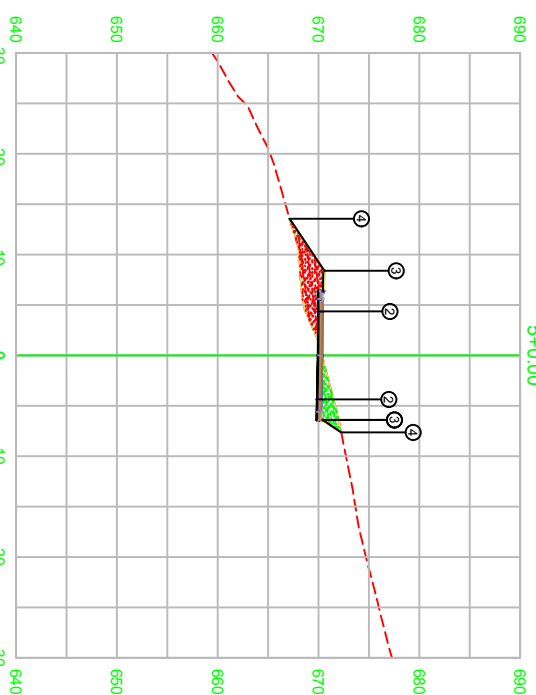
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROFETO
1	37.26	256.993	669.99	658.50
2	33.38	259.581	667.63	660.40
3	31.38	259.481	669.41	663.73
4	20.88	666.481	663.73	666.44
5	18.88	666.381	663.33	668.97
6	-8.38	673.381	664.81	672.30
7	-4.60	672.741	665.00	672.73
8	10.81	670.031	665.20	672.60
9	4.56	672.451	668.44	672.44
10	5.34	673.013	669.84	670.57
11			671.19	672.18
12			673.33	673.33

[illegible]

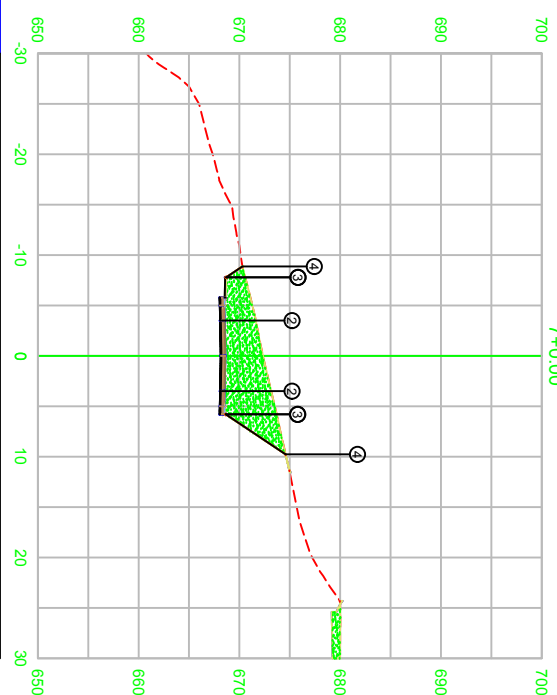
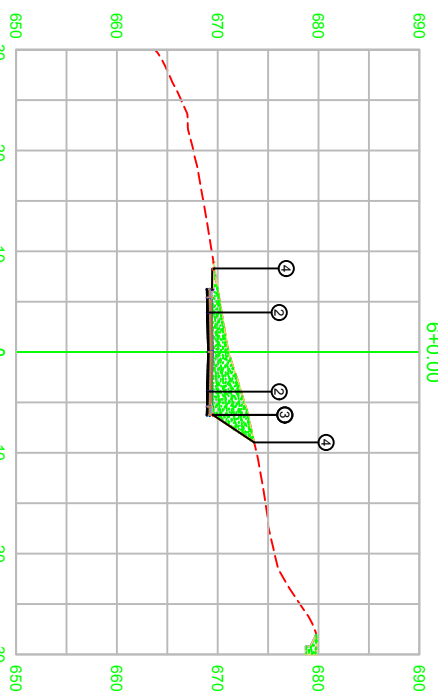
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
4	23.78	662.78	669.46	
5	-20.90	664.706	663.55	664.66
6	-18.90	664.606	664.64	667.21
7	-8.40	671.906	665.17	670.54
8	-4.62	670.967	666.72	670.96
9	4.82	670.674	669.52	670.82
10	6.40	671.326	670.72	670.82
11	7.91	670.226	671.69	672.56
12			673.58	673.58
13			674.29	674.29



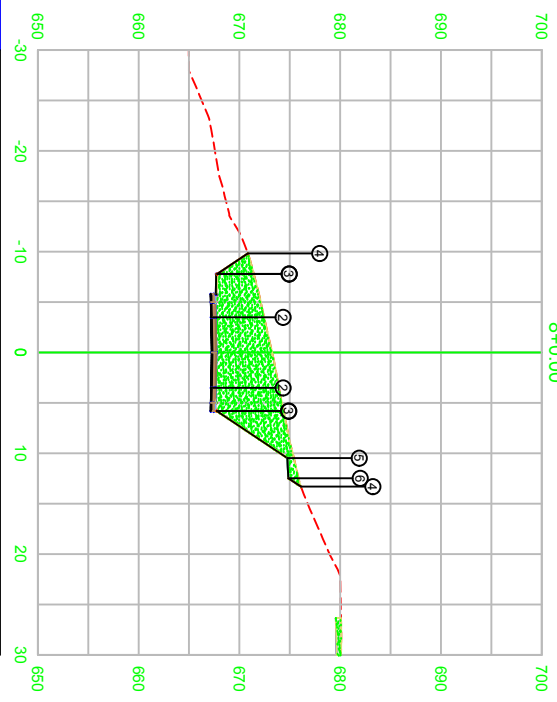
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
4	13.56	667.134	668.46	
5	-8.40	670.575	662.71	665.51
2	-4.36	669.957	665.20	669.94
2	4.36	669.945	668.05	
7	6.40	670.588	669.93	669.94
2	6.23	672.250	671.65	669.93
7	6.23	672.250	672.73	
			673.66	
			674.71	
			675.98	
			677.23	



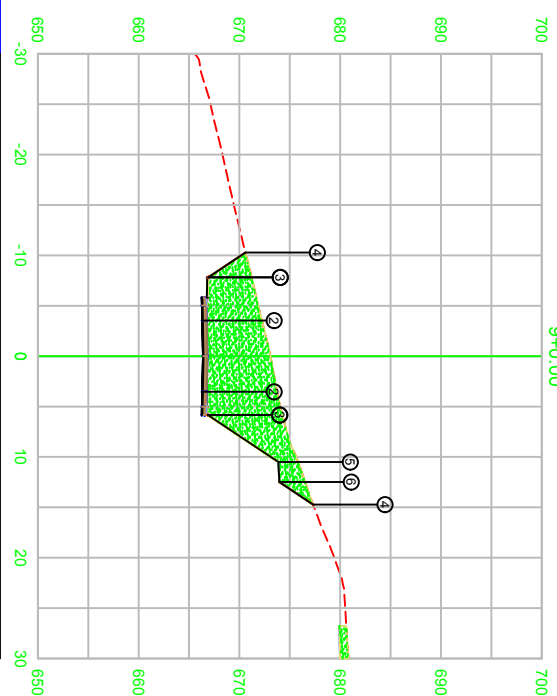
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
			667.75	
			666.38	
			667.58	
			668.57	
			669.41	
668.94	669.673	-8.30	670.21	
	668.966	-3.93	671.09	
669.04			672.65	
	668.966	3.93	673.86	
668.94	669.924	6.23		
	673.623	8.96		
			674.75	
			675.64	
			676.16	
			679.34	



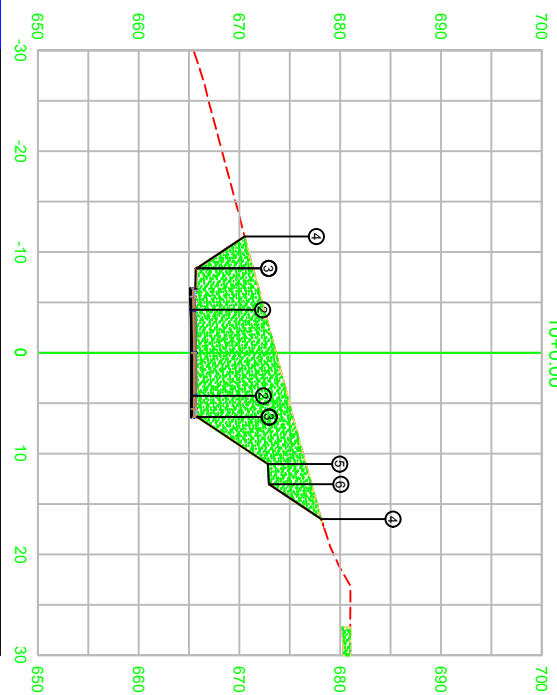
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
1	-0.80	669.76	669.76	
2	-3.00	668.08	668.00	
3	5.80	668.08	667.35	
4	9.76	674.582	669.17	
			670.12	
			671.29	668.00
			672.34	668.16
			673.51	668.00
			674.64	674.63
			675.69	
			677.23	
			680.00	679.81
			679.96	679.24



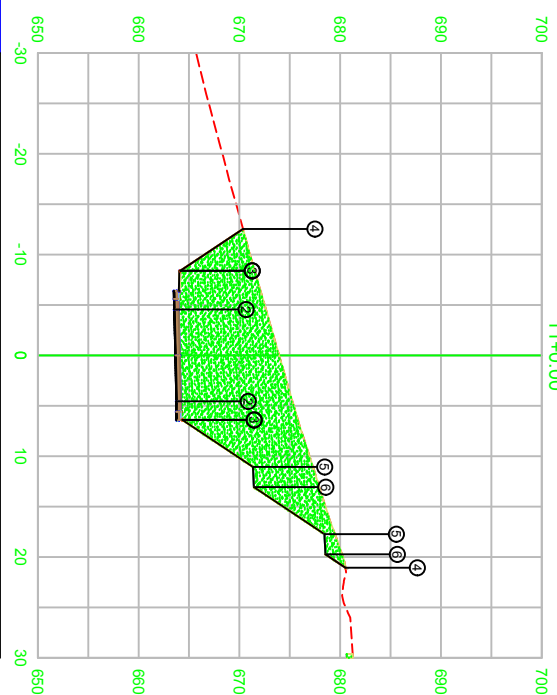
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
604.06				
			606.26	
			607.58	
			608.67	
607.77	670.77	670.77		
607.27	672.12	672.12		
607.27	673.24	673.24		
607.17	674.22	674.22		
674.06	675.29	675.29		
	676.77	676.77		
	678.95	678.95		
	680.06	680.06		



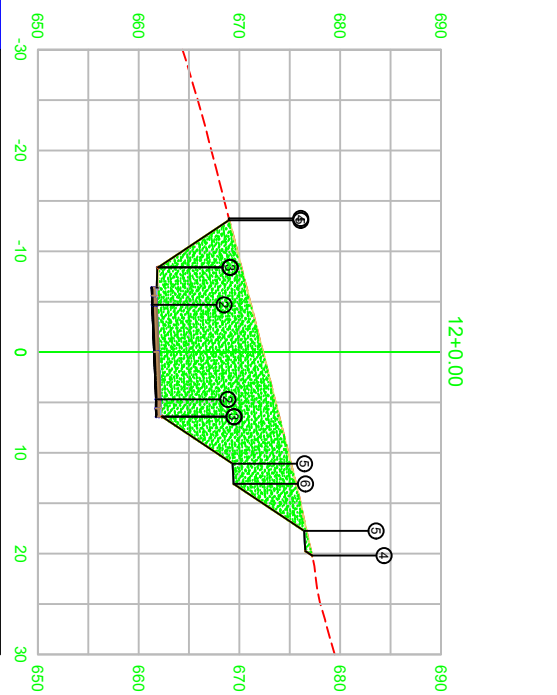
CODIGO	COTIA	DISTANCIA	PROLETO
607.10	607.12		
608.20	608.32		
609.40	609.45		
610.10	610.15		
611.20	611.25		
612.30	612.35		
613.40	613.45		
614.50	614.55		
615.60	615.65		
616.70	616.75		
617.80	617.85		
618.90	618.95		
619.00	619.05		
620.10	620.15		
621.20	621.25		
622.30	622.35		
623.40	623.45		
624.50	624.55		
625.60	625.65		
626.70	626.75		
627.80	627.85		
628.90	628.95		
629.00	629.05		
630.10	630.15		
631.20	631.25		
632.30	632.35		
633.40	633.45		
634.50	634.55		
635.60	635.65		
636.70	636.75		
637.80	637.85		
638.90	638.95		
639.00	639.05		
640.10	640.15		
641.20	641.25		
642.30	642.35		
643.40	643.45		
644.50	644.55		
645.60	645.65		
646.70	646.75		
647.80	647.85		
648.90	648.95		
649.00	649.05		
650.10	650.15		
651.20	651.25		
652.30	652.35		
653.40	653.45		
654.50	654.55		
655.60	655.65		
656.70	656.75		
657.80	657.85		
658.90	658.95		
659.00	659.05		
660.10	660.15		
661.20	661.25		
662.30	662.35		
663.40	663.45		
664.50	664.55		
665.60	665.65		
666.70	666.75		
667.80	667.85		
668.90	668.95		
669.00	669.05		
670.10	670.15		
671.20	671.25		
672.30	672.35		
673.40	673.45		
674.50	674.55		
675.60	675.65		
676.70	676.75		
677.80	677.85		
678.90	678.95		
679.00	679.05		
680.10	680.15		
681.20	681.25		
682.30	682.35		
683.40	683.45		
684.50	684.55		
685.60	685.65		
686.70	686.75		
687.80	687.85		
688.90	688.95		
689.00	689.05		
690.10	690.15		
691.20	691.25		
692.30	692.35		
693.40	693.45		
694.50	694.55		
695.60	695.65		
696.70	696.75		
697.80	697.85		
698.90	698.95		
699.00	699.05		
700.10	700.15		
701.20	701.25		
702.30	702.35		
703.40	703.45		
704.50	704.55		
705.60	705.65		
706.70	706.75		
707.80	707.85		
708.90	708.95		
709.00	709.05		
710.10	710.15		
711.20	711.25		
712.30	712.35		
713.40	713.45		
714.50	714.55		
715.60	715.65		
716.70	716.75		
717.80	717.85		
718.90	718.95		
719.00	719.05		
720.10	720.15		
721.20	721.25		
722.30	722.35		
723.40	723.45		
724.50	724.55		
725.60	725.65		
726.70	726.75		
727.80	727.85		
728.90	728.95		
729.00	729.05		
730.10	730.15		
731.20	731.25		
732.30	732.35		
733.40	733.45		
734.50	734.55		
735.60	735.65		
736.70	736.75		
737.80	737.85		
738.90	738.95		
739.00	739.05		
740.10	740.15		
741.20	741.25		
742.30	742.35		
743.40	743.45		
744.50	744.55		
745.60	745.65		
746.70	746.75		
747.80	747.85		
748.90	748.95		
749.00	749.05		
750.10	750.15		
751.20	751.25		
752.30	752.35		
753.40	753.45		
754.50	754.55		
755.60	755.65		
756.70	756.75		
757.80	757.85		
758.90	758.95		
759.00	759.05		
760.10	760.15		
761.20	761.25		
762.30	762.35		
763.40	763.45		
764.50	764.55		
765.60	765.65		
766.70	766.75		
767.80	767.85		
768.90	768.95		
769.00	769.05		
770.10	770.15		
771.20	771.25		
772.30	772.35		
773.40	773.45		
774.50	774.55		
775.60	775.65		
776.70	776.75		
777.80	777.85		
778.90	778.95		
779.00	779.05		
780.10	780.15		
781.20	781.25		
782.30	782.35		
783.40	783.45		
784.50	784.55		
785.60	785.65		
786.70	786.75		
787.80	787.85		
788.90	788.95		
789.00	789.05		
790.10	790.15		
791.20	791.25		
792.30	792.35		
793.40	793.45		
794.50	794.55		
795.60	795.65		
796.70	796.75		
797.80	797.85		
798.90	798.95		
799.00	799.05		
800.10	800.15		
801.20	801.25		
802.30	802.35		
803.40	803.45		
804.50	804.55		
805.60	805.65		
806.70	806.75		
807.80	807.85		
808.90	808.95		
809.00	809.05		
810.10	810.15		
811.20	811.25		
812.30	812.35		
813.40	813.45		
814.50	814.55		
815.60	815.65		
816.70	816.75		
817.80	817.85		
818.90	818.95		
819.00	819.05		
820.10	820.15		
821.20	821.25		
822.30	822.35		
823.40	823.45		
824.50	824.55		
825.60	825.65		
826.70	826.75		
827.80	827.85		
828.90	828.95		
829.00	829.05		
830.10	830.15		
831.20	831.25		
832.30	832.35		
833.40	833.45		
834.50	834.55		
835.60	835.65		
836.70	836.75		
837.80	837.85		
838.90	838.95		
839.00	839.05		
840.10	840.15		
841.20	841.25		
842.30	842.35		
843.40	843.45		
844.50	844.55		
845.60	845.65		
846.70	846.75		
847.80	847.85		
848.90	848.95		
849.00	849.05		
850.10	850.15		
851.20	851.25		
852.30	852.35		
853.40	853.45		
854.50	854.55		
855.60	855.65		
856.70	856.75		
857.80	857.85		
858.90	858.95		
859.00	859.05		
860.10	860.15		
861.20	861.25		
862.30	862.35		
863.40	863.45		
864.50	864.55		
865.60	865.65		
866.70	866.75		
867.80	867.85		
868.90	868.95		
869.00	869.05		
870.10	870.15		
871.20	871.25		
872.30	872.35		
873.40	873.45		
874.50	874.55		
875.60	875.65		
876.70	876.75		
877.80	877.85		
878.90	878.95		
879.00	879.05		
880.10	880.15		
881.20	881.25		
882.30	882.35		
883.40	883.45		
884.50	884.55		
885.60	885.65		
886.70	886.75		
887.80	887.85		
888.90	888.95		
889.00	889.05		
890.10	890.15		
891.20	891.25		
892.30	892.35		
893.40	893.45		
894.50	894.55		
895.60	895.65		
896.70	896.75		
897.80	897.85		
898.90	898.95		
899.00	899.05		
900.10	900.15		
901.20	901.25		
902.30	902.35		
903.40	903.45		
904.50	904.55		
905.60	905.65		
906.70	906.75		
907.80	907.85		
908.90	908.95		
909.00	909.05		
910.10	910.15		
911.20	911.25		
912.30	912.35		
913.40	913.45		
914.50	914.55		
915.60	915.65		
916.70	916.75		
917.80	917.85		
918.90	918.95		
919.00	919.05		
920.10	920.15		
921.20	921.25		
922.30	922.35		
923.40	923.45		
924.50	924.55		
925.60	925.65		
926.70	926.75		
927.80	927.85		
928.90	928.95		
929.00	929.05		
930.10	930.15		
931.20	931.25		
932.30	932.35		
933.40	933.45		
934.50	934.55		
935.60	935.65		
936.70	936.75		
937.80	937.85		
938.90	938.95		
939.00	939.05		
940.10	940.15		
941.20	941.25		
942.30	942.35		
943.40	943.45		
944.50	944.55		
945.60	945.65		
946.70	946.75		
947.80	947.85		
948.90	948.95		
949.00	949.05		
950.10	950.15		
951.20	951.25		
952.30	952.35		
953.40	953.45		
954.50	954.55		
955.60	955.65		
956.70	956.75		
957.80	957.85		
958.90	958.95		
959.00	959.05		
960.10	960.15		
961.20	961.25		
962.30	962.35		
963.40	963.45		
964.50	964.55		
965.60	965.65		
966.70	966.75		
967.80	967.85		
968.90	968.95		
969.00	969.05		
97			



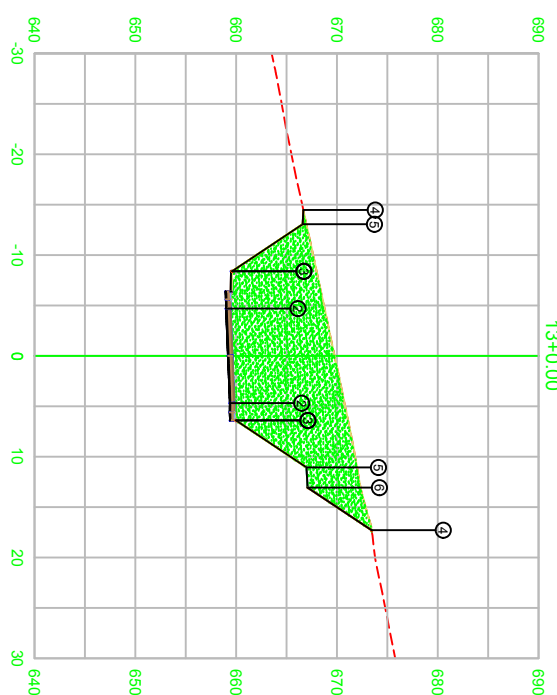
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
4	-11.53	670.511	665.46	
3	-8.37	665.768	666.94	
2	-4.27	666.166	668.27	
1			669.61	
			670.92	668.21
			672.63	665.15
			673.27	666.25
			674.97	665.24
			676.29	671.27
			677.70	675.87
			679.36	
			681.01	
			682.66	
			684.31	



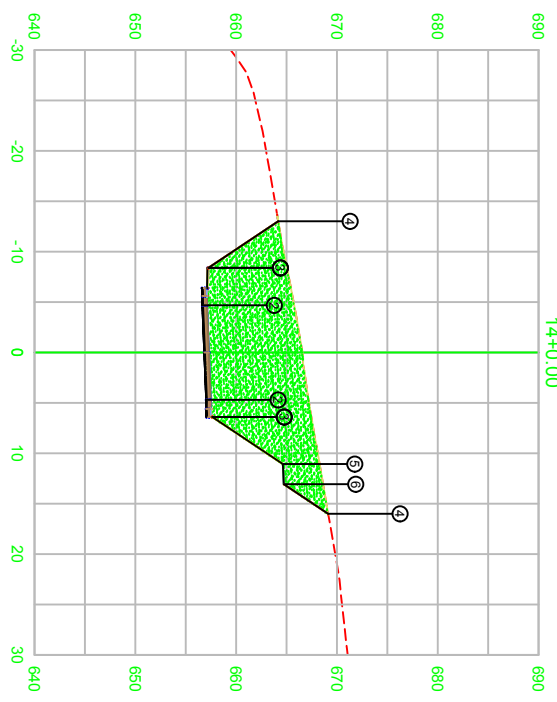
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROFLO
1	-12.55	670.358	669.34	
2	-8.40	664.133	667.05	
3	-4.56	663.520	666.52	
4			669.68	
5			671.05	
6			673.94	
7	4.56	663.743	663.73	
8	6.40	664.336	663.73	
9	11.07	671.336	669.74	
10	13.07	671.436	674.34	
11	17.73	678.436	674.34	
12	19.73	678.536	678.94	
13	21.56	680.345	680.54	
14			684.54	



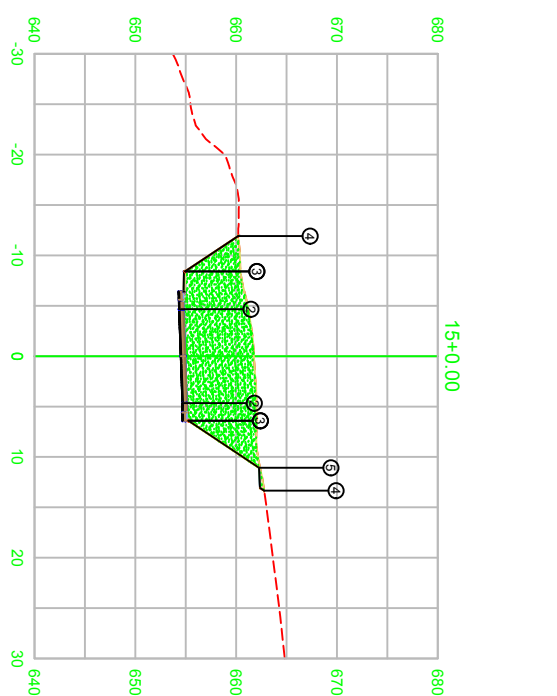
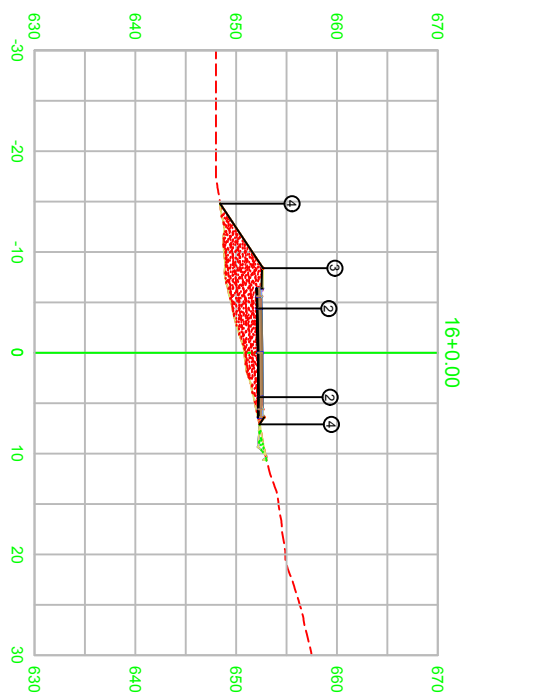
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PRODUTO
6	-13.00	666.94	667.36	664.34
7	-8.40	661.94	669.80	661.34
8	-4.89	661.34	671.08	661.53
9		661.72	673.59	661.72
10	4.00	661.72	673.59	661.72
11	8.40	661.72	673.59	661.72
12	13.07	661.72	673.59	661.72
13	17.73	661.72	673.59	661.72
14	20.19	661.72	673.59	661.72
15		661.72	673.59	661.72
16		661.72	673.59	661.72
17		661.72	673.59	661.72
18		661.72	673.59	661.72
19		661.72	673.59	661.72
20		661.72	673.59	661.72
21		661.72	673.59	661.72
22		661.72	673.59	661.72
23		661.72	673.59	661.72
24		661.72	673.59	661.72
25		661.72	673.59	661.72
26		661.72	673.59	661.72
27		661.72	673.59	661.72
28		661.72	673.59	661.72
29		661.72	673.59	661.72
30		661.72	673.59	661.72
31		661.72	673.59	661.72
32		661.72	673.59	661.72
33		661.72	673.59	661.72
34		661.72	673.59	661.72
35		661.72	673.59	661.72
36		661.72	673.59	661.72
37		661.72	673.59	661.72
38		661.72	673.59	661.72
39		661.72	673.59	661.72
40		661.72	673.59	661.72
41		661.72	673.59	661.72
42		661.72	673.59	661.72
43		661.72	673.59	661.72
44		661.72	673.59	661.72
45		661.72	673.59	661.72
46		661.72	673.59	661.72
47		661.72	673.59	661.72
48		661.72	673.59	661.72
49		661.72	673.59	661.72
50		661.72	673.59	661.72
51		661.72	673.59	661.72
52		661.72	673.59	661.72
53		661.72	673.59	661.72
54		661.72	673.59	661.72
55		661.72	673.59	661.72
56		661.72	673.59	661.72
57		661.72	673.59	661.72
58		661.72	673.59	661.72
59		661.72	673.59	661.72
60		661.72	673.59	661.72
61		661.72	673.59	661.72
62		661.72	673.59	661.72
63		661.72	673.59	661.72
64		661.72	673.59	661.72
65		661.72	673.59	661.72
66		661.72	673.59	661.72
67		661.72	673.59	661.72
68		661.72	673.59	661.72
69		661.72	673.59	661.72
70		661.72	673.59	661.72
71		661.72	673.59	661.72
72		661.72	673.59	661.72
73		661.72	673.59	661.72
74		661.72	673.59	661.72
75		661.72	673.59	661.72
76		661.72	673.59	661.72
77		661.72	673.59	661.72
78		661.72	673.59	661.72
79		661.72	673.59	661.72
80		661.72	673.59	661.72
81		661.72	673.59	661.72
82		661.72	673.59	661.72
83		661.72	673.59	661.72
84		661.72	673.59	661.72
85		661.72	673.59	661.72
86		661.72	673.59	661.72
87		661.72	673.59	661.72
88		661.72	673.59	661.72
89		661.72	673.59	661.72
90		661.72	673.59	661.72
91		661.72	673.59	661.72
92		661.72	673.59	661.72
93		661.72	673.59	661.72
94		661.72	673.59	661.72
95		661.72	673.59	661.72
96		661.72	673.59	661.72
97		661.72	673.59	661.72
98		661.72	673.59	661.72
99		661.72	673.59	661.72
100		661.72	673.59	661.72



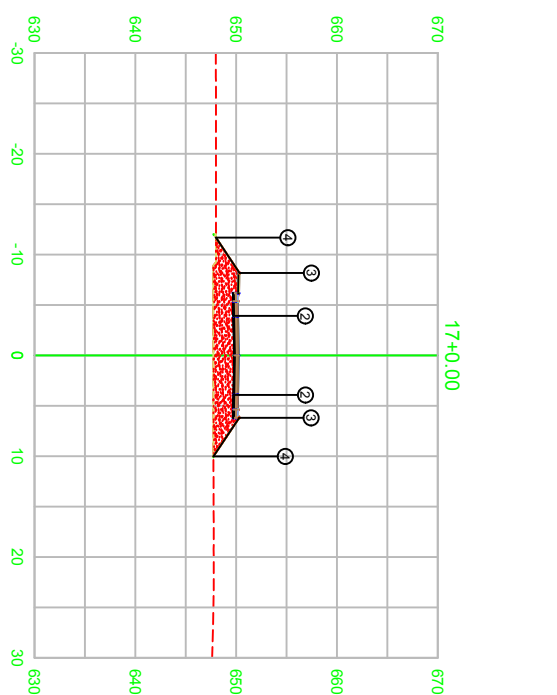
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROYECTO
4 5	-14.47	666.670	663.63	
3	-13.07	666.600	664.52	
2	-8.40	659.000	665.49	
1	-4.99	659.002	666.56	
2 3	4.68	659.377	667.64	662.00
2 4	6.98	659.002	668.70	659.00
3 5	11.07	666.983	671.91	665.38
4	13.07	673.427	672.84	669.98
	17.30		673.78	
			674.80	
			675.78	



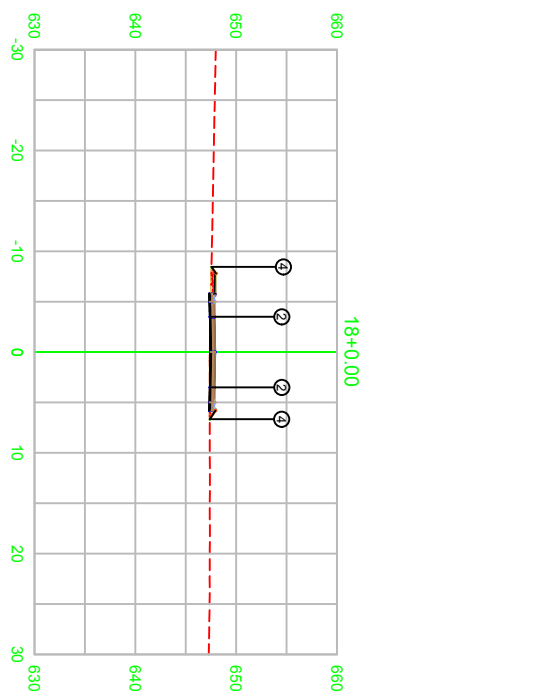
CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
4	13.01	664.177	665.46	
5	-8.40	657.256	661.91	
2	-4.89	656.585	662.97	
2			663.85	
2	4.69	657.033	664.72	659.68
3	6.40	657.630	664.72	656.65
5	11.07	664.639	665.67	
6	13.07	664.739	667.23	657.03
4	15.99	669.131	668.10	663.04
			668.95	667.64
			669.83	
			670.50	
			671.03	

[illegible]

CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROJETO
4	-14.79	648.416	648.00	651.61
3	-8.40	652.673	648.81	652.06
2	-4.40	650.071	649.51	652.16
2	4.40	652.315	651.86	652.18
2	7.09		652.89	652.79
			654.20	
			654.68	
			656.31	
			657.49	

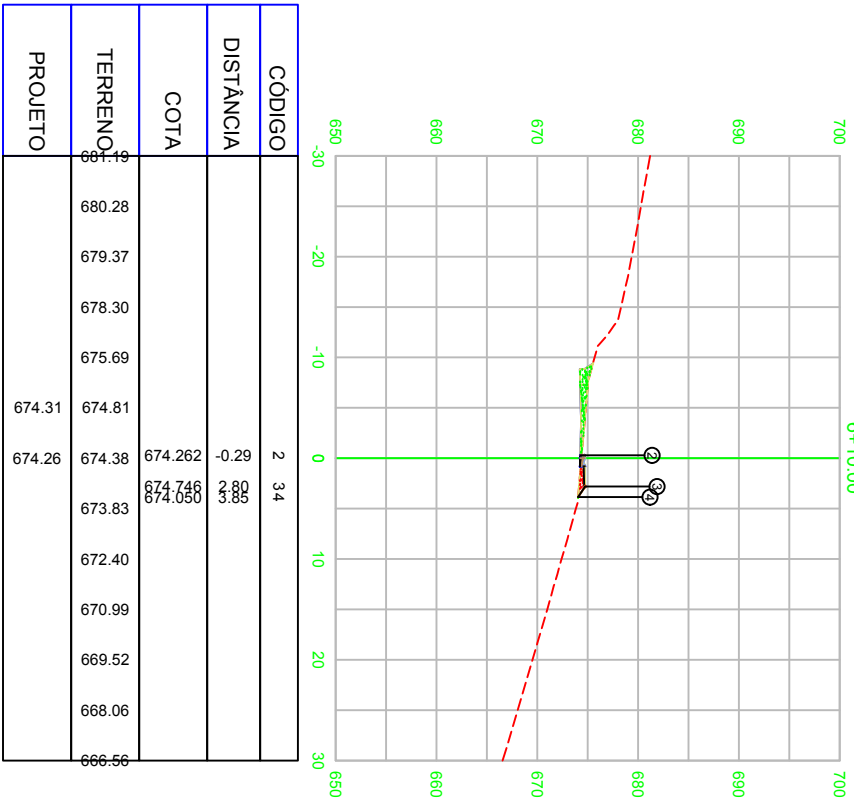
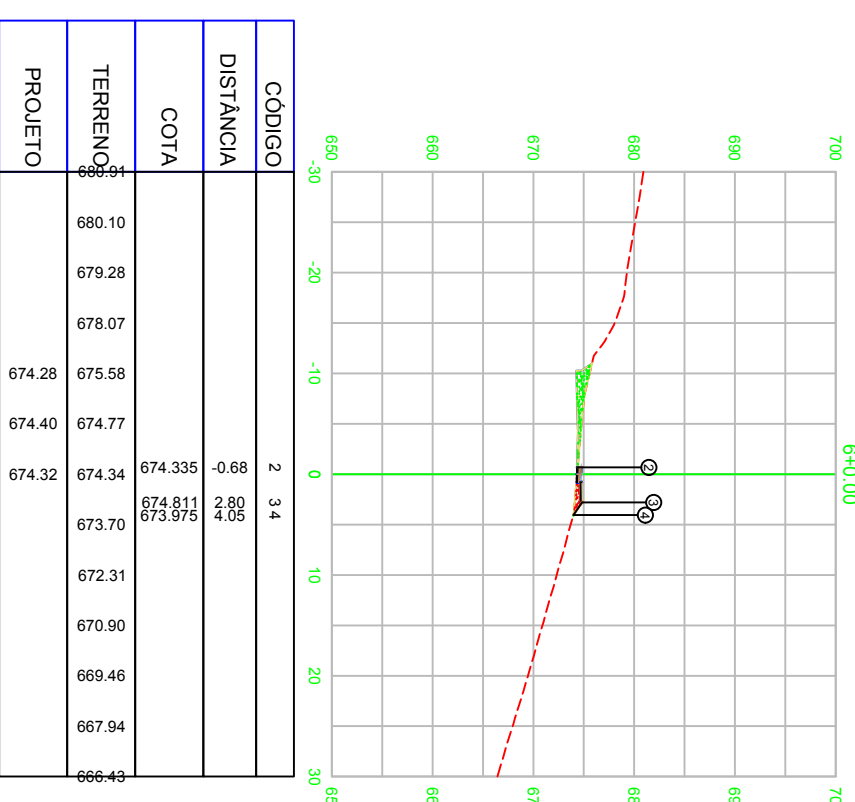
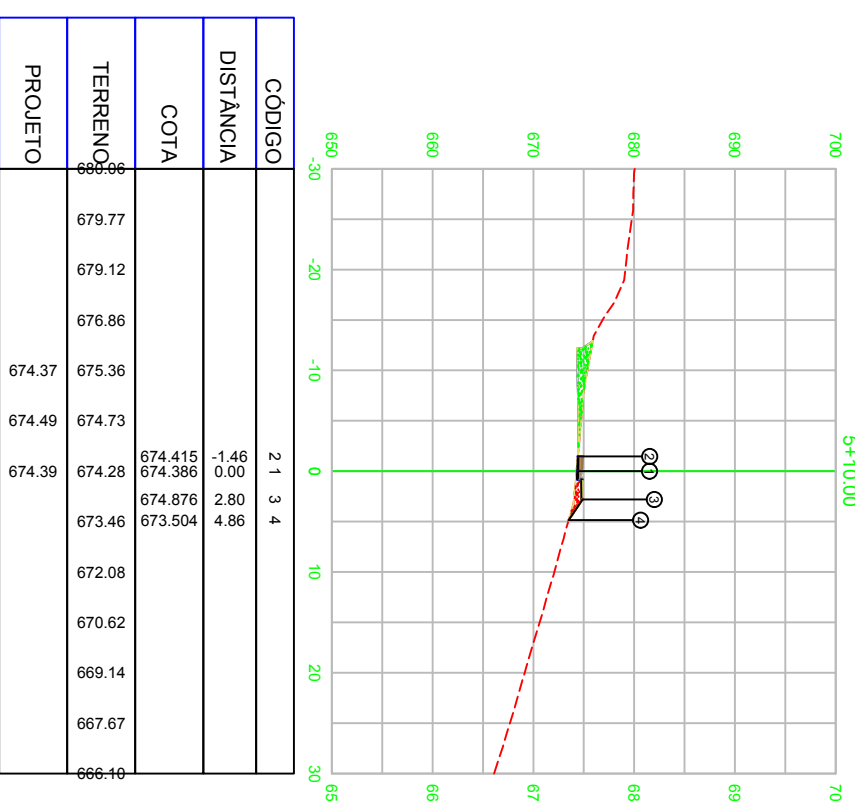
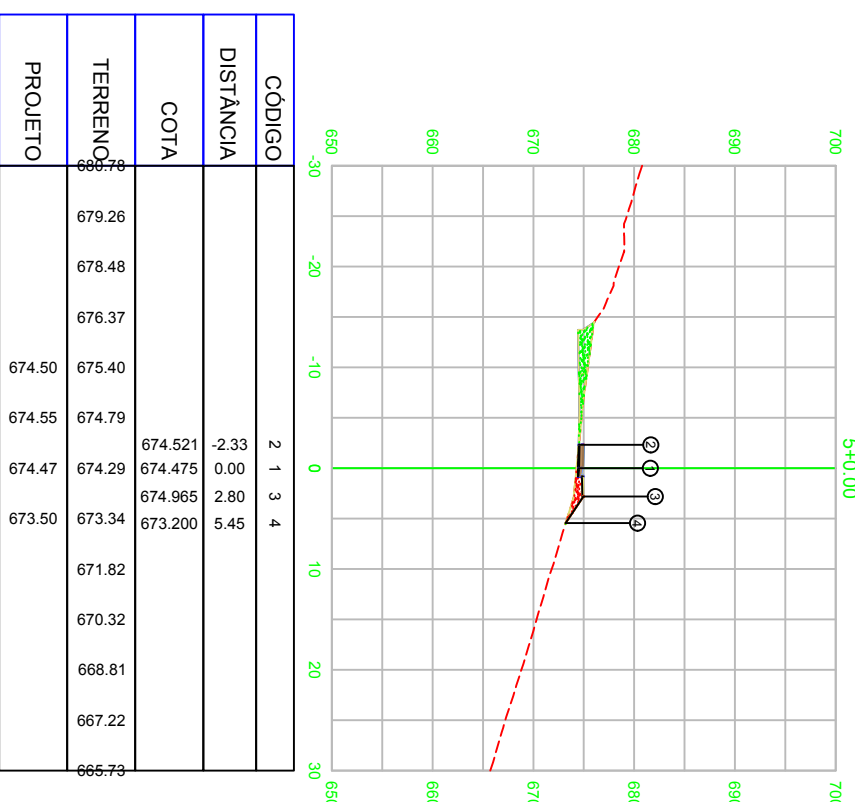
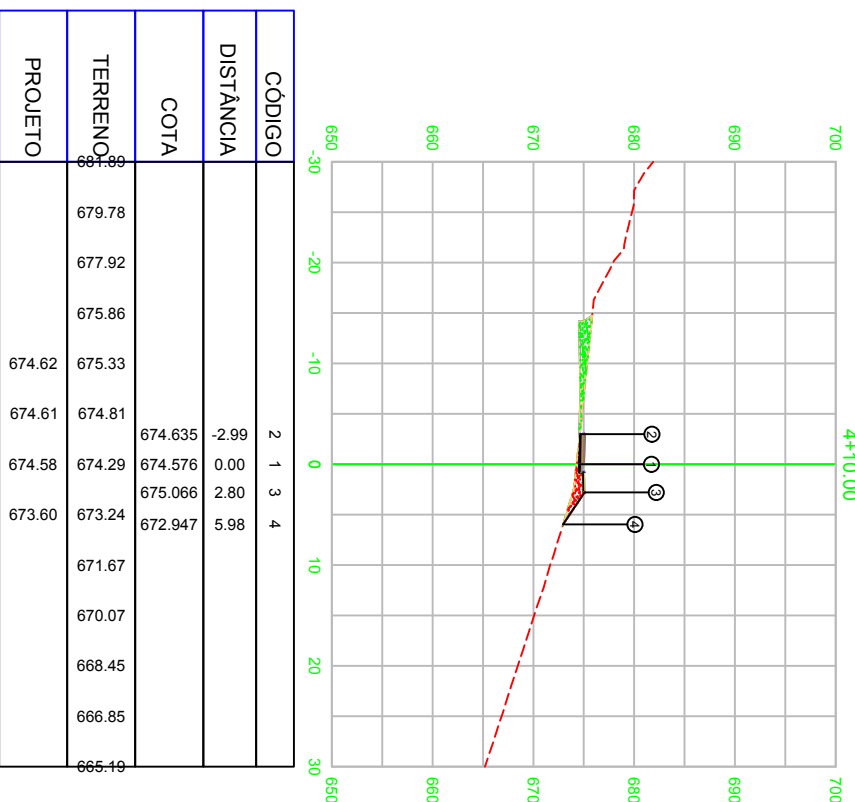
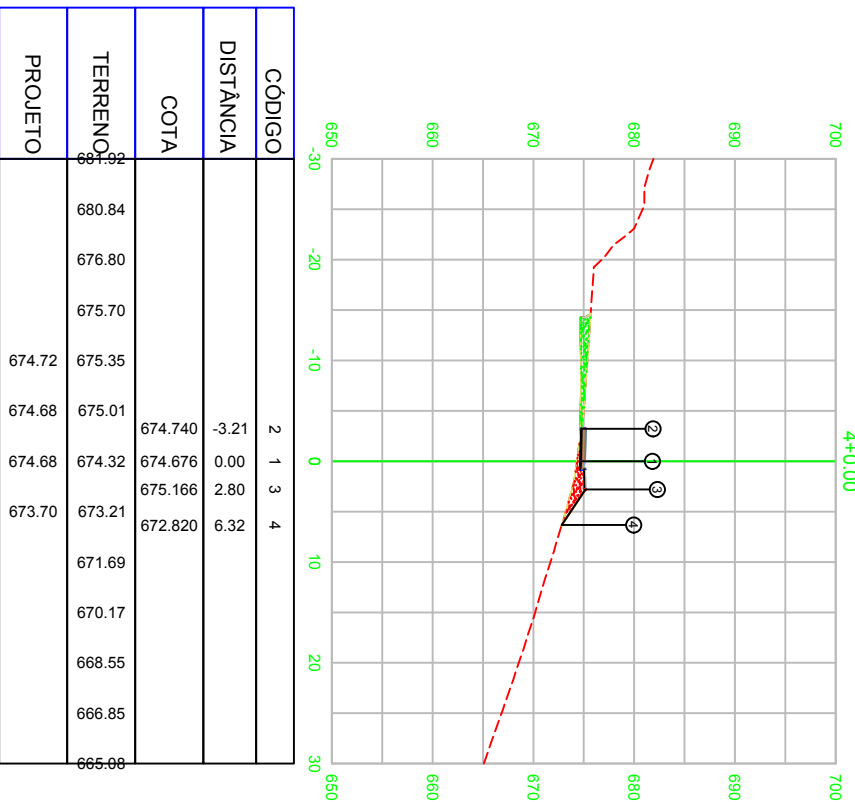
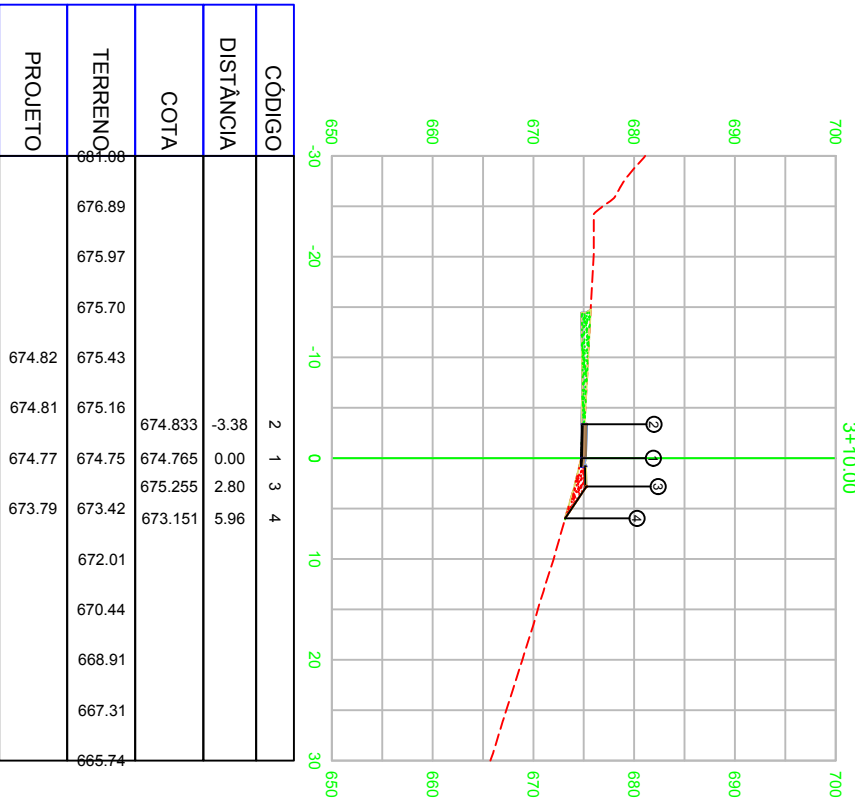
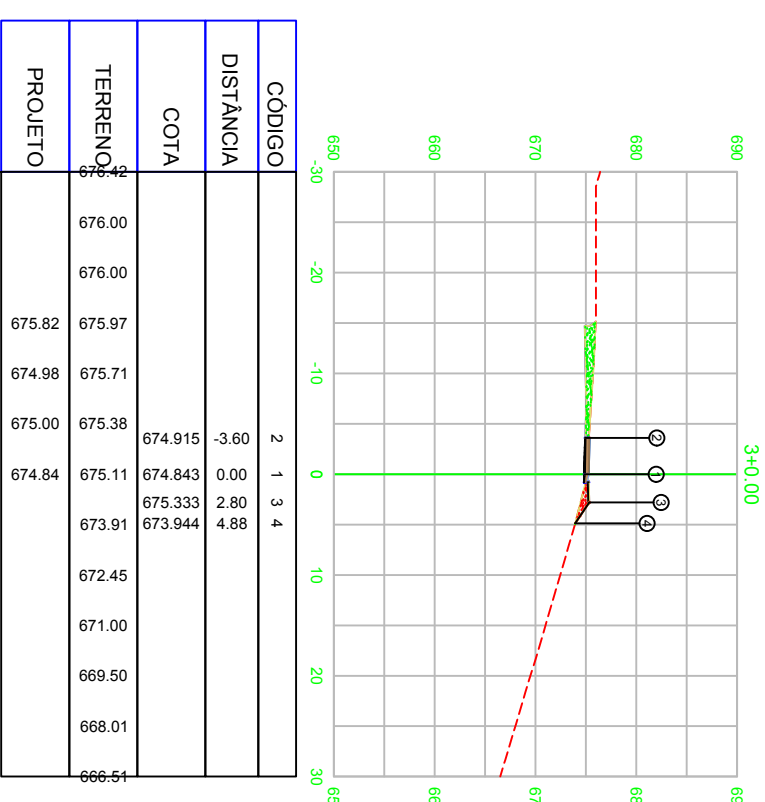
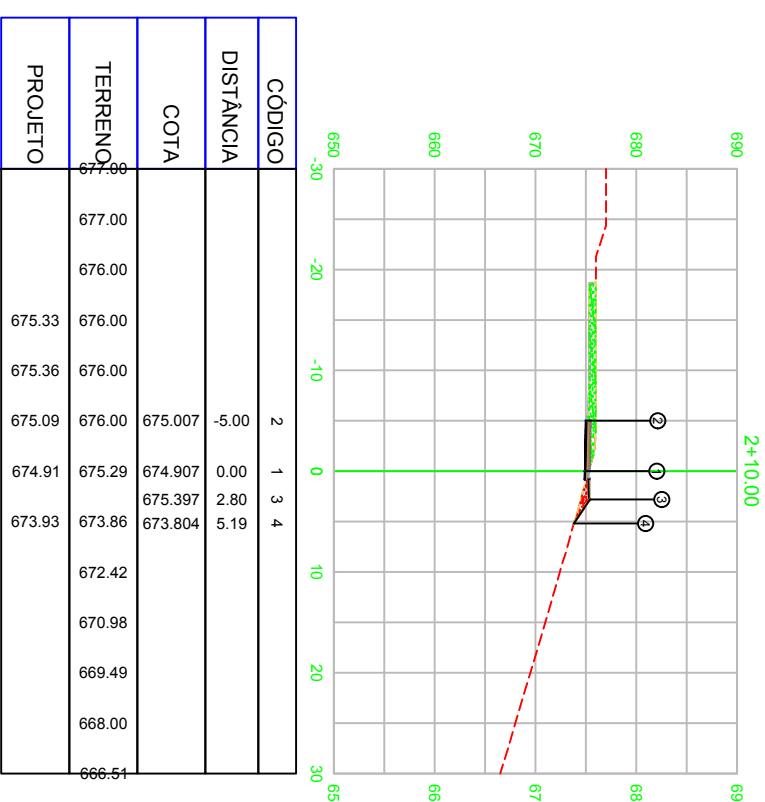
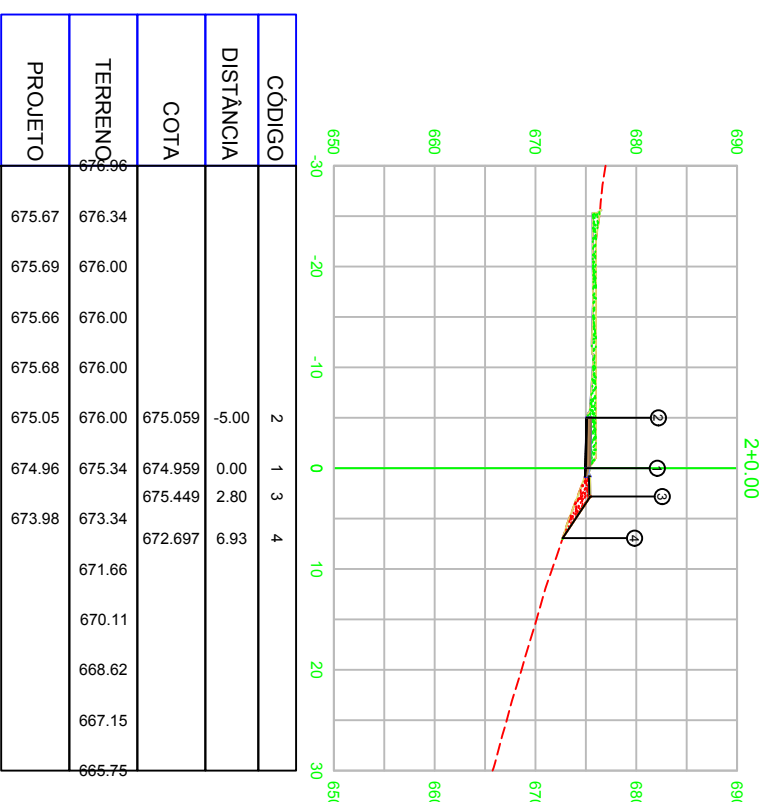
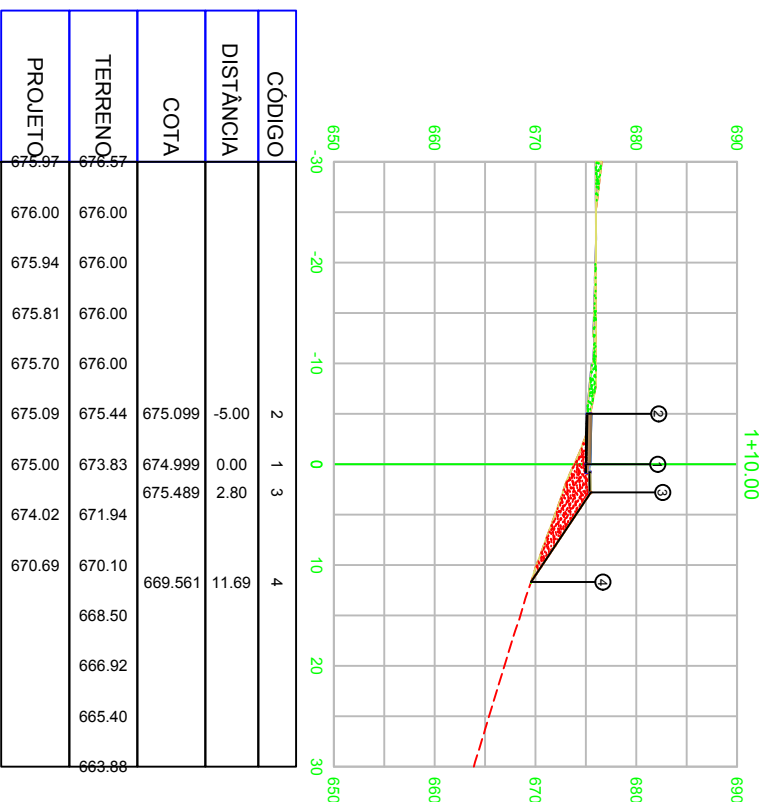
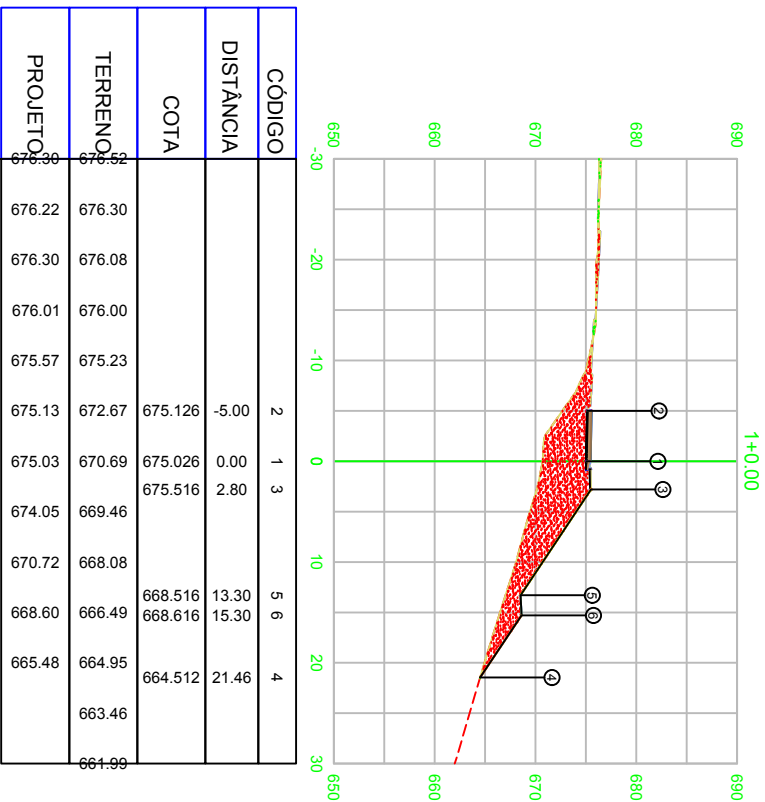
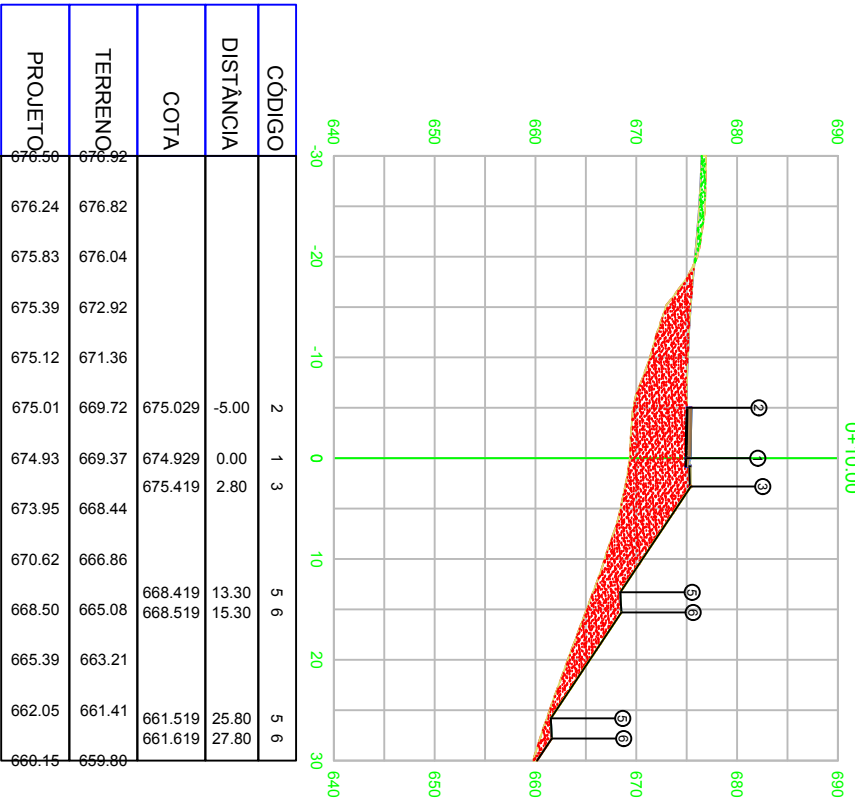


CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROLETO
			647.99	
			647.99	
			648.00	
			648.00	
4	-11.69	647.997	648.00	649.12
3	-8.18	650.334		
2	-3.92	649.735	647.73	649.71
		647.754		
3.92		649.749	647.75	649.73
6.18		650.310		
10.01		647.754	647.75	647.76
			647.77	
			647.77	
			647.74	
			647.72	

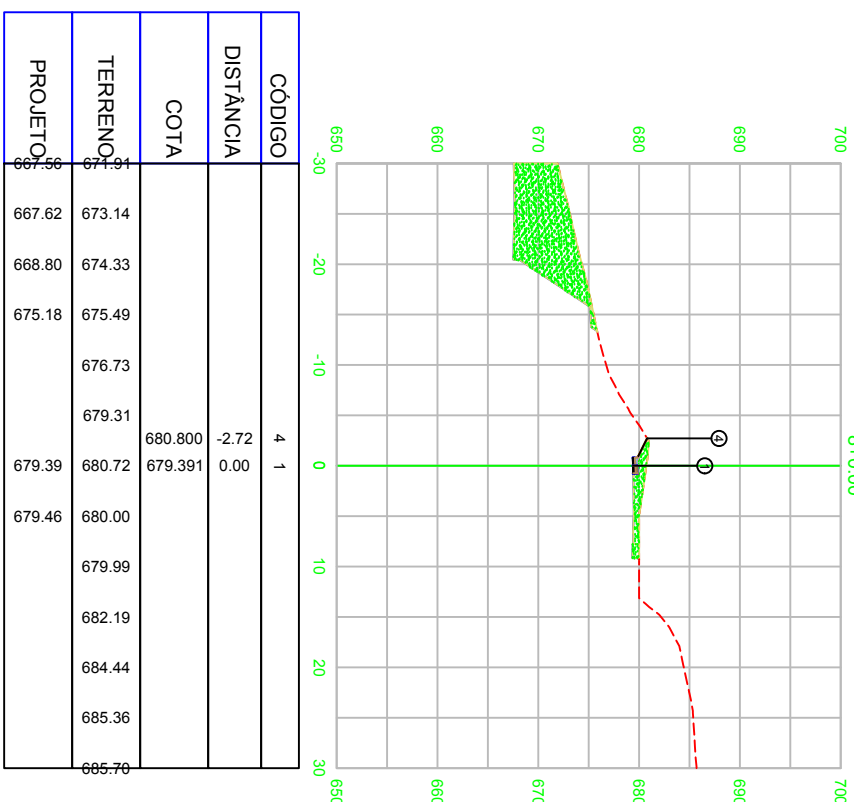
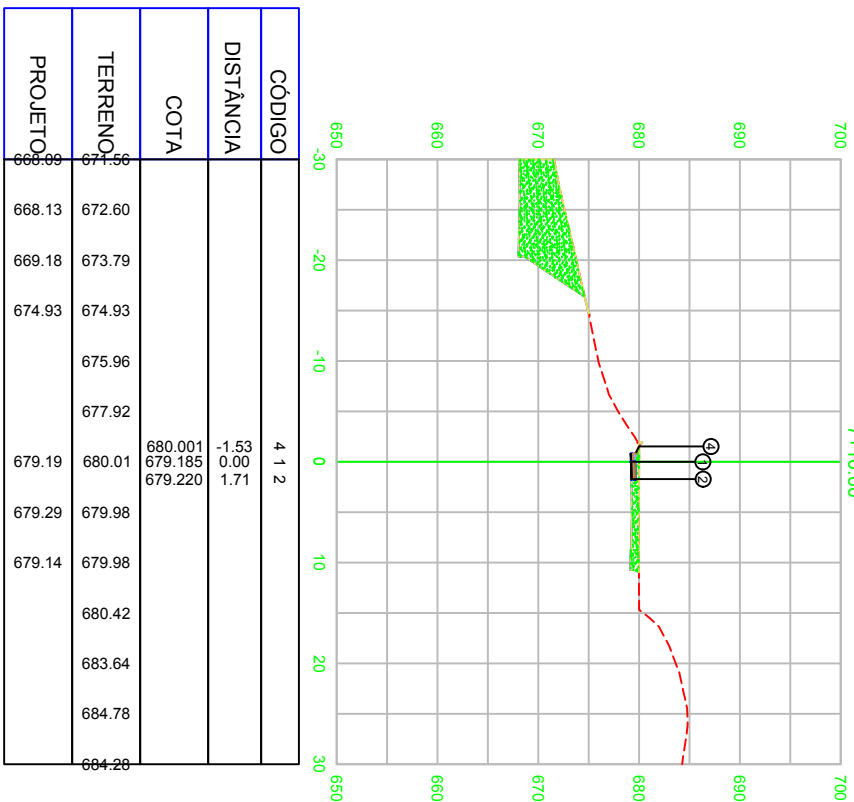
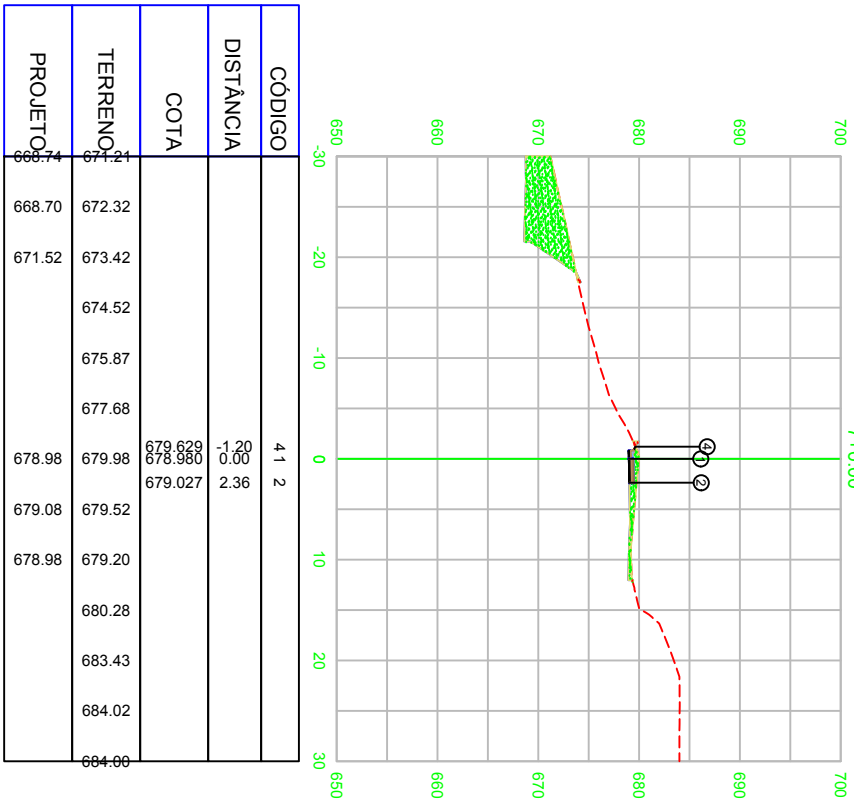
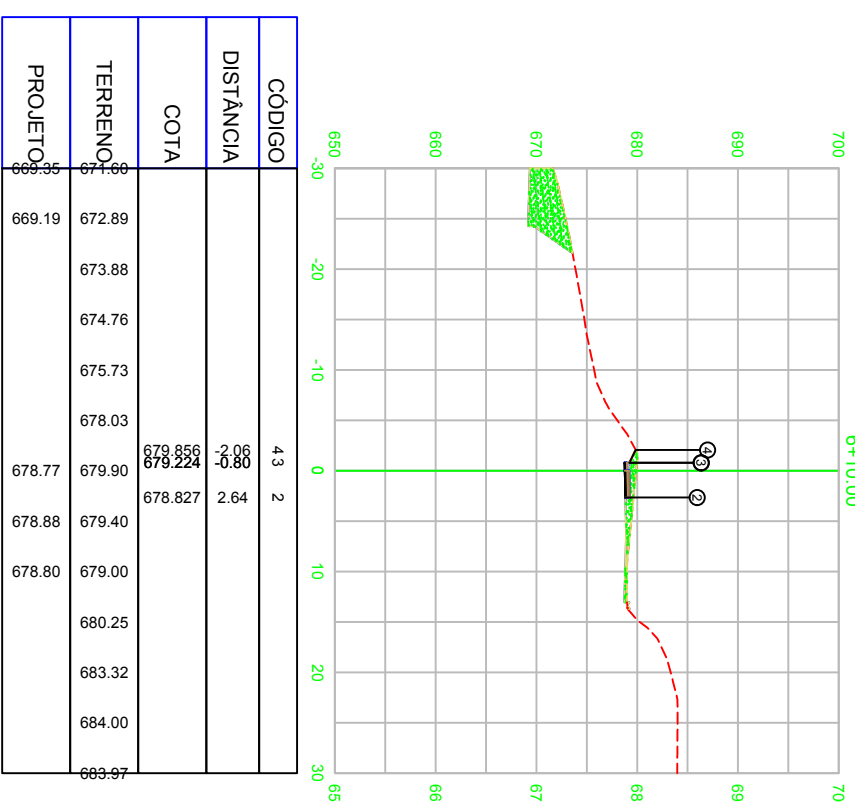
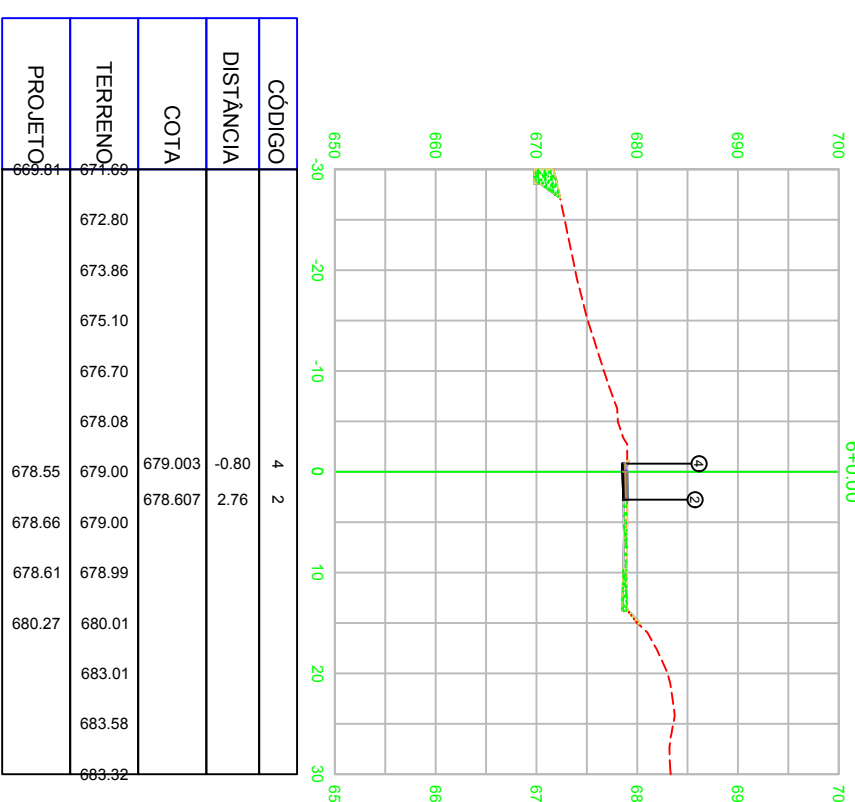
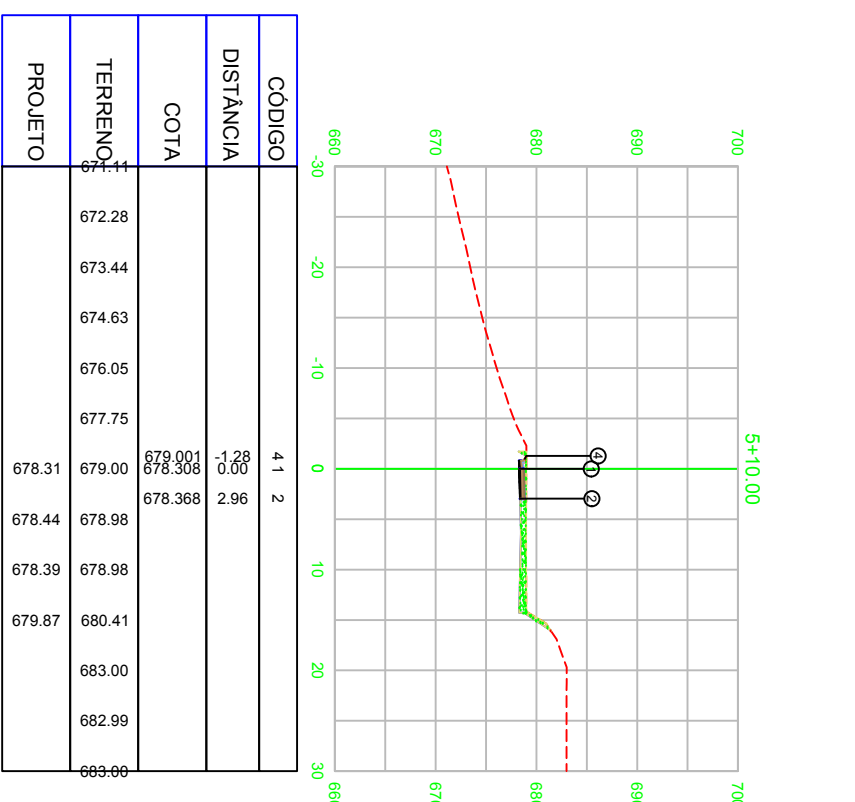
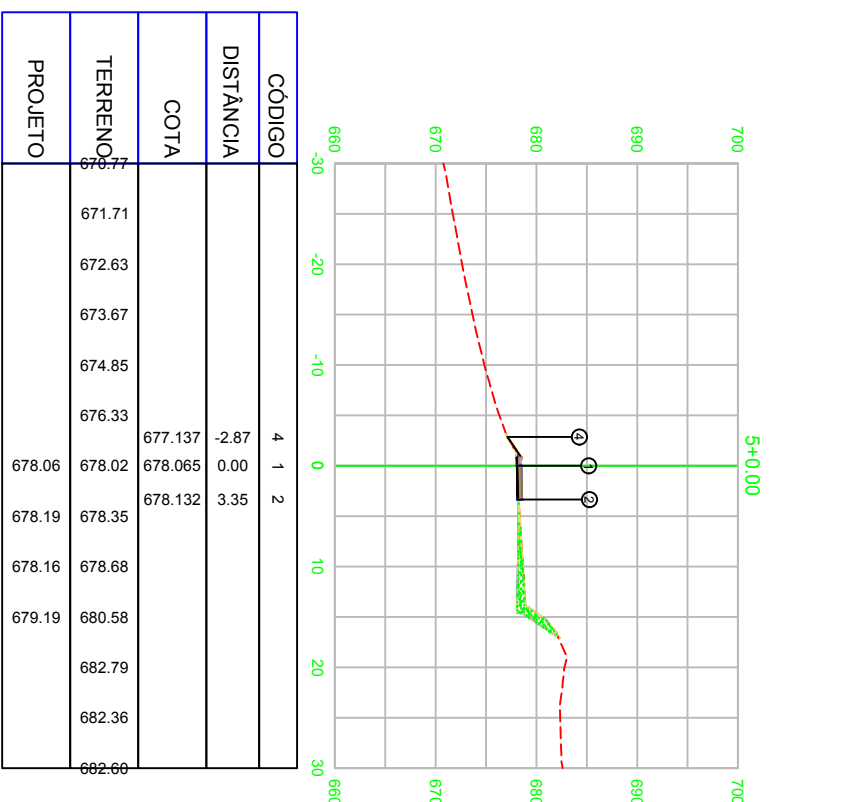
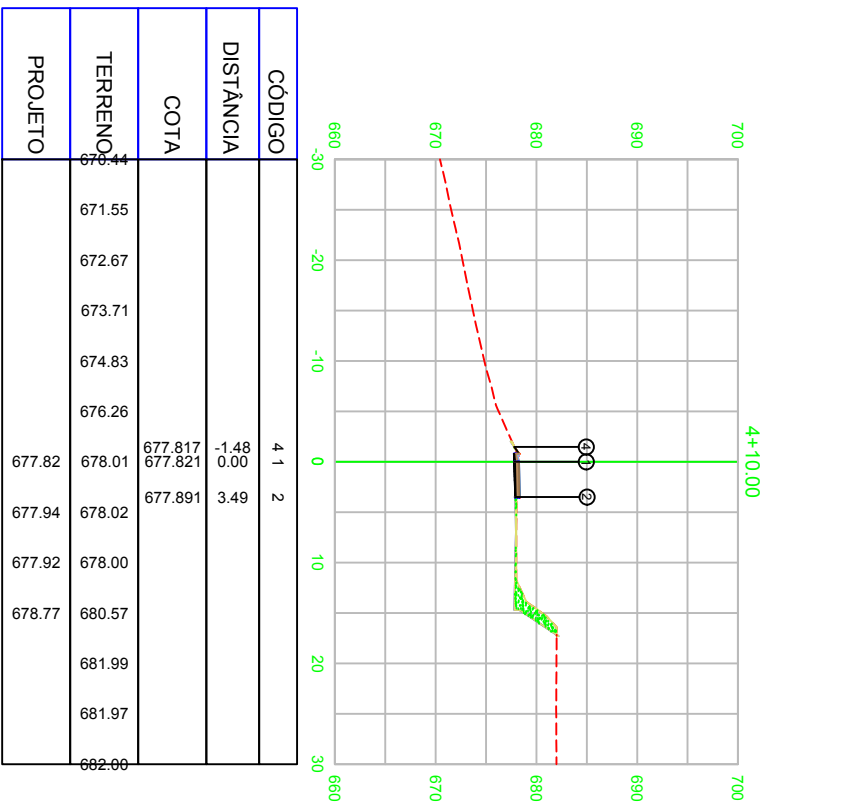
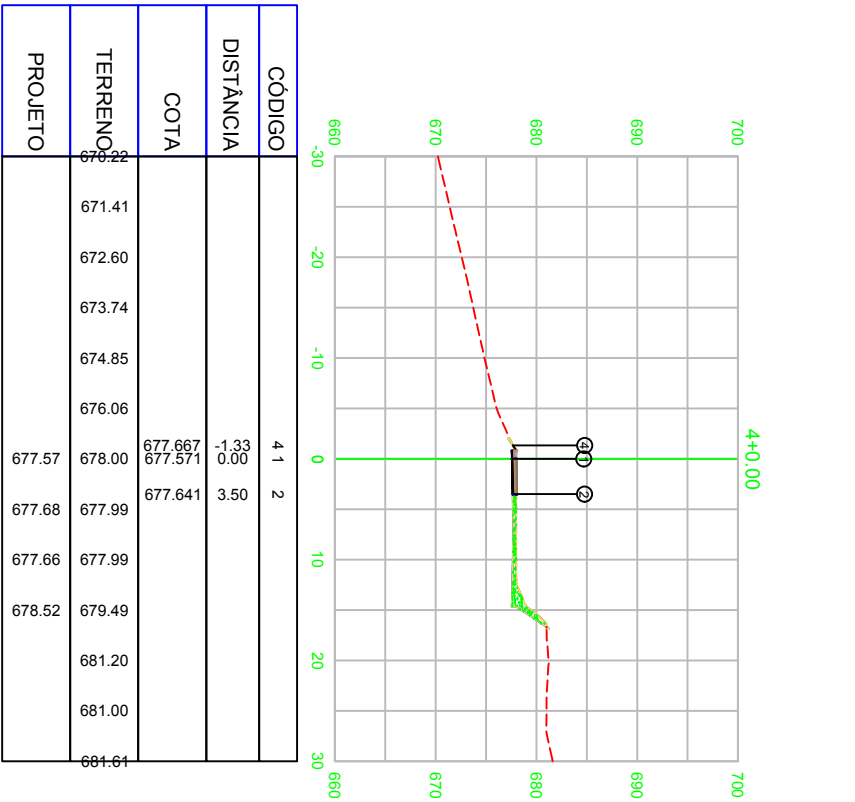
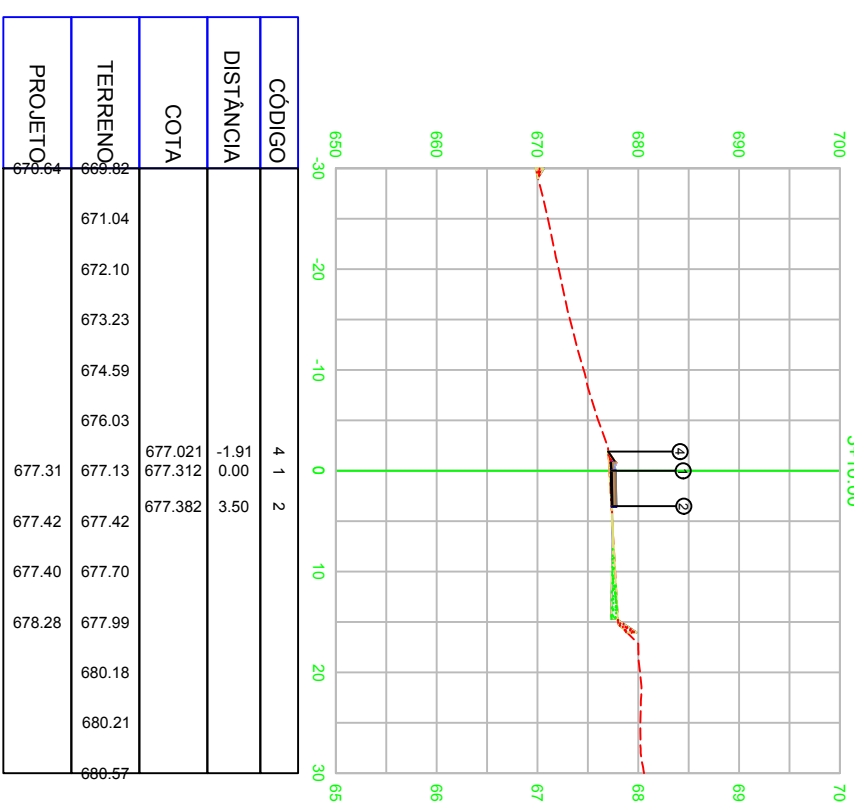
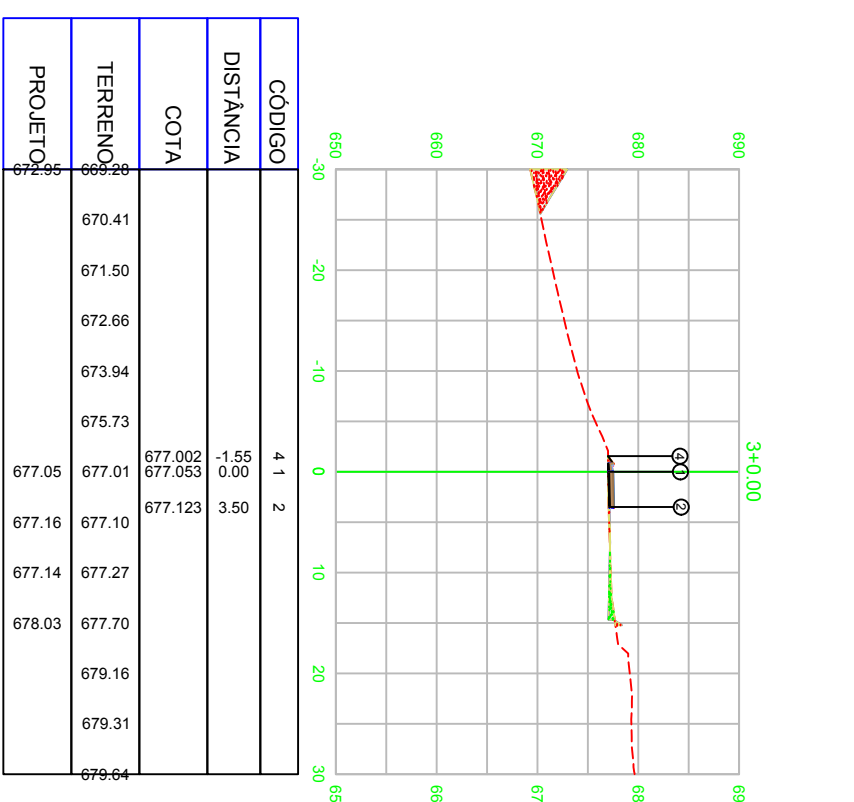
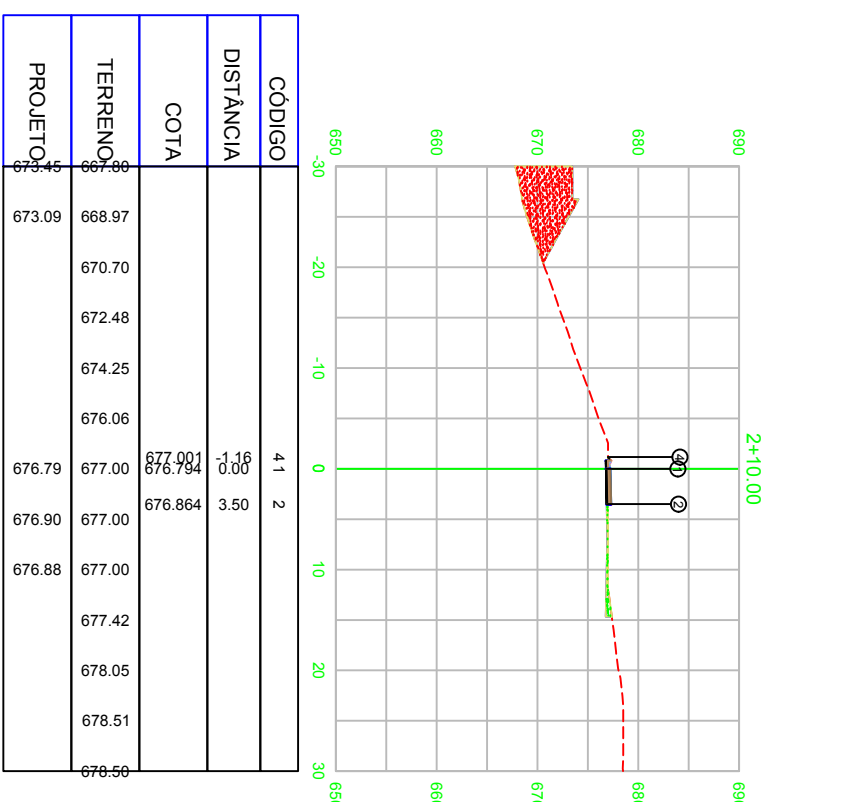
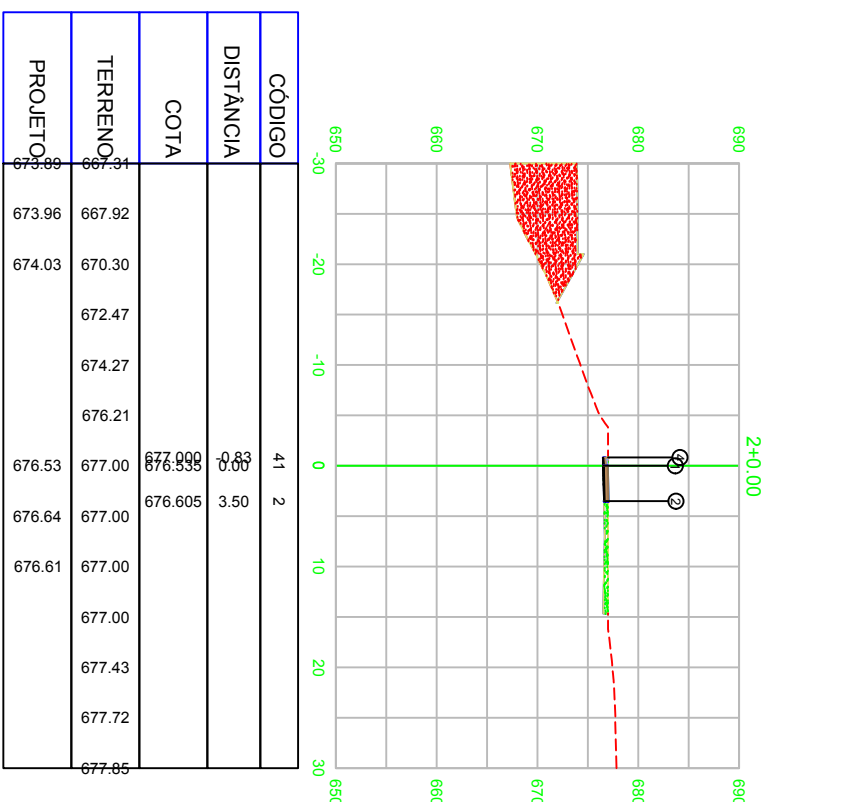
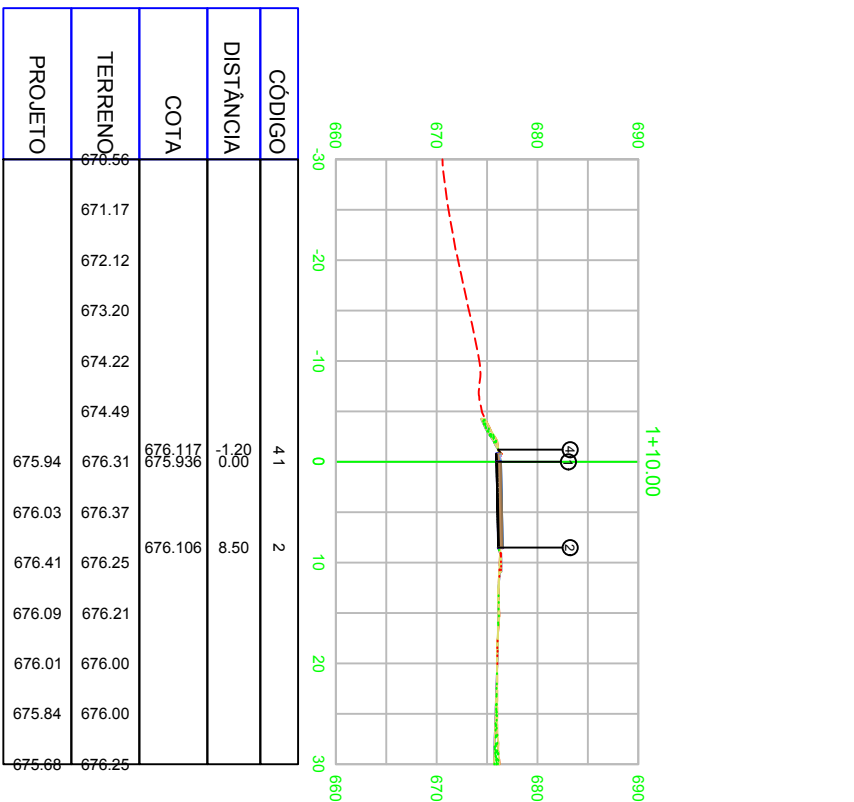
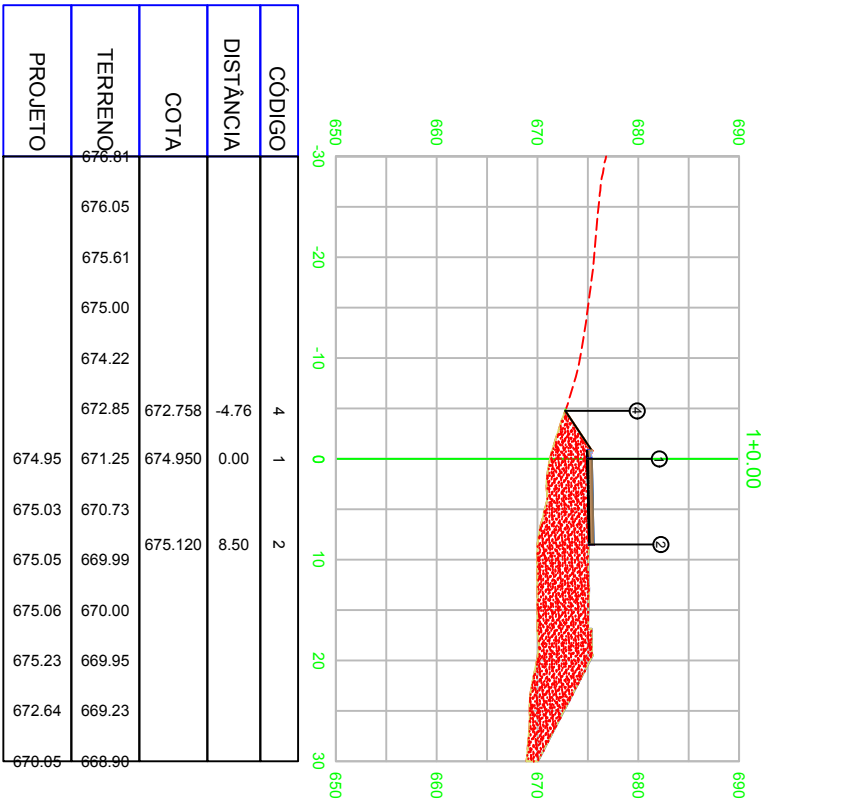


CODIGO	DISTANCIA	COTA	TERRENO	PROLETO
647.56				
647.68				
647.78				
647.69				
647.59				
647.37	647.559	-8.46		
647.47	647.399	-3.50		
647.37	647.390	3.50		
	647.384	6.66		
647.39				
647.39				
647.37				
647.39				

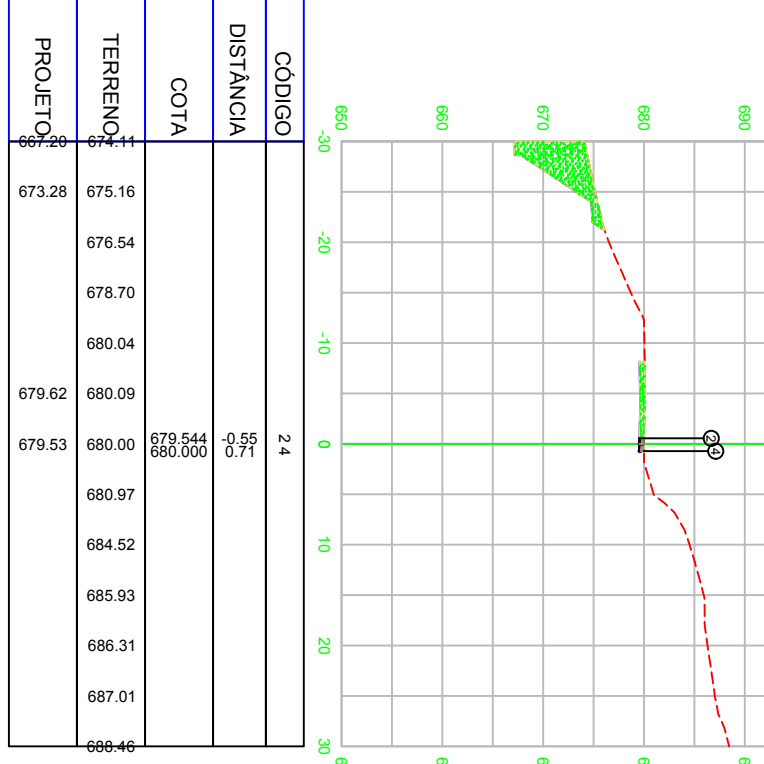
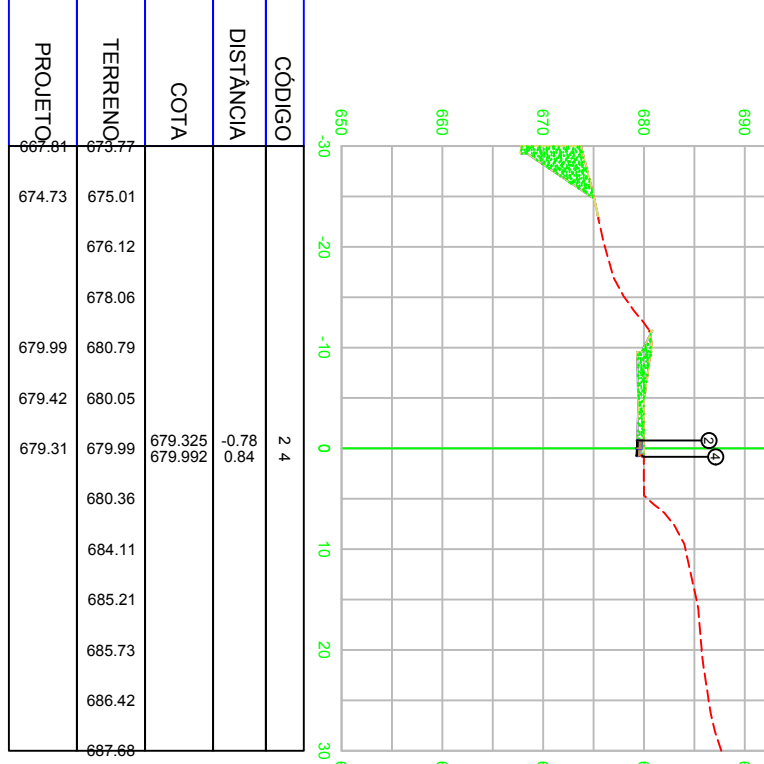
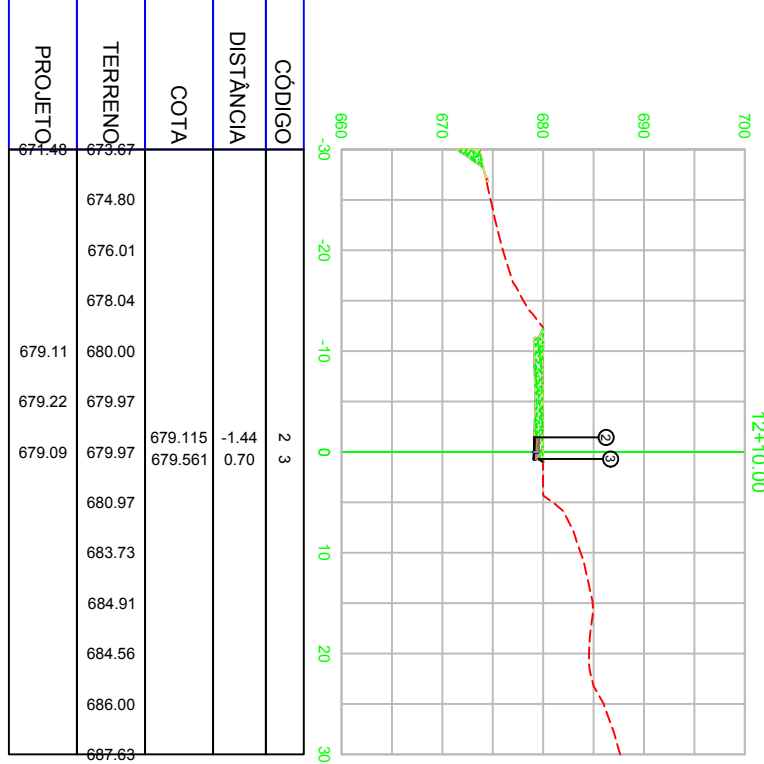
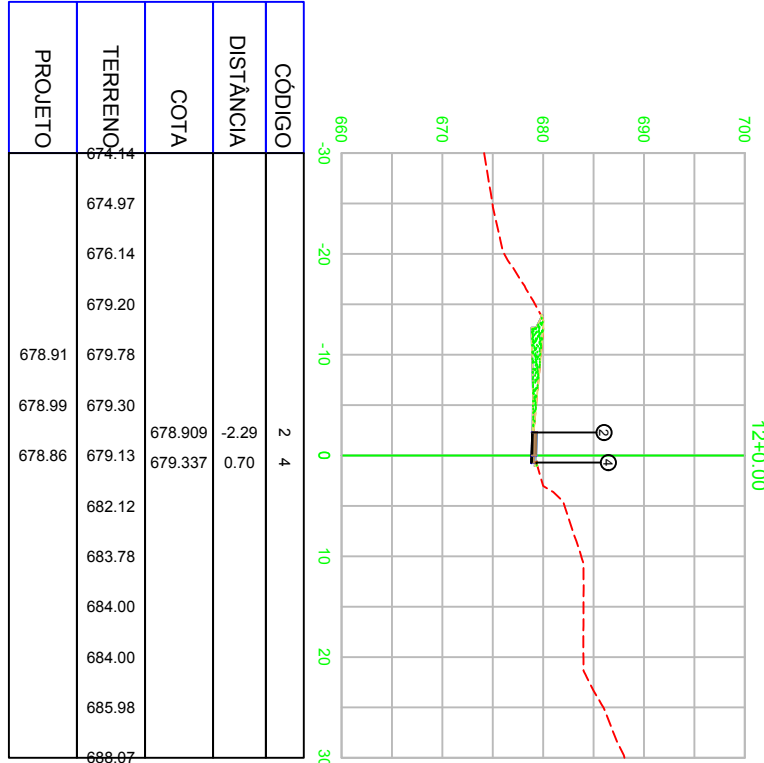
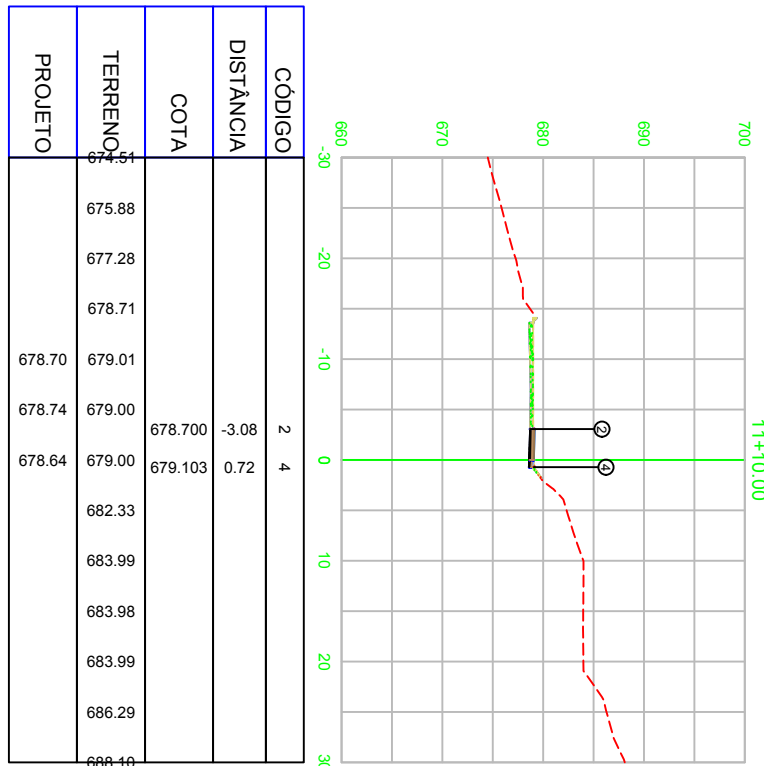
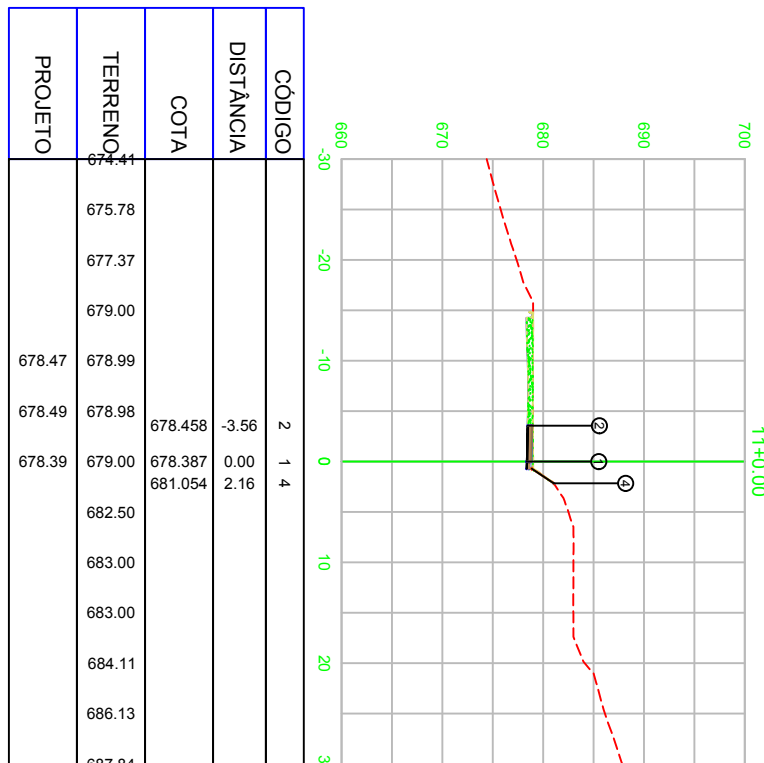
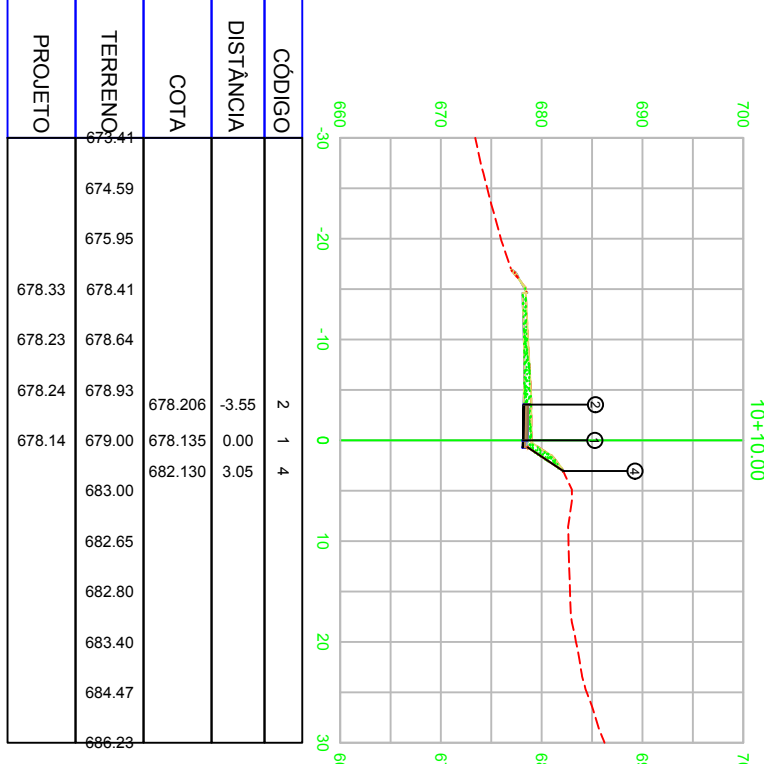
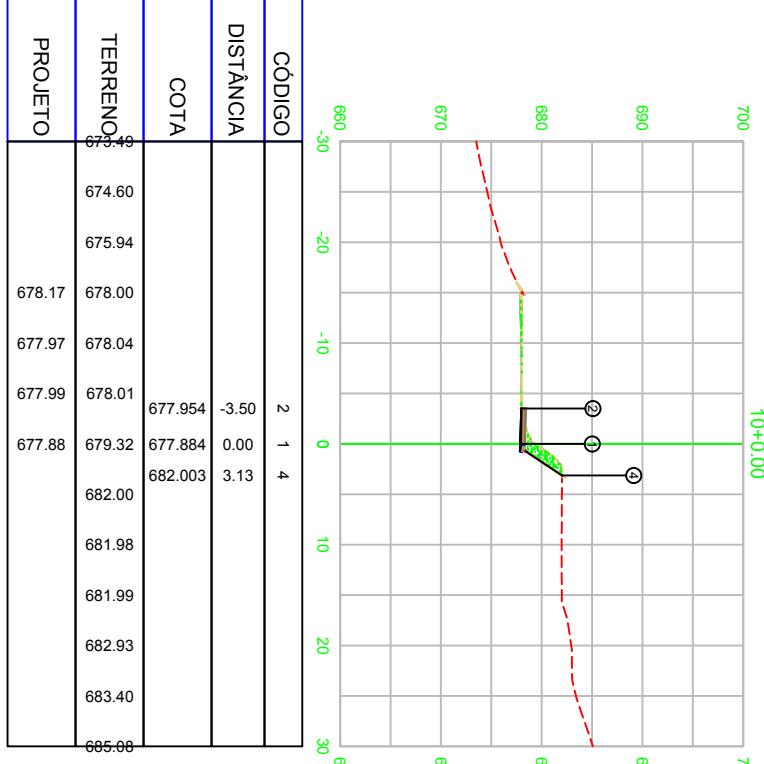
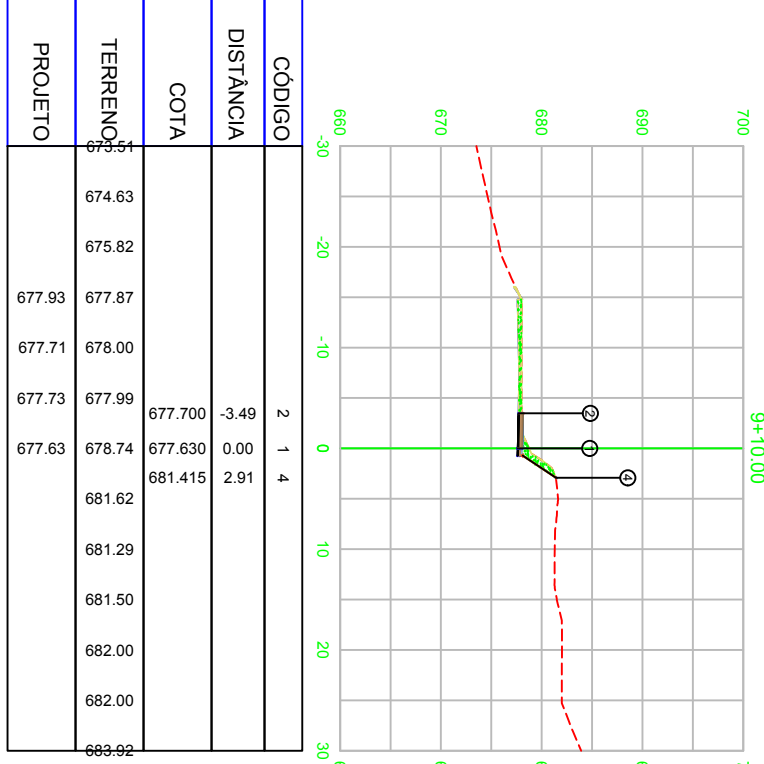
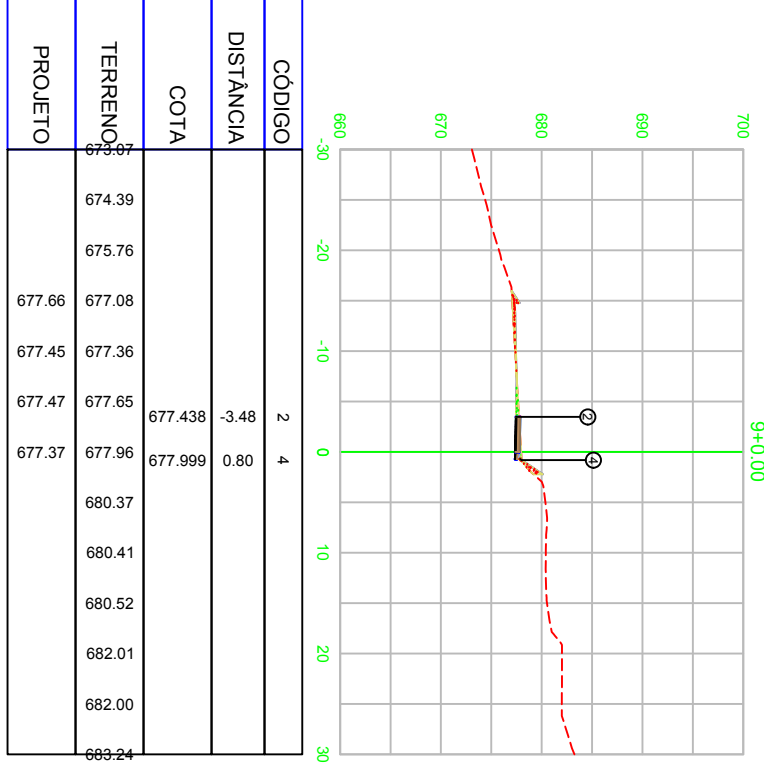
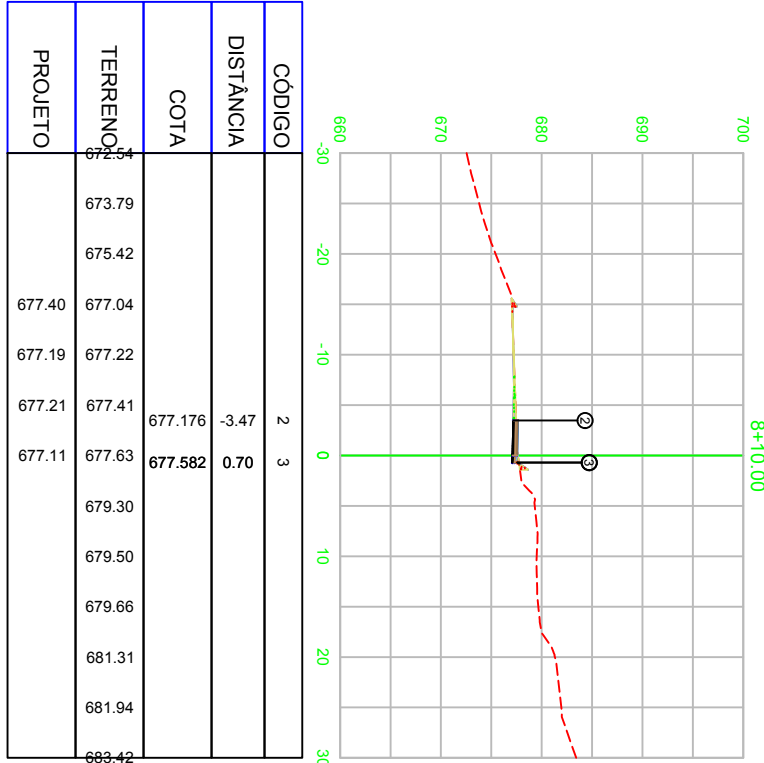
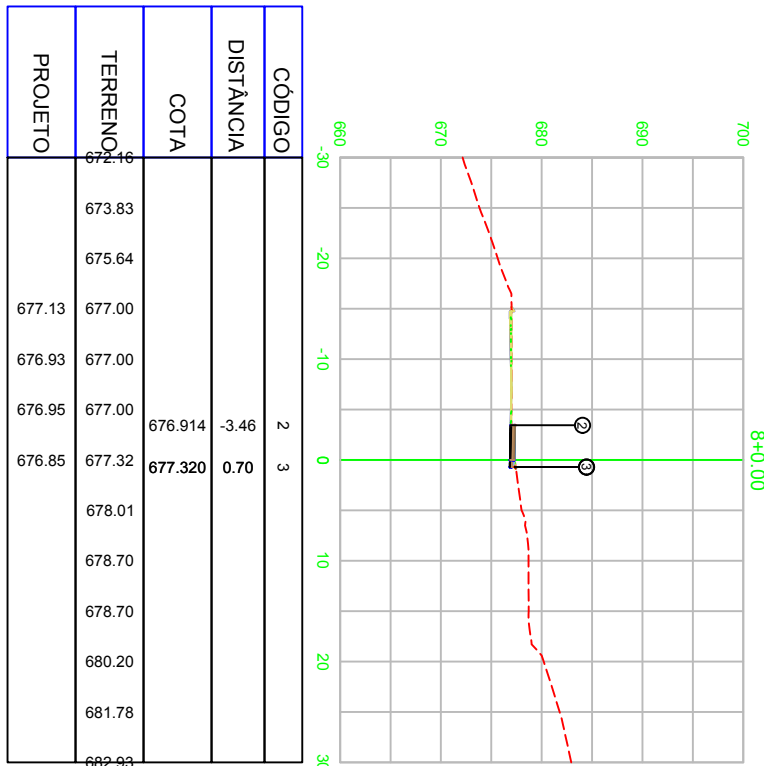
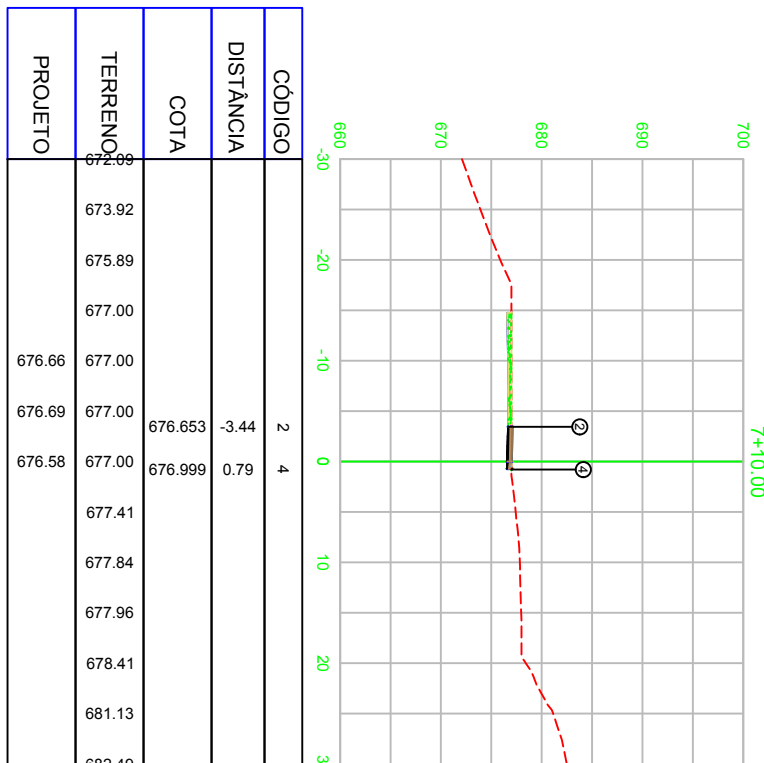
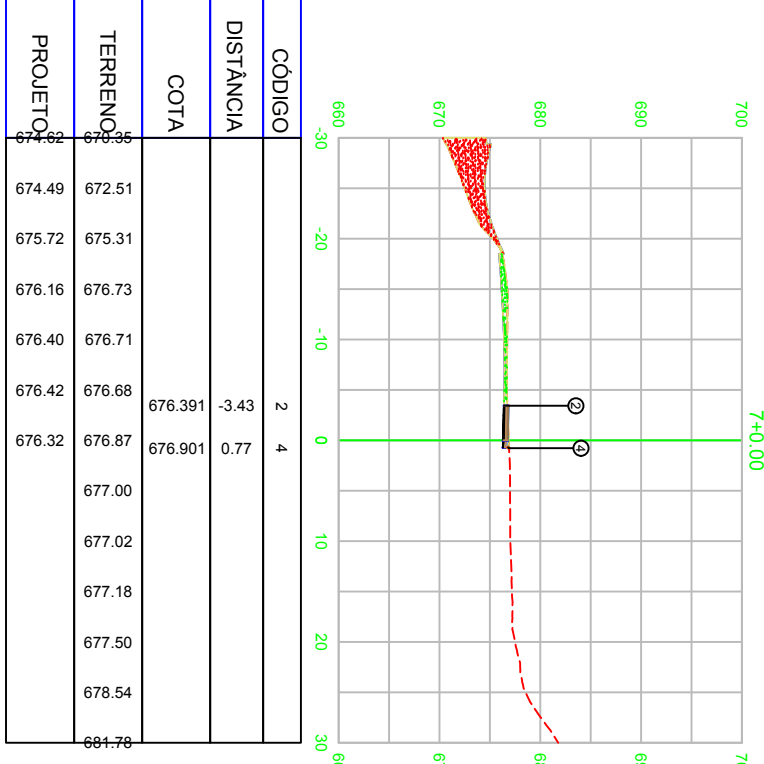
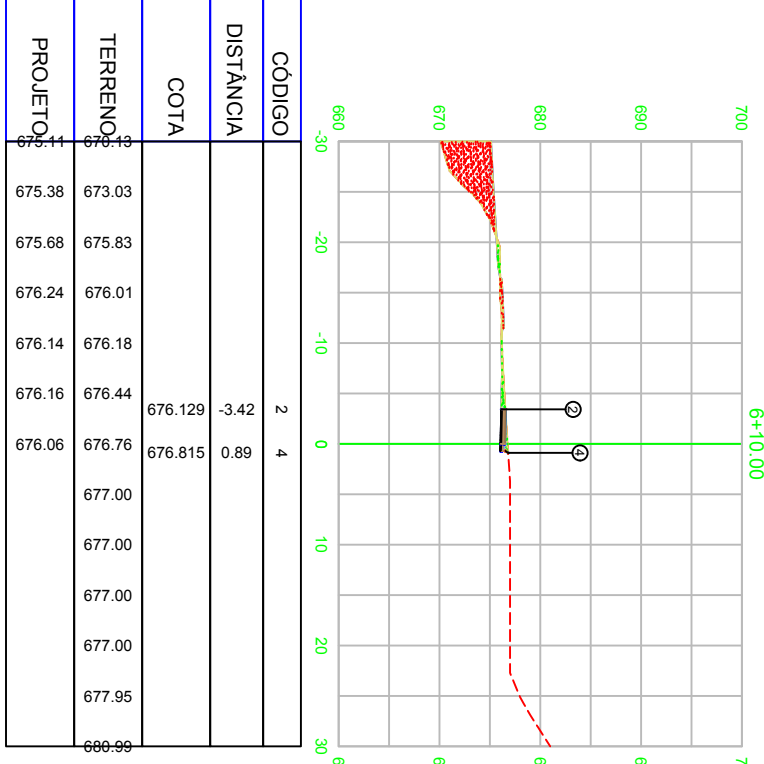
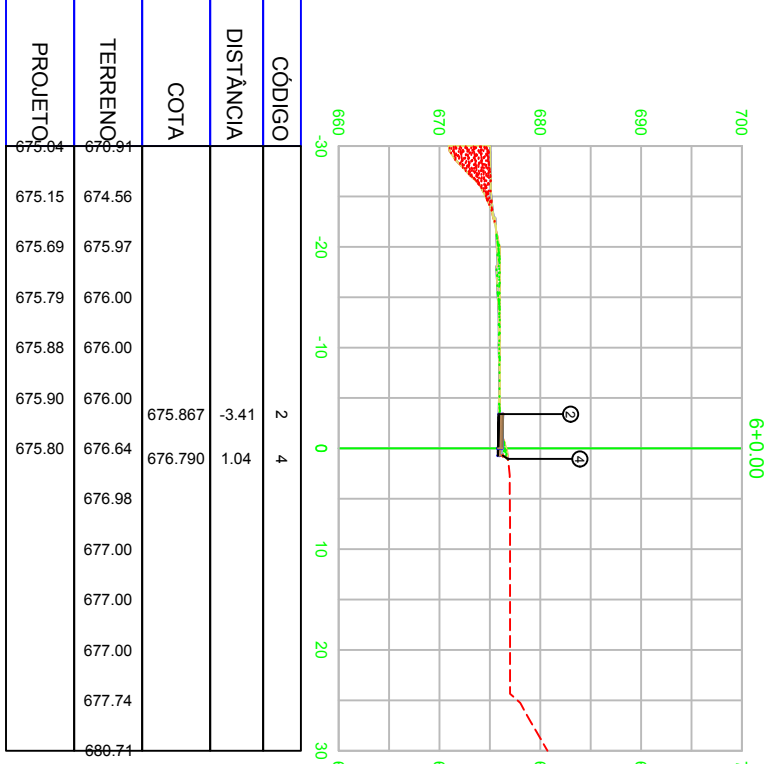
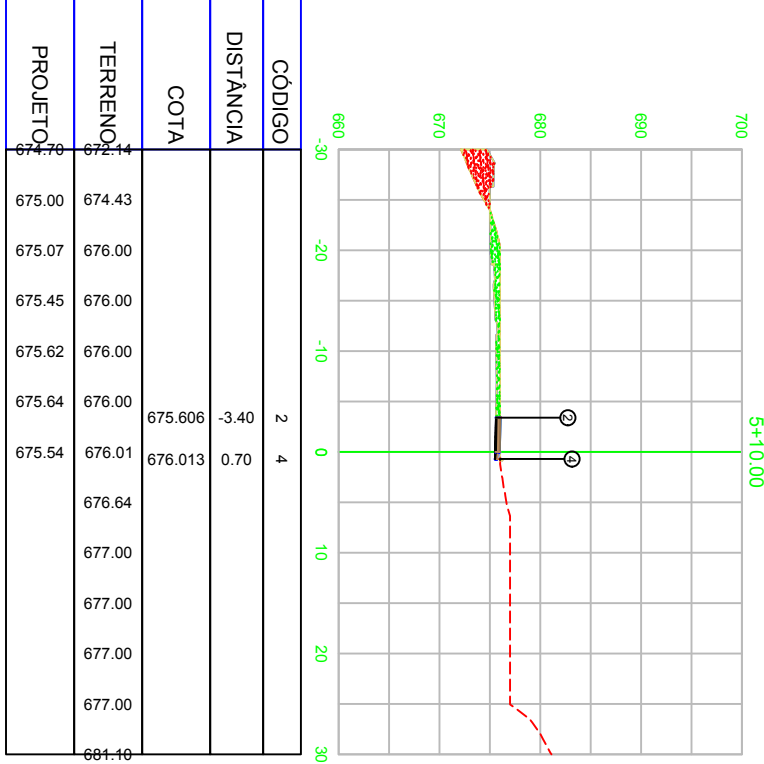
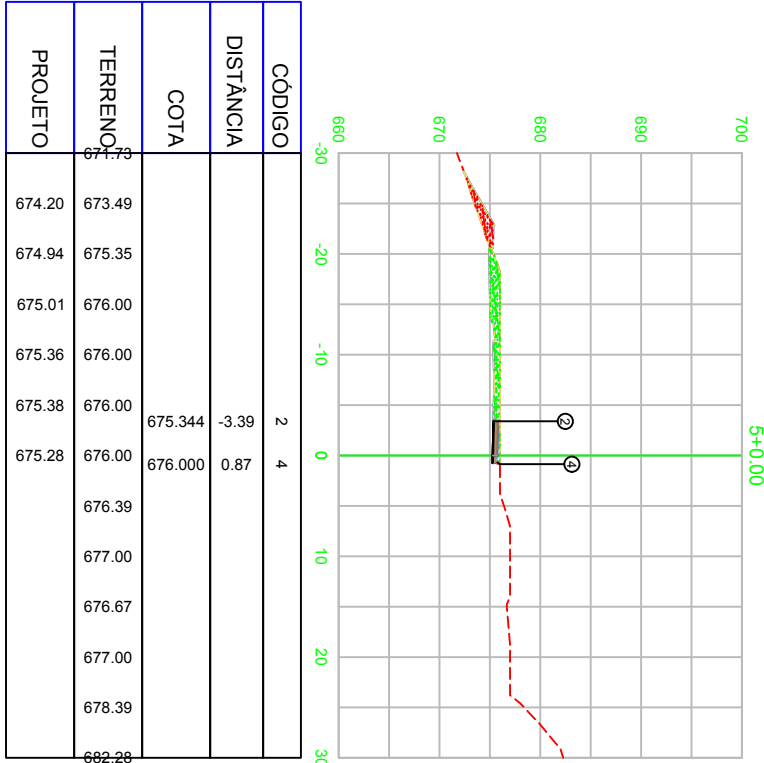
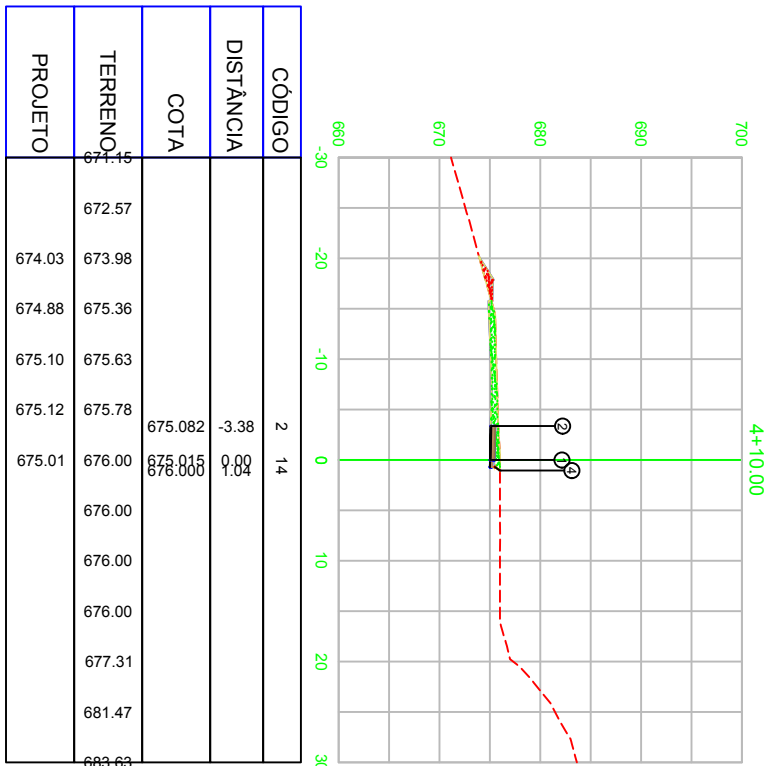
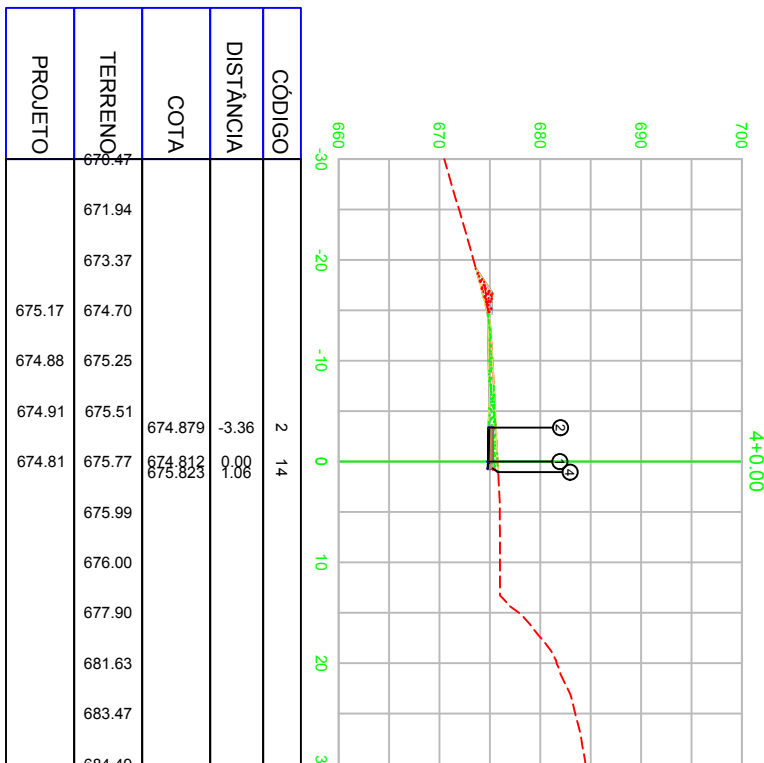
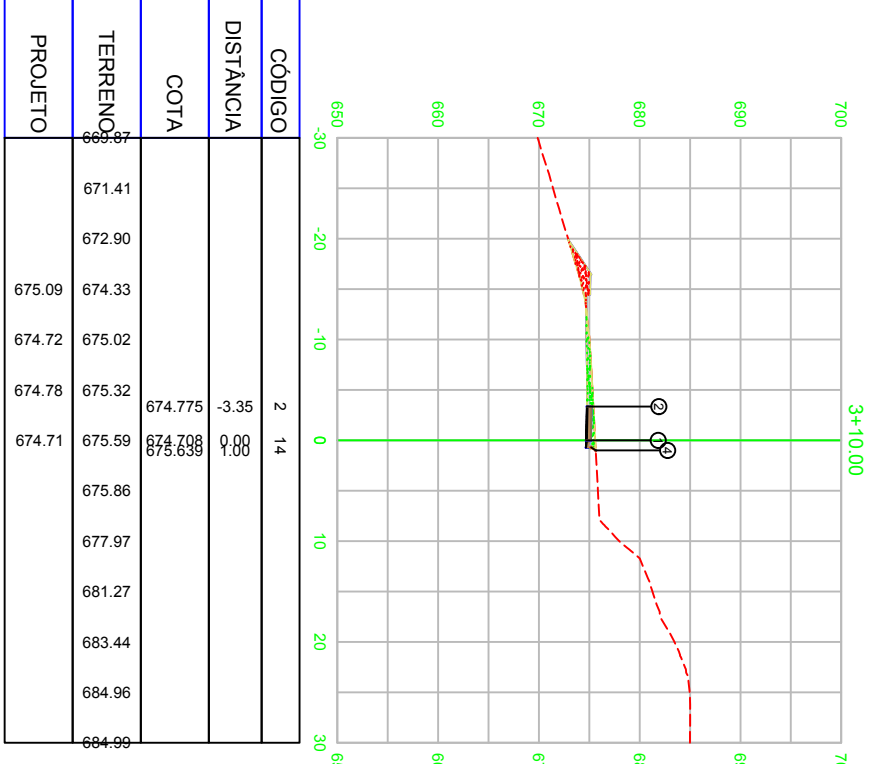
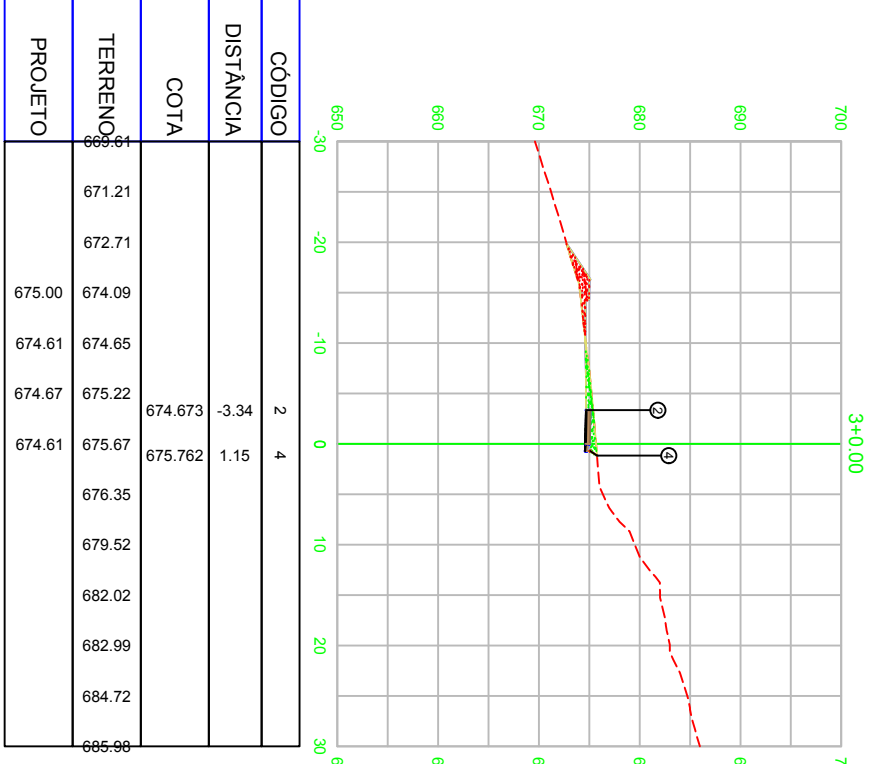
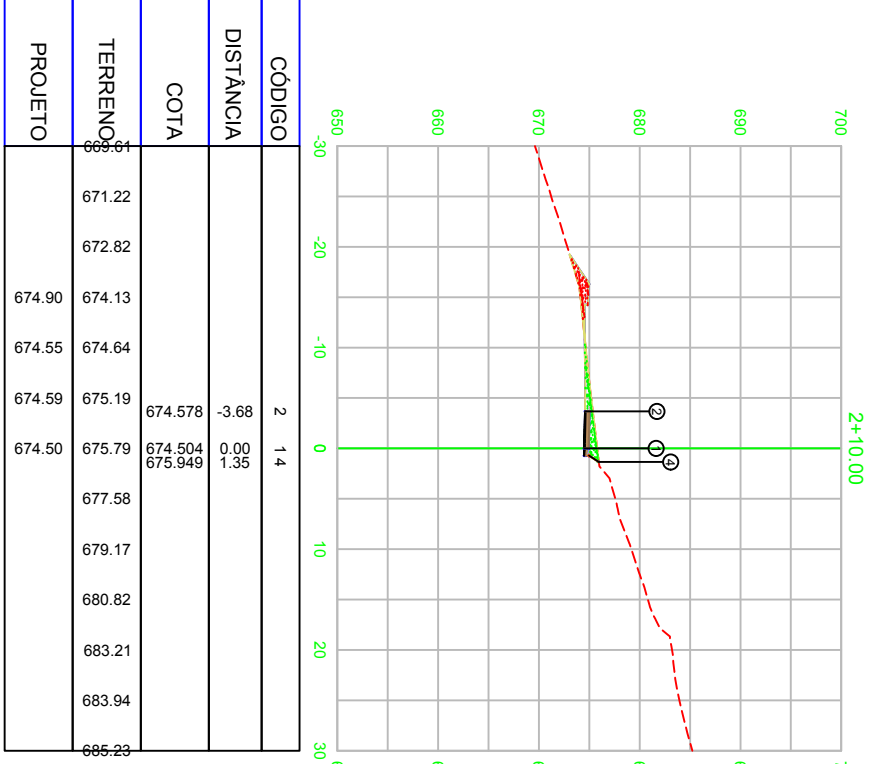
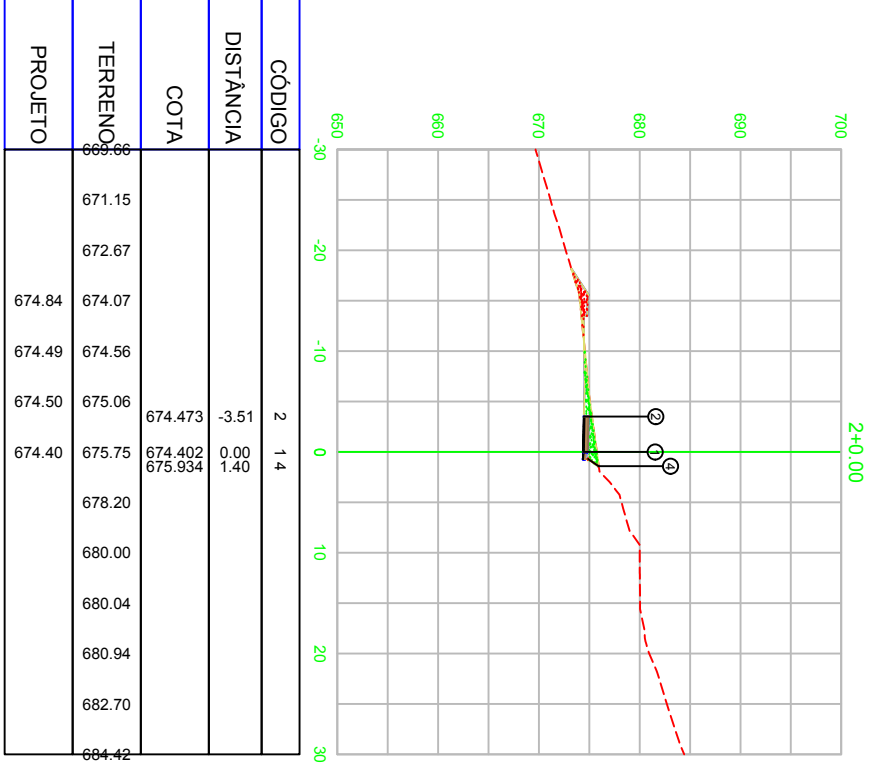
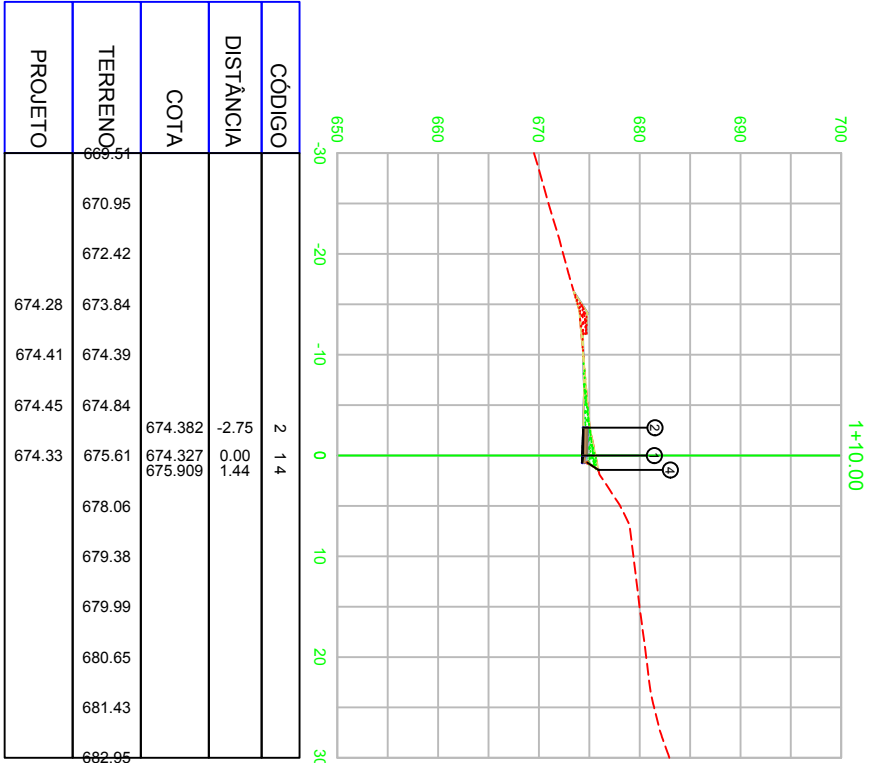
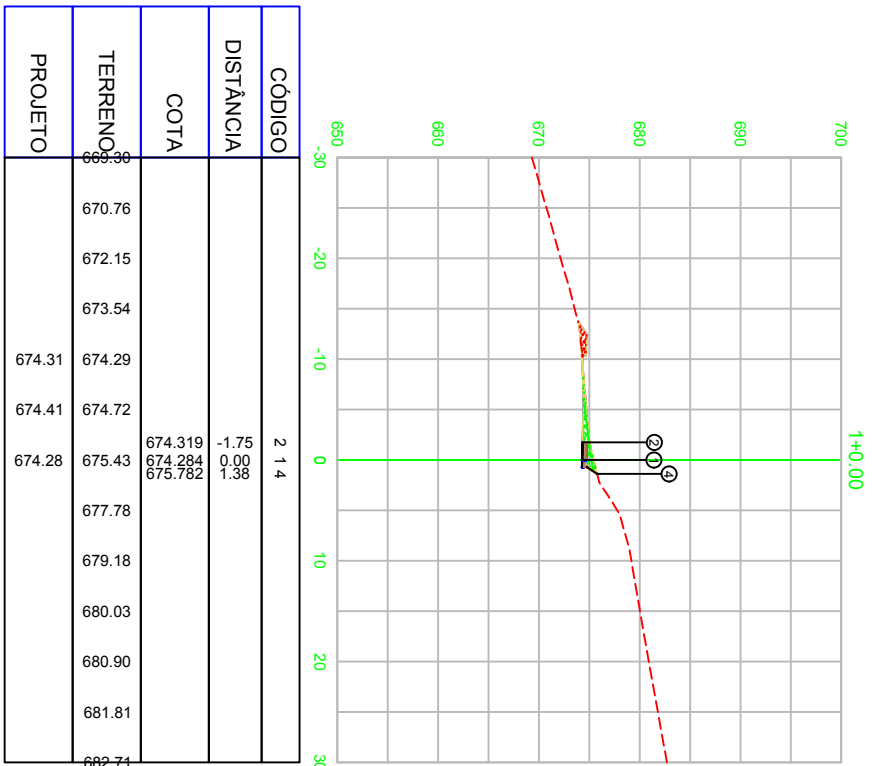
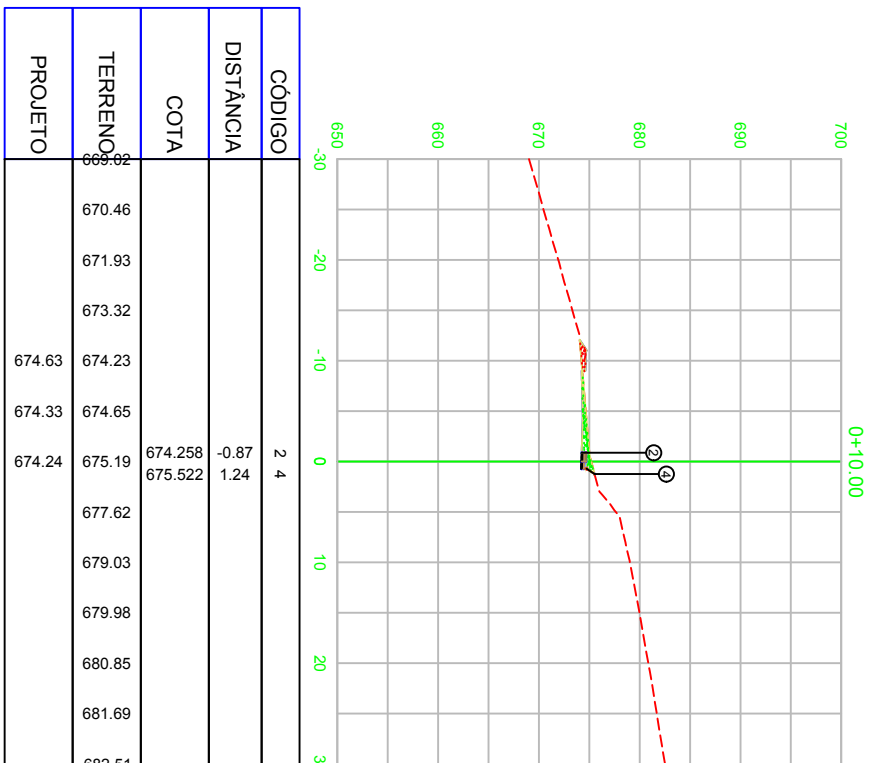
ANEXO 4



ANEXO 5



ANEXO 6



DEC-UFV

Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Viçosa

PROJETO VIA ALTERNATIVA UVF
TRECHO : ALARGAMENTO
AUTOR EMERSON CORREIO LOPES
DATA: 18/01/2016
ESCALA
H=1:750
V=1:750
CÓDIGO
SÉRIES TRANSVERSAS
REVISÃO
A1

Anexo 7 - Volumes acumulados gerados a partir das seções transversais da Via Coletora.

Volume Total Via Coletora							
Estacas	Área de Corte (m²)	Área de Aterro (m²)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)	Volume de Corte Acumulado (m³)	Volume de Aterro Acumulado (m³)	Volume Líquido (m³)
1+0,00	0,00	219,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2+0,00	0,00	216,71	0,00	5826,01	0,00	5826,01	-5826,00
3+0,00	1,11	154,28	14,74	4907,08	14,75	10733,09	-10718,34
4+0,00	0,02	82,15	14,94	3092,20	29,69	13825,29	-13795,59
5+0,00	9,69	14,59	92,48	1266,17	122,17	15091,46	-14969,29
6+0,00	34,36	0,02	437,38	179,16	559,55	15270,62	-14711,07
7+0,00	65,11	0,02	994,76	0,43	1554,32	15271,05	-13716,73
8+0,00	100,07	0,00	1651,88	0,24	3206,19	15271,29	-12065,10
9+0,00	121,26	0,00	2213,35	0,00	5419,54	15271,29	-9851,74
10+0,00	174,01	0,00	2952,69	0,02	8372,24	15271,30	-6899,07
11+0,00	237,27	0,00	4197,59	0,12	12569,83	15271,42	-2701,60
12+0,00	243,78	0,00	4934,56	0,11	17504,39	15271,53	2232,86
13+0,00	232,69	0,00	4852,06	0,03	22356,45	15271,56	7084,89
14+0,00	202,25	0,00	4402,73	0,05	26759,18	15271,61	11487,57
15+0,00	129,13	0,00	3327,51	0,08	30086,69	15271,68	14815,01
16+0,00	0,92	37,38	1296,79	418,76	31383,48	15690,44	15693,04
17+0,00	0,04	39,13	9,92	904,62	31393,40	16595,06	14798,34
18+0,00	0,32	1,37	3,58	486,08	31396,98	17081,14	14315,84

Anexo 8 - Volumes acumulados gerados a partir das seções transversais do Ramo A.

Volume Total Ramo A							
Estacas	Área de Corte (m²)	Área de Aterro (m²)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)	Volume de Corte Acumulado (m³)	Volume de Aterro Acumulado(m³)	Volume Líquido (m³)
0+10,00	0,00	124,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1+0,00	0,00	80,76	0,00	1232,12	0,00	1232,12	-1232,12
1+10,00	0,86	20,74	4,30	608,95	4,30	1841,07	-1836,76
2+0,00	7,80	4,33	43,28	150,41	47,58	1991,48	-1943,90
2+10,00	6,63	2,01	75,49	36,67	123,07	2028,14	-1905,07
3+0,00	3,23	1,84	56,21	20,95	179,28	2049,09	-1869,81
3+10,00	2,43	3,61	29,29	32,10	208,57	2081,19	-1872,62
4+0,00	0,06	5,17	12,44	52,68	221,01	2133,88	-1912,86
4+10,00	0,00	4,32	0,28	56,67	221,29	2190,55	-1969,26
5+0,00	0,00	3,10	0,00	44,03	221,29	2234,58	-2013,28
5+10,00	0,00	2,26	0,00	31,59	221,29	2266,17	-2044,88
6+0,00	0,18	1,46	0,93	21,79	222,23	2287,96	-2065,73
6+10,00	0,60	1,12	4,00	15,01	226,22	2302,97	-2076,75

Anexo 9 - Volumes acumulados gerados a partir das seções transversais do Alargamento.

Volume Total Alargamento							
Estacas	Área de Corte (m²)	Área de Aterro (m²)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)	Volume de Corte Acumulado(m³)	Volume de Aterro Acumulado(m³)	Volume Líquido (m³)
1+0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2+0,00	5,86	0,00	85,51	0,00	85,51	0,00	85,51
3+0,00	5,32	0,00	109,75	0,00	195,25	0,00	195,25
4+0,00	7,27	0,00	125,89	0,00	321,15	0,00	321,15
5+0,00	4,39	0,00	116,51	0,00	437,66	0,00	437,66
6+0,00	1,90	0,05	62,89	0,56	500,55	0,56	499,99
7+0,00	3,26	0,00	51,59	0,56	552,14	1,11	551,03
8+0,00	1,16	0,00	44,13	0,00	596,27	1,11	595,16
9+0,00	4,06	1,05	52,19	12,63	648,46	13,74	634,71
10+0,00	6,46	0,08	105,22	13,59	753,67	27,33	726,34
11+0,00	3,01	0,00	94,67	1,00	848,34	28,33	820,01
12+0,00	1,46	0,02	45,28	0,24	893,62	28,57	865,05
13+0,00	1,07	0,00	25,73	0,18	919,35	28,75	890,60

Anexo 10 - Volumes acumulados gerados a partir das seções transversais do Ramos B.

Volume Total Ramo B							
Estacas	Área de Corte (m²)	Área de Aterro (m²)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)	Volume de Corte Acumulado (m³)	Volume de Aterro Acumulado (m³)	Volume Líquido (m³)
1+0,00	0,01	47,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1+10,00	4,65	0,04	29,01	374,45	29,01	374,45	-345,44
2+0,00	2,42	0,00	42,95	0,23	71,96	374,68	-302,72
2+10,00	0,78	0,04	16,01	0,27	87,97	374,94	-286,97
3+0,00	0,01	0,49	3,96	3,23	91,93	378,17	-286,24
3+10,00	0,00	1,26	0,07	10,52	92,00	388,69	-296,69
4+0,00	2,26	0,04	11,30	7,78	103,31	396,46	-293,16
4+10,00	1,04	0,07	16,48	0,62	119,79	397,09	-277,30
5+0,00	0,63	0,34	8,25	2,45	128,04	399,54	-271,49
5+10,00	3,99	0,00	22,82	2,05	150,87	401,59	-250,72
6+0,00	1,87	0,06	28,94	0,33	179,81	401,92	-222,11
6+10,00	6,48	0,00	41,00	0,34	220,81	402,25	-181,44
7+0,00	4,15	0,70	52,00	4,04	272,81	406,30	-133,49
7+10,00	3,74	0,29	38,63	5,82	311,45	412,11	-100,67
8+0,00	4,52	0,15	41,12	2,69	352,57	414,80	-62,23