UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO HIDRÁULICO/ECONÔMICO DE UM TRECHO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO PERÍMETRO IRRIGADO SALITRE/CODEVASF

THIAGO FRANKLIN SANTOS DE ALMEIDA

Recife
2014

THIAGO FRANKLIN SANTOS DE ALMEIDA

ESTUDO HIDRÁULICO/ECONÔMICO DE UM TRECHO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO PERÍMETRO IRRIGADO SALITRE/CODEVASF

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para obtenção o título de Graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração:
Engenharia de Recursos Hídricos

Orientador:
José Roberto Gonçalves de Azevedo

Recife
2014

Catalogação na fonte
Bibliotecário Vimário Carvalho da Silva, CRB-4 / 1204

A447e Almeida, Thiago Franklin Santos de.
Estudos hidráulico/econômico de um trecho do sistema de captação de água do perímetro irrigado Salitre/CODEVASF. / Thiago Franklin Santos de Almeida. - Recife: O Autor, 2014.
117 folhas, il., foto., color., gráfs., tabs, plantas e mapas.

Orientador: Profº. José Roberto Gonçalves de Azevedo.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2014.
Inclui Bibliografia, índice de quadros e figuras, além de anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Estudo econômico. 3. Dimensionamento hidráulico. 4. Semiárido. 5. Água. I. Azevedo, José Roberto Gonçalves de (orientador). II. Título.

624 CDD (22. ed.) UFPE
BCTG/2014-347

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 - .....
2 - .....

BANCA EXAMINADORA:
Orientador: .....
Examinador 1 .....
.....
Examinador 2 .....
.....

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: ESTUDO HIDRÁULICO/ECONÔMICO DE UM TRECHO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO PERÍMETRO IRRIGADO SALITRE/CODEVASF.....
.....

LOCAL: LAB. DE HIDRÁULICA - CTG ... **HORÁRIO DE INICIO:** 8:55 ...

Em sessão pública, após exposição de cerca de 20 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) argüido(s) oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1) (X) **aprovado(s)**, pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito

(X) **Sem revisões.**

( ) **Com revisões,** a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias.(o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2) (..) **reprovado(s).**

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 10 de DEZEMBRO de 2014.

Orientador: .....
Examinador 1 .....
Examinador 2 .....
Candidato 1 .....
Candidato 2 .....

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à DEUS, à minha família, aos verdadeiros amigos e aos professores de toda a jornada.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio do consócio Plena/Projetec a partir da Adequação do Perímetro Irrigado Salitre-BA, solicitado pela Codevasf – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba.

Ao professor e amigo José Roberto Gonçalves de Azevedo, pela orientação e apoio transmitido durante o trabalho, e também durante todo o curso de graduação. A Projetec Projetos Técnicos LTDA, pela oportunidade de aprendizado e fornecimento de material para este trabalho.

Aos professores Paulo Marcelo Vieira Ribeiro e Ricardo Emmanuel Souza, por terem sido decisivos no estímulo para terminar o meu curso e me despertar para engenharia.

Aos meus pais, Maria das Dores e Romeu que me guiaram, com paciência, da melhor forma nessa trajetória. Igor, meu irmão caçula, pelo companheirismo nos momentos de descontração e de dificuldades. Aos meus tios, Doraci, Denilson, Veracilda e Ramos pelas grandiosas ajudas ao longo da caminhada.

Ao meus avós, Manoel (In Memoriam) , Sebastião (In Memoriam), Maria do Carmo (In Memoriam) e Maria Paz, que sempre foram exemplos de pessoas cidadãs, além de passar ensinamentos fundamentas para minha vida.

A Liamara pelo amor, companheirismo e confiança. Obrigado por tudo.

Aos queridos primos Letícia, Luís Filipe, Rodolpho, Carol, Leylane, André, Quinho, Ariston e Valter, além do agregado Wander.

Aos meus amigos Marconi, Pedro, Luizinho, Djalma, Edjailson, Abner, Artur e tantos outros que me acompanharam ao longo da jornada da graduação, por suas amizades.

Aos colegas de trabalho Bruno, Jaílton, Johana, Igor Livera, Joanderson, Tarek, Waldério, Alexandre, Ana, Tarcísio e Ricardo Viera pelas valiosas pela confiança e contribuições prestadas neste trabalho, muito obrigado.

APRESENTAÇÃO

O trabalho tem como base o comparativo entre duas soluções para um trecho de adução secundária do Perímetro Irrigado Salitre, localizado no estado da Bahia. A opção utilizada no Projeto foi a da construção de uma linha de adutora enterrada.

A solução alternativa proposta nesse trabalho foi a da construção de um canal a céu aberto, com revestimento de geomembrana e concreto, levando as considerações realizadas na Adequação do Projeto Básico realizado pelo consórcio Plena/Projetec.

Foi realizado, então, um estudo hidráulico/econômico de um trecho de Canal CS-590.2, para chegar-se ao resultado final desse trabalho.

RESUMO

TÍTULO: ESTUDO HIDRÁULICO/ECONÔMICO DE UM TRECHO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO PERÍMETRO IRRIGADO SALITRE/CODEVASF

AUTOR: THIAGO FRANKLIN SANTOS DE ALMEIDA

A escassez de água é algo rotineiro no semiárido brasileiro, prejudicando a população que reside nessa área. A falta d'água além de ser um sério problema social da região, torna-se também um empecilho econômico para as pessoas residentes. Consequência disso, é contínuo conflito pelo uso da água. A implantação de canais de adução de águas provindas do rio São Francisco, o rio da integração nacional, é uma solução adequada para combater tais situações rotineiras, que foram relatadas. O Projeto do Perímetro Irrigado Salitre, localizado no município de Juazeiro-BA, constitui de uma captação do rio São Francisco através de um canal de aproximação, e de condução de águas para os perímetro irrigados denominados Salitre, FAO e Chesf, numa área total de 25.296 ha. Na Adequação do Projeto Básico realizado pelo consórcio Plena/Projetec no ano de 2013, houve um trecho de adução secundária, chamado de CS-590 (a partir da estaca 9+000 até a 21+830) , o qual, em um determinado trecho, seu traçado seguiria perpendicularmente as curvas de nível topográficas, enfrentando grandes declividades. No Projeto de Adequação, foi adotada para esse trecho uma solução de conduto fechado, ou seja, uma adutora por gravidade, o qual foi dimensionado na ocasião e realizado ser o orçamento dessa solução. Neste trabalho de conclusão de curso, foi realizado o dimensionamento hidráulico/econômico desse referido trecho do CS-590, chamado então de 590.2, adotando a solução em canal de céu aberto, calculando e verificando seus consequentes parâmetros hidráulicos e realizado seu orçamento, à nível de Anteprojeto. Para tal objetivo, foram estudas teorias hidráulicas em condutos livres e escoamentos uniforme e gradativamente variado, adicionando a esses conceitos ferramentas computacionais do Microsoft Excel e do AutoCad Civil 3D 2012 Metric.

Palavras-chaves: Canais a Céu Aberto, Dimensionamento Hidráulico, Estudo Econômico, Estudo de Viabilidade, Comparativo de Alternativas de Engenharia Hidráulica.

ABSTRACT

TITLE: STUDY HYDRAULIC / ECONOMIC OF A STRETCH OF THE PERIMETER OF WATER CAPTURE SYSTEM IRRIGATION SALITRE / CODEVASF

AUTHOR: THIAGO FRANKLIN SANTOS DE ALMEIDA

Water scarcity is a matter of course in the Brazilian semiarid, damaging the population living in this area. The lack of water in addition to being a serious social problem in the region, it is also an economic obstacle for the residents. Result is ongoing conflict over water use. The implementation of water adduction channels originated from the São Francisco River, river of national integration the, is an appropriate way to combat such routine situations that have been reported. The Irrigated Perimeter Salitre Project, located in Juazeiro-BA, is a capture of the River through a channel of communication, and water for irrigated perimeter driving called Salitre, FAO and Chesf, a total area of 25,296 ha. In Appropriateness of the Basic Project conducted by the consortium Full / Projetec in 2013, there was a stretch of secondary adduction, called CS-590 (from cutting 9 + 000 to 21 + 830), which, in a given stretch , follow its path perpendicular topographical contours, slopes facing great. In Adequacy Project, a closed conduit solution was adopted for this portion, ie, a pipeline by gravity, which has been designed and carried out at the time the budget be that solution. In this course conclusion work was performed hydraulic / economic design of that section of the CS-590, then called 590.2, adopting the open channel in solution, calculating and verifying its consequent hydraulic parameters and performed its budget, the level Preliminary Draft. For this purpose, were studied hydraulic theories on free channels and uniform and gradually varied flow, adding to these computational tools concepts of Microsoft Excel and AutoCAD Civil 3D 2012 Metric.

Keywords: Open Channel, Hydraulic Design, Economic Design, Feasibility Study, Comparative Between Hydraulic Engineering Alternatives.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Localização do Perímetro Irrigado Salitre..... 14

FIGURA 2.1 - Variação de velocidade..... 21

FIGURA 2.2 - Representação gráfica para a equação de Bernoulli..... 25

FIGURA 2.3 - Distribuição de pressões ao longo de uma estrutura hidráulica (Adaptado de Causse, 1951)..... 29

FIGURA 2.4 - Distribuição da velocida em diferentes seções transversais (Adaptado de Chow, 1959)..... 30

FIGURA 2.5 - Perfil das velocidades em uma vertical. 30

FIGURA 2.6 - Obtenção da curva de Energia Específica. 32

FIGURA 2.7 - Ocorrência do escoamento crítico..... 35

FIGURA 2.8 - Escoamento uniforme. 36

FIGURA 2.9 - Escoamento gradualmente variado..... 40

FIGURA 2.10 - Linhas d'água em canais com declividade fraca..... 41

FIGURA 2.11 - Linhas d'água em canais com declividade forte. 42

FIGURA 2.12 - Linhas d'água em canais com declividade crítica. 43

FIGURA 2.13 - Linhas d'água em canais com declividade nula..... 44

FIGURA 2.14 - Linhas d'água em canais com declividade adversa..... 45

FIGURA 3.1 – Vista geral do CS-590.2. 48

FIGURA 3.2 – Seção transversal do CS-590.2..... 49

FIGURA 3.3 – Seção transversal esquemática..... 50

FIGURA 3.4 – Detalhes da queda (seção longitudinal)..... 53

FIGURA 3.5 – Detalhes da queda (seção transversal). 54

FIGURA 3.6 – Detalhes da queda (planta esquematizada). 55

FIGURA 3.7 – Trecho do alinhamento CS-590.2..... 58

FIGURA 3.8 – Trecho do perfil do CS-590.2 59
FIGURA 3.9 – Gabarito do trecho 1 do CS-590.2. 61
FIGURA 3.10–Corredor do trecho 1 do CS-590.2. 62
FIGURA 4.1 – Perfil Esquemático do CS-590.2..... 69
FIGURA 4.2 – Linha d’água no trecho a montante da Queda 1. 70
FIGURA 4.3 – Linha d’água no trecho a jusante da Queda 1. 70
FIGURA 4.4 – Linha d’água no trecho a montante da Queda 2. 71
FIGURA 4.5 – Linha d’água no trecho a jusante da Queda 2. 71
FIGURA 4.6 – Linha d’água no trecho a montante da Queda 3. 72
FIGURA 4.7 – Linha d’água no trecho a jusante da Queda 3. 72

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1.1 – Área do Projeto Salitre (antes da adequação)..... 15
QUADRO 1.2 – Área Final do Projeto Salitre 16
QUADRO 2.1 – Regime de escoamento e o número de Reynolds..... 18
QUADRO 2.2 - Parâmetros característicos de algumas seções usuais.27
QUADRO 2.3 – Coeficientes de rugosidade para canais artificiais..... 38
QUADRO 2.4 – Coeficientes de rugosidade para canais naturais..... 39
QUADRO 2.5 - Possibilidades de ocorrência de linhas d'água..... 46
QUADRO 3.1 – Critérios de velocidades de canais..... 49
QUADRO 3.2 – Taludes usuais em canais..... 50
QUADRO 3.3 – Divisãodos trechos do CS-590.2..... 51
QUADRO 3.4 – Exemplo de planilha do Standard Step Method..... 56
QUADRO 4.1 – Seções Transversais do Canal CS-590.2..... 67
QUADRO 4.2 – Elevações do Canal CS-590.2. 67
QUADRO 4.3 – Parâmetros Hidráulicos do CS-590.2. 68
QUADRO 4.4 – Parâmetros Hidráulicos das quedas do CS-590.2..... 68
QUADRO 4.5 – Volume de escavação no CS590.2. 73
QUADRO 4.6 – Relação entre aterro x escavação no CS-590.2..... 73
QUADRO 4.7 – Orçamento do CS-590.2. 75
QUADRO 4.8 – Comparativo das alternativas do CS-590.2. 76

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 13

1.1 JUSTIFICATIVA 13

1.2 OBJETIVO 16

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS ESCOAMENTOS 17

2.2 EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DO ESCOAMENTO 19

2.2.1 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE 20

2.2.2 EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO 20

2.2.3 EQUAÇÃO DE ENERGIA - BERNOULLI 22

2.3 ESCOAMENTOS LIVRES 25

2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E HIDRÁULICAS 26

2.3.2 VARIAÇÃO DA PRESSÃO 28

2.3.3 VARIAÇÃO DA VELOCIDADE 29

2.3.4 ENERGIA ESPECÍFICA 31

2.3.5 NÚMERO DE FROUDE 33

2.3.6 OCORRÊNCIA DE ESCOAMENTO CRÍTICO 34

2.4 ESCOAMENTO UNIFORME 35

2.4.1 RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO 36

2.4.2 ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE ATRAVÉS DE TABELAS 38

2.5 ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO 39

2.5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO 39

2.5.2 CANAIS COM DECLIVIDADE FRACA 41

2.5.3 CANAIS COM DECLIVIDADE FORTE 42

2.5.4 CANAIS COM DECLIVIDADE CRÍTICA 43

2.5.5 CANAIS COM DECLIVIDADE NULA.....44
2.5.6 CANAIS EM ACLIVE 45
3. Metodologia..... 47
3.1 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DO CANAL 49
3.2 QUEDAS E SUAS SINGULARIDADES.....52
3.3 DETERMINAÇÃO DA LINHA D'ÁGUA NAS QUEDAS 55
3.4 CONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CANAL 56
3.5 CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS.....63
4. RESULTADOS..... 66
4.1 TRAÇADO DO CANAL.....66
4.2 LÂMINA D'ÁGUAS NAS SEÇÕES DE QUEDA 69
4.3 VOLUME DE MATERIAL MOVIMENTADO 73
4.4 ORÇAMENTO FINAL DO 590.2.....74
4.5 COMPARATIVOS DAS SOLUÇÕES 76
5. CONCLUSÃO..... 78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81
7. ANEXOS 82

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Um dos problemas que desafia a engenharia no Brasil é solucionar a escassez de água no semiárido brasileiro, principalmente na região Nordeste, onde esse problema não é nada recente. A falta de água, que possa ser utilizada tanto para a agricultura, pecuária e/ou abastecimento humano, é um fator agravante para o desenvolvimento dessa região, onde por muitos anos, as pessoas migravam para outras regiões do país em busca de melhores condições de vida.

A maior parte da precipitação no semiárido é concentrada durante três meses do ano, sendo necessária a construção de estruturas de armazenamento de água, para que esta seja garantida durante o restante do ano. Ultimamente, as soluções mais utilizadas para combater a escassez de água no semiárido foram a construção de canais de adução e de adutoras, que têm por finalidade viabilizar a implantação de perímetros irrigados nessas regiões, garantido assim uma forma de desenvolvimento econômico e social.

Diante deste contexto, o Governo Federal, através do Ministério da Integração Nacional e da CODEVASF, vem gerindo propostas inovadoras para o que se refere à implantação e gestão de perímetros públicos de irrigação, com a intenção de maximizar o retorno econômico dos investimentos e permitir a apropriação por amplas parcelas da população desses ganhos.

Diante da necessidade de alternativas para a resolução do problema da escassez de recursos estatais necessários ao desenvolvimento da deficitária infraestrutura brasileira, foi é instituída pela Lei Federal nº 11.079/2004, a figura da Parceria Público-Privada (PPP). Trata-se de um mecanismo que visa à maximização da atração do capital privado para a execução de obras públicas e serviços públicos por meio de concessão, bem como para a prestação de serviços de que a Administração Pública seja usuária direta ou indireta.

Nesse contexto, foi lançado em novembro de 2012 o Programa Mais Irrigação, com a diretriz de modificar a forma como o Governo trata tais empreendimentos, prevendo o envolvimento de parceiros privados na implantação e na gestão dos

perímetros públicos de irrigação. A participação da inciativa privada se dá através da Concessão do Direito Real de Uso (CDRU) para ocupação produtiva das áreas irrigadas e da Participação Público-Privada (PPP) no Serviço de Irrigação, com a implantação e gestão das infraestruturas dos perímetros.

O Perímetro Irrigado Salitre está situado ao norte do estado da Bahia, cerca de 20 km ao sul da cidade de Juazeiro e 500 km ao norte de Salvador, a margem direita do rio São Francisco, próximo e a jusante da barragem de Sobradinho, entre as coordenadas UTM 8.900.000-8.960.000 e 320.000-370.000, como mostra a Figura 1.1

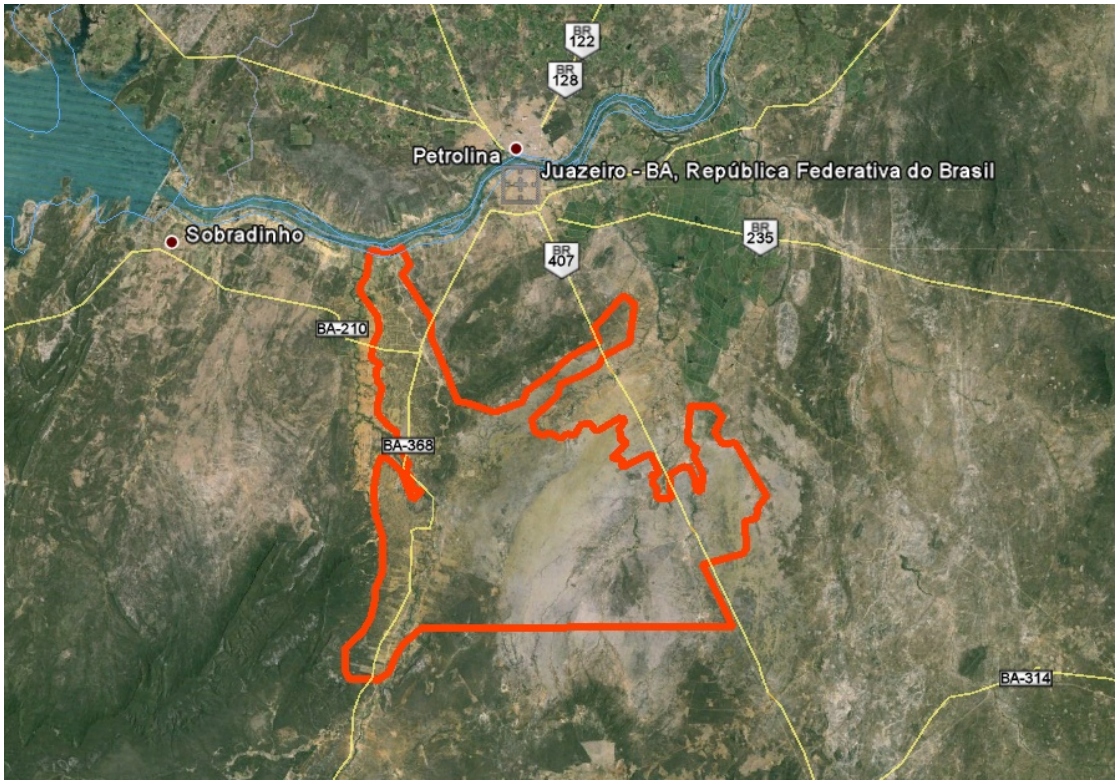


FIGURA 1.1 – Localização do Perímetro Irrigado Salitre

Fonte: Adequação do Projeto Básico – Etapas 3, 4 e 5 (Plena/Projetec, 2013).

O Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre foi desenvolvido em setembro de 1995, através do consórcio JP/Enco/Tahal, contratado pela CODEVASF. A conclusão foi realizada em setembro de 1997, considerando-se a implantação do Projeto em 5 etapas distribuídas nas subáreas CHESF (Etapa 1) e Salitre (Etapas 2 a 5). Ainda faz parte do projeto básico a subárea FAO (Etapas 2 e 5), a qual não contempla a reestruturação fundiária. Portanto, esta subárea FAO manterá a atual estrutura fundiária, diferentemente das áreas citadas acima.

O Projeto Básico de 1997 contempla uma área irrigada de 32.148 ha (CHESF, FAO e Salitre). Porém, a partir de estudos de Classe de Solos e Classe de Terras, realizados pela Embrapa e CODEVASF, em 2006, ficou estabelecida a redução de 6.012 ha das áreas irrigáveis das Etapas de 2 a 4 (subárea Salitre).

Ao final da adequação do Projeto Executivo da Etapa 1 e ao fim da construção da infraestrutura de uso comum desta mesma Etapa, foi estabelecida uma área total de 25.296 ha para o Perímetro Irrigado Salitre., como mostra o Quadro 1.1.

QUADRO 1.1 – Área do Projeto Salitre (antes da adequação)

Etapa de Implantação	Área Irrigável Atualizada (ha)
Etapa 1	5.099
Etapa 2	6.353
Etapa 3	3.932
Etapa 4	5.399
Etapa 5	4.513
Totais	**25.296**

Fonte: Adequação do Projeto Básico – Etapas 3, 4 e 5 (Plena/Projetec, 2013).

Em 2013, foi realizado pelo consórcio Plena/Projetec, a Adequação do Projeto Básico das Etapas 3, 4 e 5 (Anteprojeto), referente aos serviços de consultoria técnica para a elaboração dos estudos necessários à modelagem, licitação e contratação da concessão das terras e gestão da infraestrutura de irrigação do Perímetro Irrigado Salitre - PIS, no âmbito do Item 5.2.1 dos Termos de Referência do Contrato nº 0.042.00/2010, firmado entre a CODEVASF e o Consórcio citado, que contemplou a elaboração dos estudos para o planejamento da gestão da infraestrutura geral de irrigação de uso comum, levando em consideração, principalmente, a forma de ocupação e a exploração do Perímetro.

Por fim, considerando o Projeto Básico Hydros (2013) para a Etapa 2 e a adequação do projeto das Etapas 3, 4 e 5, desenvolvido pelo Consórcio Plena/Projetec, a área de irrigação atual do Perímetro Irrigado Salitre passou para um total de 25.323 ha, conforme pode ser observado no Quadro 1.2.

QUADRO 1.2 – Área Final do Projeto Salitre

Etapa de Implantação	Área Irrigável Atualizada (ha)
Etapa 1	5.099,00
Etapa 2	6.178,92
Etapa 3	4.286,16
Etapa 4	6.299,00
Etapa 5	3.459,90
Totais	**25.323**

Fonte: Adequação do Projeto Básico – Etapas 3, 4 e 5 (Plena/Projetec, 2013).

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral fazer uma análise hidráulica/econômica de um trecho do canal secundário CS-590 do Perímetro Irrigado Salitre, onde este faz parte da Etapa 4, e apresentar uma solução diferente da encontrada no “Adequação do Projeto Básico”, sendo esta em sistema de canal livre, para o determinado trecho do sistema de adução, no projeto de Adequação do Projeto Básico das Etapas 3, 4 e 5 Plena/Projetec (2013). As soluções propostas nesse trabalho serão comparadas com as do projeto de adequação citado.

Portanto, para este propósito, os objetivos específicos são:

- Coleta, tratamento e análise de dados necessários para a realização do trabalho;
- Estudo de Viabilidade de um trecho de canal, com o seu respectivo dimensionamento;
- Reconstruir tridimensionalmente o trecho referente ao CS-590, sendo este por adutora ou por canal de adução, do Perímetro Irrigado Salitre, utilizando o software AutoCad Civil 3D 2012 Metric;
- Quantificar os volumes de corte e aterro em materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria para integrar a análise econômica do trecho;
- Quantificar os itens contidos no orçamento do trecho, tais como volume de concreto, volume de armação, juntas, escadas, etc;
- Realizar um comparativo de custos da solução encontrada neste trabalho com a solução proposta pela “Adequação do Projeto Básico”.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS ESCOAMENTOS

No estudo da hidráulica, os escoamentos podem ser classificados, normalmente, no que diz respeito à pressão, variação no tempo, trajetória, trajetória das partículas, direção da trajetória das partículas e velocidade angular das partículas.

No conduto, sobre a pressão este pode ser classificado como *forçado* ou *livre*. Quando a pressão é sempre diferente da atmosférica e, portanto o este tem que ser fechado, como por exemplo, nas tubulações de recalque e sucção das bombas em estações elevatórias em sistema de abastecimento de água, é classificado como forçado. No escoamento livre a pressão na superfície do líquido é igual a atmosférica, podendo o conduto ser aberto, como em canais de irrigação, ou fechados, como nas redes coletoras de esgoto.

A experiência de *Osborne Reynolds* que consiste na injeção de um corante continuamente em um ponto do escoamento, permite visualizar os dois tipos de escoamento classificados devido a trajetória das partículas, sendo *laminar* ou *turbulento*. No fluxo laminar o corante forma um filete bem definido, sem que haja mistura com o líquido, uma vez que as várias camadas do líquido se movimentam sem perturbação. Porém, se as partículas do líquido têm trajetórias irregulares, causando uma transferência de quantidade de movimento de uma parte a outra no fluido, este fluxo é classificado como turbulento. Neste caso, no experimento de Reynolds, ocorre a mistura do corante com a massa líquida.

Em geral, na Engenharia Hidráulica, os escoamentos são classificados com turbulentos. O escoamento laminar pode ocorrer quando a velocidade é muito pequena ou quando o fluido é muito viscoso. Considerando as indicações de Reynolds, tem-se a Equação 2.1 descrita a seguir. O Quadro 2.1 apresenta os Números de Reynolds correspondentes aos limites dos regimes de escoamento na citada experiência, conforme se deem os condutos livres ou forçados.

$$Re = \rho U \mathrm{D}/\mu \quad \text{ou} \quad Re = UD/\upsilon \tag{2.1}$$

onde:

Re - Número de Reynolds;

ρ - massa específica do líquido;

D_h–Dimensão geométrica característica;

U –velocidade média do escoamento;

μ – viscosidade dinâmica;

υ – viscosidade cinemática.

QUADRO 2.1 – Regime de escoamento e o número de Reynolds

Regime	Condutos Livres	Condutos Forçados
	Re = U*R/v	Re = U*D/v
Laminar	Re < 500	Re < 2000
Transição	500 < Re < 1000	2000 < Re < 4000
Turbulento	Re > 1000	Re > 4000

Quanto à variação no tempo, os escoamentos podem ser classificados como *permanentes* e *transitórios*. No regime transitório, não há variação das características do escoamento ao longo do tempo, assim como a velocidade vetorial e também as outras propriedades, como massa específica, pressão, entre outras. Os escoamentos transitórios podem ainda ser subdivididos de acordo com a taxa de variação da velocidade e da pressão. Se a variação destas for lentamente, como em uma tubulação abastecida por um reservatório de nível variável, a mudança é lenta e compressibilidade do líquido não é relevante. Entretanto, quando esta mudança é brusca, como nos casos de fechamento rápido de válvulas em condutos forçados, ondas de pressão são geradas e transmitidas com a velocidade de propagação do som e causam uma variação acentuada de pressão, onde nestes casos a compressibilidade é um fator importante, sendo chamado de *Transiente Hidráulico* ou *Golpe de Aríete*.

Com relação à trajetória, os escoamentos podem também ser classificados em *uniforme* e *variado*. No escoamento uniforme o vetor velocidade é constante em módulo, direção e sentido, em qualquer instante e em todos os pontos. Exemplos de escoamento uniforme são encontrados em condutos de seção constante de grande extensão, como adutora e canais prismáticos cuja atura da lâmina d'água é invariável. já no escoamento variável, o vetor velocidade não é constante ao longo

do espaço. Canais com declividades variáveis ao longo de sua extensão e adutoras com vários diâmetros são exemplos de escoamento variado.

Conforme o número de dimensões envolvidas no fenômeno, têm-se ainda os escoamentos *unidimensionais, bidimensionais* e *tridimensionais*. No primeiro tipo são desprezíveis as variações das grandezas na direção transversal ao escoamento, tendo em vista as variações dessas mesmas grandezas ao longo do escoamento. Os escoamentos em condutos forçados são considerados unidimensionais, uma vez que as grandezas, como velocidade, pressão e propriedades físicas são expressas em termos de valores médios constantes para toda a seção transversal.

No escoamento bidimensional admite-se que as variações das grandezas podem ser expressas em função de duas coordenadas. Isso impõe que, as variações da velocidade, da pressão e demais grandezas podem ser descritas num plano paralelo ao do escoamento. No tridimensional, suas características variam nas três dimensões, e por esta condição sua análise exige métodos matemáticos mais complexos.

No que se refere à velocidade angular das partículas que compõe o fluido, os escoamento podem ser *rotacionais* e *irrotacionais*. No escoamento rotacional a velocidade angular é diferente de zero, e no irrotacional esta velocidade é igual à zero.

2.2 EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DO ESCOAMENTO

Em sua grande maioria, os escoamentos podem ser considerados unidimensionais e em regime permanente, desta forma há uma simplificação muito considerada das equações de fluxo normalmente utilizadas, sendo estas:

- Equação da Continuidade;
- Equação da Quantidade de Movimento;
- Equação de Bernoulli.

Pequenos ajustes nestas equações podem ser introduzidas para contemplar situações em que o escoamento também esteja caracterizado em duas ou três dimensões. Logo, para atender a estas situações o escoamento é representado por suas características médias - velocidade média, densidade média, entre outras - e

os efeitos que acontecem numa seção transversal são corrigidos através de coeficientes.

2.2.1 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

A lei física de conservação de massa estabelece que a massa não pode ser criada ou destruída, conhecida também com a Lei de Lavoisier ("Na natureza nada se cria, nada se destrói, tudo se transforma" - Lavoisier). A Equação da Continuidade é consequente dessa lei, onde pode-se dizer que a massa que entra no tubo será igual a massa que sai do tubo. De outra forma, aplcand0-se este conceito entre duas seções, "1" e "2", de um conduto, tem-se então:

$$\rho_1 \times A_1 \times U_1 = \rho_2 \times A_2 \times U_2 \quad (2.2)$$

Considerando que, praticamente, a hidráulica trata de condição de água, que é um fluido praticamente incompreensível, cuja massa específica no regime permanente pode ser considerada constante, a equação da continuidade assume uma forma mais simples quando aplicada em um trecho entre duas seções onde não haja entrada ou saída de água, sendo esta:

$$A_1 \times U_1 = A_2 \times U_2 = Q \quad (2.3)$$

onde:

A -área da seção transversal do escoamento em m²;

U - velocidade média do escoamento em m/s;

Q - vazão em m³/s.

2.2.2 EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Assim como a equação da continuidade, a Equação da Quantidade de Movimento foi deduzida de uma lei da física, a segunda lei de Newton, aplicando esta ao conceito de qualidade de movimento (m x V), ou seja:

$$\vec{R} = d(m \times \vec{V})/dt \quad (2.4)$$

Logo, aplicando este conceito ao caso de escoamento de líquidos na equação 2.4, chega-se a seguinte resultado:

$$\vec{R} = \rho \times Q(\beta_2 \times \overrightarrow{U_2} - \beta_1 \times \overrightarrow{U_1}) \quad (2.5)$$

onde:

R (colocar vetor)- resultante das forças externas atuantes no sistema;

ρ - massa específica do líquido;

Q - vazão escoada;

U - vetor que representa a velocidade média do escoamento, na seção considerada;

β – coeficiente de quantidade de movimento, ou de Boussinesq.

Vale salientar a diferença entre as forças internas e as externas. As forças internas são devidas às interações no interior da massa considerada, nesse caso o liquido utilizado, sendo nula a resultante destas, devido a cada ação resulta em uma reação, como é explicito na primeira lei de Newton. Já as forças externas agem sobre a superfície fechada, onde, dentre estas se destinguem as forças devido ao peso e à pressão.

O Coeficiente de Boussinesq (da quantidade de movimento) β leva em consideração a variação existente entre a velocidade das partículas do escomento*V* e a velocidade média *U*consderada numa dada seção de área *A*correspondente,como mostra a Figura 2.1 abaixo, em termos de quantidade de movimento.

$$\beta = \frac{\int_A V^2 dA}{U^2 \times A} \qquad (2.6)$$

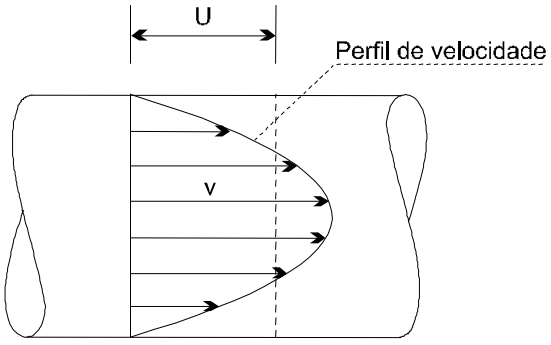


FIGURA 2.1 - Variação de velocidade.

Fonte: Baptista et. al. (2011).

Na maioria das aplicações práticas, pode-se adotar β = 1,0. Mas, nos escoamentos turbulentos, o coeficiente β normalmente é superior a 1,1, e nos escoamentos laminares é 1,33.

2.2.3 EQUAÇÃO DE ENERGIA - BERNOULLI

Um caso particular da Primeira Lei da Termodinâmica gera a equação de Bernoulli. pois esta lei estabelece que a mudança de energia interna de um sistema é igual à soma da energia adicionada ao fluido com o trabalho realizado pelo fluido. Podemos expressar uma forma geral de expressar esta lei para o caso de um escoamento entre duas seções de um fluido incompressível em regime permanente da seguinte forma:

$$\left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha\frac{U_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha\frac{U_2^2}{2g}\right) = H_m + \Delta h \qquad (2.7)$$

O lado esquerdo da Equação 2.7 corresponde ao gasto médio de energia para o fluido ser transportado da seção 1 para a 2. Já o lado direto da equação representa o trabalho realizado por uma máquina desde o sistema ao exterior, somando também a perda de energia mecânica. Com isso, é sabido que cada parcela da Equação 2.7 representa um tipo de energia do elemento fluido de peso unitário, cuja unidade pode ser escrita como N.m/N, ou simplesmente m (metro). Portanto, tendo uma dimensão linear, estas parcelas são denominadas de carga, como pode ser visto a seguir:

Z - energia ou carga de posição;

P/γ - energia ou carga de pressão;

αU²/2g - energia ou carga de velocidade, também denominada de taquicarga;

H_m - energia aplicada ou retirada por alguma máquina;

ΔH – perda de energia mecânica ou perda de carga.

O coeficiente de energia cinética ou de Coriolis (α) tem por função corrigir o cálculo da parcela relativa à energia cinética, tendo em vista a adoção da velocidade média do fluxo ($\alpha U^2/2g$), no lugar da média das energias cinéticas das partículas ($V^2/2g$). Logo adota-se o valor α para os seguintes casos:

- Se o escoamento for laminar: α = 2,0;

- Se o escoamento for turbulento: α varia de 1,0 a 1,1.

Adota-se, em geral, α = 1,0, a não ser que haja trabalhos que exijam muita precisão ou razões fortes para supor variações significativas das velocidades nas seções.

A parcela H_m representada na Equação 2.7 representa o efeito de uma máquina no sistema, como já foi relatado, deve levar em consideração qual o tipo de máquina. Caso seja uma turbina, o qual utilizaria energia do sistema, o sinal da parcela seria positivo, mas no caso de a máquina fosse uma bomba que cede energia ao sistema, o sinal deveria ser negativo.

Na hidráulica, a parcela Δh é chamada de perda de carga e não contribui para o movimento do fluido. Isso acontece devido ao fato de que no escoamento dos fluidos reais uma parte da energia mecânica é despendida em forma de calor e em mudança interna, por causa das resistências ao escoamento, tais como viscosidade, turbulências, atrito, etc.

A equação da energia aplicada a duas seções, para objetivos práticos da hidráulica, de um escoamento permanente onde não existe máquina é denomina equação de Bernoulli para os fluidos reais, normalmente escrita para condutos forçados da seguinte forma:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} + \Delta h \qquad (2.8)$$

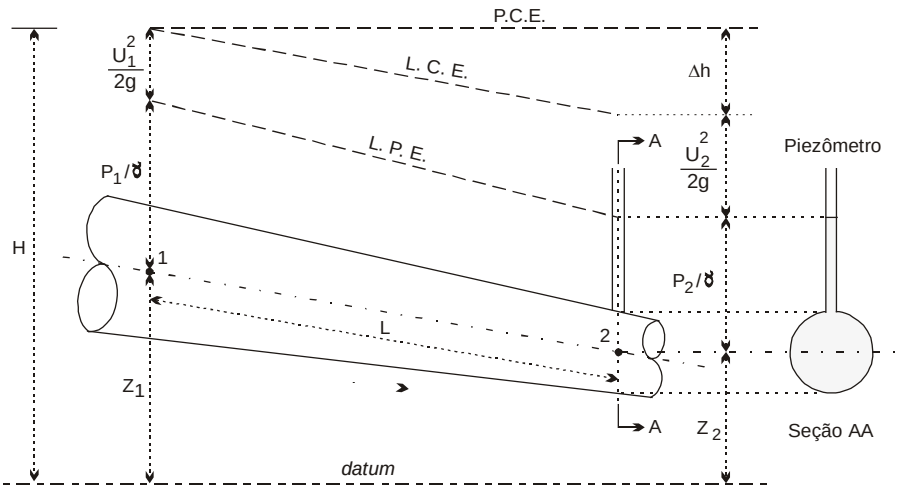
Na equação de Bernoulli (2.8), a soma das parcelas $Z+P/\gamma$ é denominada energia potencial, e as parcelas $\alpha U^2/2g$ de energia cinética.

Para determinar o valor da perda de carga, deve-se medir os outros termos da equação 2.8, que são de fácil medição. Porém, prever essa perda de carga tem sido um desafio para várias gerações de cientistas. Em 1904 ocorreu uma das mais importantes contribuições teóricas para a explicação desse fenômeno, quando *Ludwing Prandtl* desenvolveu a teoria da *Camada Limite*. Segundo essa teoria, o líquido em escoamento adere à superfície sólida do conduto, e consequentemente, a velocidade varia desde um valor zero junto à superfície sólida, até um onde as condições de contorno não são mais sentidas, no qual é chamada de camada limite. Segundo Prandtl, somente dentro da camada limite os efeitos da viscosidade são importantes, e que fora dela os fluidos podem ser considerados não viscosos. A

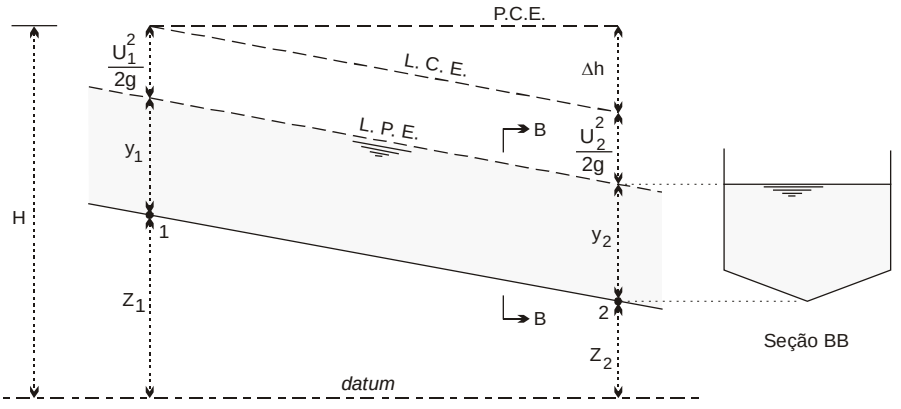
superfície de fronteira em tubos e canais influenciam os escoamentos, e portanto, os escoamentos são influenciados ela camada limite.

Esta teoria relatada serviu para explicar porque as leis da física, quando aplicadas aos escoamentos dos fluidos, apresentavam bons resultados somente fora da camada limite.

As parcelas da Equação (2.8) podem ser representadas graficamente, uma vez que apresentam parcelas lineares. A Figura 2.2 mostra esta representação, tanto para o caso de um conduto forçado, quanto para o caso de um conduto livre. No último caso, a parcela correspondente a carga de pressão P/γ pode ser substituída pela lâmina de água *y*, quando as pressões seguem uma distribuição hidrostática, ou seja, $P=\gamma y$.



(a) Conduto forçado



(b) Conduto livre

FIGURA 2.2 - Representação gráfica para a equação de Bernoulli.

Fonte: Baptista et. al. (2011).

Destrinchando cada termo da figura acima, temos que a soma ($Z+P/\gamma$) corresponde à energia potencial e determina a linha piezométrica. Esta linha representa o nível do qual o liquido atingiria em cada ponto ao longo do escoamento.

A parcela $\alpha U^2/2g$ corresponde a energia cinética, e acrescentada à energia potencial determina a linha de energia, simbolizando desta forma a energia hidráulica total possuída pelo líquido. A redução (abaixamento) da linha de energia entre dois pontos no escoamento corresponde a perda de carga nesse trajeto.

Caso seja adotado para P o valor correspondente à pressão efetiva, temos:

- Linha Piezométrica Efetiva (L.P.E.): $Z + P/\gamma$;
- Linha de Carga Efetiva (L.C.E.): $Z+P/\gamma + \alpha U^2/2g$;
- Plano de Carga Efetivo (P.C.E.): $Z + P/\gamma + \alpha U^2/2g + \Delta h$.

Nos escoamentos livres, a carga de pressão P/γno fundo do conduto corresponde à profundidade *y*, conforme pode ser observado na Figura X2. Neste caso, a equação de Bernoulli apresenta-se da seguinte forma:

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} + \Delta h \qquad (2.9)$$

2.3 ESCOAMENTOS LIVRES

Os escoamentos livres, também chamados de escoamentos em canais abertos, são caracterizados pela presença de uma superfície de contato com a atmosfera, portanto, submetida a pressão atmosférica. O contato de dois fluidos – água e ar – com características físicas distintas representa a superfície livre. Ela apresenta uma significativa deformabilidade no tempo e no espaço, levando em consideração à intensa variabilidade das condições de contorno, e dando origem a uma série de fenômenos específicos, tais como ressalto hidráulico e o remanso.

A grande variabilidade das paredes dos condutos, quanto à forma e quanto à rugosidade, é outro aspecto importante dos escoamentos livres. Esta variação pode ocorrer também no tempo e no espaço.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E HIDRÁULICAS

Na hidráulica podem ser definidos parâmetros em função da geometria da seção transversal e da profundidade de escoamento. Tais parâmetros tem uma grande importância e são largamente utilizados nos cálculos hidráulicos. Estes Parâmetros são:

- Área Molhada ou Seção (A_m) - parte da seção transversal que é ocupada pelo líquido;
- Perímetro Molhado (P_m) - comprimento relativo ao contato do líquido com o conduto;
- Largura Superficial (B) - largura da superfície em contato com a atmosfera;
- Profundidade (y) - altura do líquido acima do fundo do canal;
- Profundidade Hidráulica (y_h) - razão entre a área molhada e a largura superficial ($y_h=A_m/B$);
- Raio Hidráulico (R_h) - razão entre a área molhada e o perímetro molhado ($R_h=A_m/P_m$).

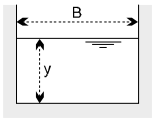
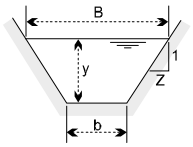
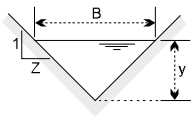
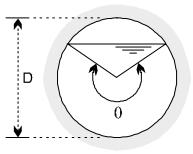
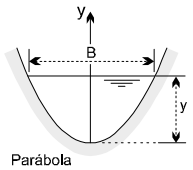
O Raio Hidráulico é uma característica muito importante da dimensão hidráulica, pois é utilizada para o cálculo do Numero de Reynolds.

Para alguma seções de formas geométricas definidas, os elementos descritos anteriormente podem ser expressos de uma forma analítica, conforme o Quadro 2.2, onde são apresentadas nas seções mais utilizadas na hidráulica de canais abertos.

As seções trapezoidais são bastantes empregadas usualmente em canais de todos os portes, podendo ou não ter revestimento. Da mesma forma, seções retangulares têm também emprego bastante amplo, sendo construídas estruturas mais rígidas para garantir a estabilidade dos taludes. Já as seções circulares são utilizadas para conduzir escoamento com vazões reduzidas, como por exemplo, numa rede de esgoto e numa rede de águas pluviais. Sarjetas rodoviárias e urbanas utilizam, normalmente, seções triangulares.

Na utilização de seções triangulares e trapezoidais, é utilizado um parâmetro geométricos "Z", como mostra o Quadro 2.2. Ele determina a inclinação do talude, correspondente entra a inclinação horizontal e vertical deste.

QUADRO 2.2 - Parâmetros característicos de algumas seções usuais.

	Área	Perímetro Molhado	Raio Hidráulico	Largura Superficial	Profundidade Hidráulica
	by	b + 2y	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y
	(b + Zy) y	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{(b + Zy) y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$	b + 2Zy	$\frac{(b + Zy) y}{b + 2Zy}$
	Zy^2	$2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$	2Zy	0,5y
	$0,125\ (\theta - \text{sen}\ \theta)\ D^2$	0,5 θ D	$0,25\left(\frac{\theta - \text{sen}\ \theta}{\theta}\right)D$	$2\sqrt{y\ (D - y)}$	$0,125\left(\frac{\theta - \text{sen}\ \theta}{\text{sen}\ \frac{1}{2}\theta}\right)D$
 * Para y < B/4	$\frac{2}{3}$ By	$B + \frac{8y^2}{3B}$	$\frac{2B^2y}{3B^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}$ y

Fonte: Baptista et. al. (2011)

Caso a seção seja constante ao longo de toda a extensão do conduto, este é considerado prismático, e permitem obter um escoamento uniforme. Ou seja, com profundidades constantes ao longo do escoamento para uma dada vazão. Mas, no caso de canais, esta é uma situação que não ocorre com muita frequência.

O escoamento livre se processa exclusivamente em função da aceleração da gravidade, logo os desníveis ao longo do escoamento desempenham um papel primordial no seu estudo, sedo a *declividade* correspondente ao parâmetro característico. Estas são adimensionais, expressas em *m/m* (metro por metro), correspondendo entre a razão do desnível com a distância horizontal.

2.3.2 VARIAÇÃO DA PRESSÃO

Em escoamentos livres, a diferença de pressão entre a superfície livre e o fundo não pode ser desprezada, pois não considerando interferências devidas a turbulência, constata-se que a pressão em qualquer ponto da massa líquida é aproximadamente proporcional à profundidade, ou seja, a distribuição de pressão na seção obedece a Lei de Stevin (distribuição hidrostática de pressões). Logo, pode-se assumir a seguir o seguinte critério:

$$P = \gamma \times h \tag{2.10}$$

onde:

P - pressão;

γ - peso específica do líquido;

h - profundidade do ponto considerado.

Na realidade, a hipótese de distribuição hidrostática de pressões ocorre apenas em escoamento uniforme, onde só há componente de aceleração paralelo ao fundo do conduto. Mas, para fins práticos, pode-se considerar também os escoamentos gradualmente variados como sendo paralelos, ou seja, assume-se também para estes uma distribuição hidrostática das pressões.

Para canais com declividade reduzida, observa-se uma distribuição de pressão bastante próxima a hidrostática. Pode-se introduzir um critério de declividade para distinguir dois tipos de canais, e consequentemente, as simplificações passíveis de serem consideradas:

- Canais com pequenas declividades (I≤10%), podendo ser considerada a distribuição hidrostática de pressões;
- Canais com grandes declividades (i>10%), para os quais é necessário considerar uma distribuição pseudo-hidrostática de pressões.

A Figura 2.3 apresentada a seguir ilustra a distribuição de pressões no escoamento em uma estrutura hidráulica, evidenciando zonas de subpressão (crista), sobre pressão (pé) e a distribuição pseudo-hidrostática ao longo da calha.

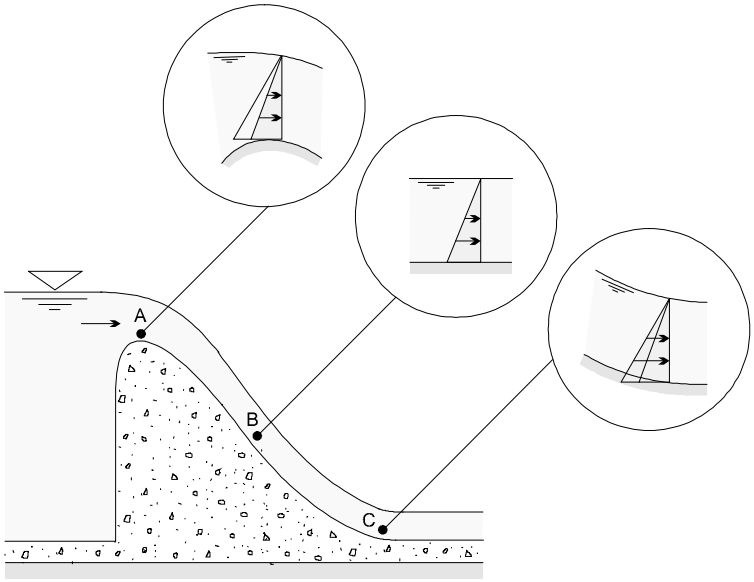


FIGURA 2.3 - Distribuição de pressões ao longo de uma estrutura hidráulica (Adaptado de Causse, 1951).

Fonte: Baptista et. al. (2011).

Portanto, pode-se concluir que usualmente se trabalha com a hipótese de distribuição hidrostática de pressões nos escoamentos em canais com fundo plano e pequenas declividades.

2.3.3 VARIAÇÃO DA VELOCIDADE

Ao longo do escoamento existe a presença de superfícies de atrito distintas, correspondentes às interfaces líquido-parede e líquido-ar, o que acarreta uma distribuição não uniforme das velocidade nos diversos pontos da seção transversal. A Figura 2.4 apresenta a distribuição das velocidades em uma seção de curso d'água. é observado que a velocidade aumenta ao longo que a distância para as margens e para o fundo é crescida, em função de que a distância para a superfície de atrito é maior.

A Figura 2.4 também ilustra a distribuição das velocidades nas seções transversais através das *Isótacas*, ou seja, das curvas de igual velocidade, em algumas seções típicas de canais.

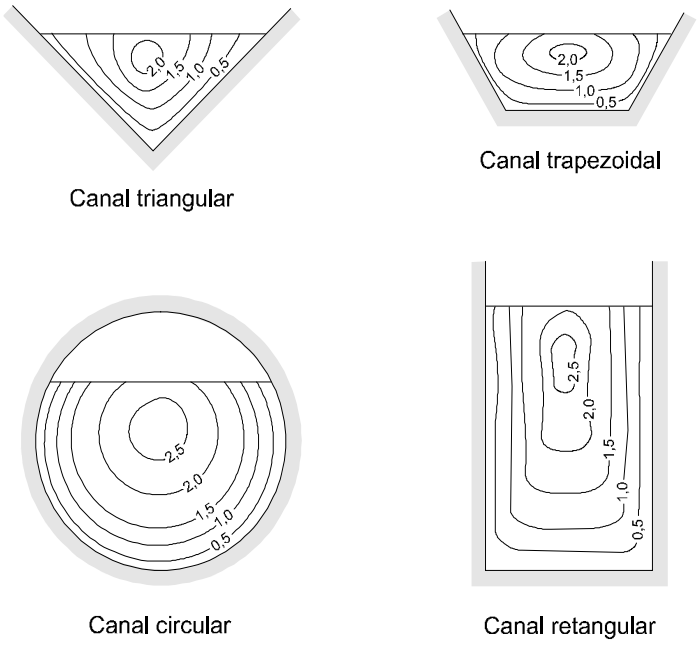


FIGURA 2.4 - Distribuição da velocida em diferentes seções transversais (Adaptado de Chow, 1959).

Fonte: Baptista et. al. (2011).

No sentido horizontal, de maneira geral, as velocidades em uma seção vão de valores nulos, junto às margens, a valores máximos nas proximidades do centro de escoamento, conforme pode ser visto na figura anterior. Já no sentido vertical, a distribuição das velocidades é aproximadamente logarítmica, partindo de um valor nulo, junto ao fundo, ao valor máximo logo abaixo da superfície, entre 5% a 25% da profundidade. O valor da velocidade média corresponde a média aritmética das velocidades a 80% e a 20% da profundidade, podendo ser considerada também aproximadamente ao valor de 60% da profundidade. A Figura 2.5 ilustra o que foi dito.

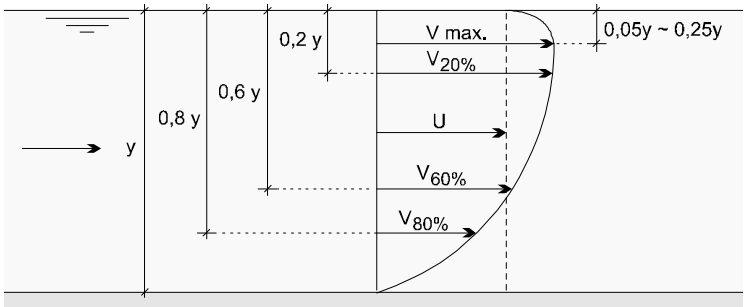


FIGURA 2.5 - Perfil das velocidades em uma vertical.

Fonte: Baptista et. al. (2011).

2.3.4 ENERGIA ESPECÍFICA

A energia correspondente à uma seção transversal de um canal é dada pela soma de três cargas: Cinética, Altimétrica e Piezométrica. Tais conceitos foram mostrados anteriormente.

Segundo Bakhmeteff, em 1912 (Chow, 1959), pode-se considerar a quantidade de energia medida a partir do fundo do canal, que corresponde apenas à energia cinética e potencial, obtendo dessa forma a expressão da *Energia Específica*:

$$E = y + \alpha \frac{U^2}{2g} \tag{2.11}$$

Adotando a = 1, como justificado nas seções anteriores, e substituindo a velocidade média pela vazão através da Equação da Continuidade, escrevemos a Equação 2.11 da seguinte forma:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \tag{2.12}$$

Considerando a área com uma função da profundidade, pode-se constatar que a energia específica é uma função apenas de *y*, para uma determinada vazão:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gf(y)^2} \tag{2.13}$$

Dessa forma, fixando-se um vazão, pode-se dizer que a Energia Específica é a distância vertical entro o fundo do canal e a linha de energia, correspondendo portanto à soma de duas parcelas, ambas funções de y:

$$E = E_1 + E_2 \tag{2.14}$$

onde:

E1 = y

E2 = Q/2gf(y)

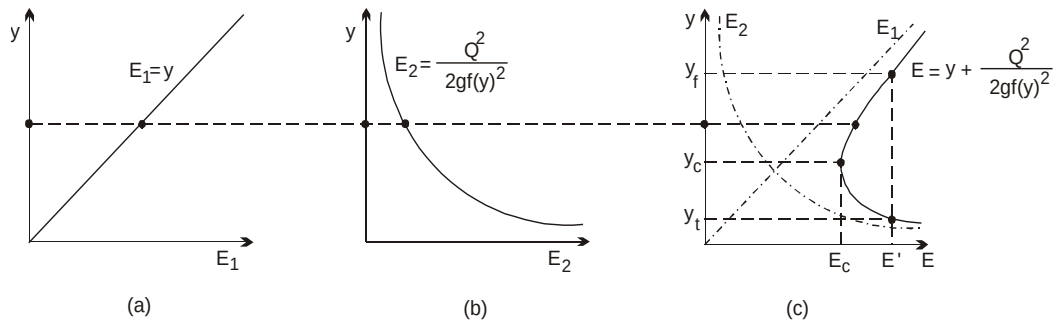


FIGURA 2.6 - Obtenção da curva de Energia Específica.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

A partir da Figura 2.6, constata-se que a energia específica não é uma função monótona crescente com *y*. Há um valor mínimo de energia correspondente a uma certa profundidade, denominada de *Profundidade Crítica - y_c. E consequentemente, a energia correspondente a y_c*é chamada de energia crítica (*E_c*).

Para um dado valor de energia, superior à *E_c*, existem dois valores de profundidade denominas *Profundidades Alternadas* (*y_f e y_t)*, e portando pode-se dizer que existem dois regimes de escoamento, denominados de *Regimes Recíprocos.*

O escoamento que acontece quando *y_f*, denominado escoamento *Superior, Tranquilo, Fluvial* ou ainda *Subcrítico.* O escoamento correspondente à *y_t é denominado Inferior, Rápido, Torrencial ou Supercrítico.* O escoamento que ocorre com escoamento que ocorre com *$y = y_c$* é denominado de *Crítico.*

Pode-se também introduzir o conceito de *Declividade Crítica.* Supondo-se inicialmente uma vazão constante escoando em um canal prismático com uma profundidade superior à crítica, e posteriormente aumentar a declividade do canal constata-se um aumento da velocidade de escoamento. Pela equação da continuidade, esse aumento de velocidade corresponde a uma redução da área molhada, e consequentemente uma redução da profundidade de escoamento, podendo-se chegar a um ponto em que a profundidade atinge um valor crítico. Portanto, tem-se então a *Declividade Crítica* (*I_c).* A declividade crítica é portanto aquela que conduz a profundidade crítica. Logo, uma declividade superior a crítica são denominadas de supercríticas, pois conduzem o escoamento a profundidades inferiores a crítica (*$y<y_c$).* Seguindo o mesmo raciocínio, temos que declividades

menores a essa, são chamadas de subcríticas, conduzindo as profundidades superiores a crítica($y>y_c$).

De forma análoga, pode-se introduzir o conceito de *Velocidade Crítica*, sendo esta também associada às condições críticas de escoamento.

2.3.5 NÚMERO DE FROUDE

A partir da equação de Energia Específica pode ser obtido um número adimensional que caracteriza o regime do escoamento quanto à energia. Esse adimensional é o *Número de Froude,* designado *Fr:*

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g y_h}} \tag{2.15}$$

A obtenção desse fator pode ser encontrado em *Baptista et al. (2011).* Analisando esse fator, temos que quando este for igual a unidade corresponde a energia específica mínima, ou seja, ao Regime Crítico de escoamento. Analisando analiticamente o número de Froude e as diferentes profundidades, temos:

- $y < y_c$: $Fr > 1$;
- $y > y_c$: $Fr < 1$.

Portanto, o número de Froude caracteriza o regime do escoamento. Quando $Fr < 1$, tem-se o regime Subcrítico. Para $Fr > 1$, tem-se o regime Supercrítico, e finalmente, $Fr = 1$ implica no regime Crítico de escoamento.

O Número de Froude representa a razão entre as forças de inércias e gravitacional, logo é um adimensional muito importante na Hidráulica. Assim, se houver uma preponderância da força gravitacional, tem-se que o denominador é maior que o numerador na Equação 2.15, tendo um regime Fluvial ($Fr < 1$). No caso preponderante das forças inerciais, tem-se o numerador maior, e consequentemente, um regime Torrencial ($Fr > 1$).

Uma interpretação energética também pode ser feita deste adimensional. Assimilando-se o termo U à Energia Cinética e o termo $\sqrt{g y_h}$ à Energia Potencial. Quando ocorre uma preponderância da energia cinética sobre a potencial, ou seja, um escoamento rápido, tem-se $Fr > 1$. Se por outro lado, a preponderância for da energia potencial sobre a cinética, teríamos $Fr > 1$. Enquanto o regime Crítico ($Fr = 1$) corresponde à condição de equilíbrio entre as formas de energia.

Finalmente, uma interpretação "cinética" do número de Froude pode ser efetuada através da comparação da velocidade de escoamento com velocidade de propagação das ondas gravitacionais. Com efeito, a velocidade de propagação dessas ondas, denominadas *Celeridades*, é dada pela seguinte forma:

$$c = \sqrt{g y_h} \tag{2.16}$$

Assim, podemos escrever:

$$Fr = U/c \tag{2.17}$$

Desta relação, pode ser tiradas as seguintes conclusões:

- Velocidade de escoamento superior à Celeridade:
  U > c → Fr> 1 → Escoamento Supercrítico;
- Velocidade de escoamento inferior à Celeridade:
  U < c → Fr< 1 → Escoamento Subcrítico;
- Velocidade de escoamento igual à Celeridade:
  U = c → Fr = 1 → Escoamento Subcrítico.

2.3.6 OCORRÊNCIA DE ESCOAMENTO CRÍTICO

Como já foi relatado, o Número de Froude igual à unidade caracteriza o escoamento crítico, e pode-se escrever que o regime crítico como:

$$Fr = U/\sqrt{g y_h} = 1 \;\rightarrow\; U = \sqrt{g y_h}$$

A partir dessa relação, e fazendo algumas considerações mostradas em *Baptista et al. (2011)*, e por razões de ordem prática, a equação mostrada acima pode ser escrita da seguinte forma, em função da *vazão específica q* (*q = Q/B*), expressa em *m³/s.m* ou *m²/s*:

$$y_c = \sqrt[3]{q^2/g} \tag{2.18}$$

A condição crítica de escoamento corresponde ao limite entre os regimes fluvial e torrencial, como já foi mostrado anteriormente. Logo, quando ocorre uma mudança do regime de escoamento, a profundidade deve passar pelo valor crítico. Entretanto, esta passagem pela condição crítica dá-se de forma distinta de acordo com o regime inicial observado (torrencial ou fluvial) como é descrito a seguir.

São diversas as situações práticas em que são observadas essas mudanças de regime. Mas, algumas podem ser citadas por serem corriqueiras a passagem do escoamento subcrítico à supercrítico:

- Passagem de uma declividade subcrítica para uma declividade supercrítica;
- Queda livre, a partir de uma declividade subcrítica a montante;
- Escoamento junto à crista de vertedores.

A Figura 2.7 mostra algumas situações de ocorrência do escoamento crítico.

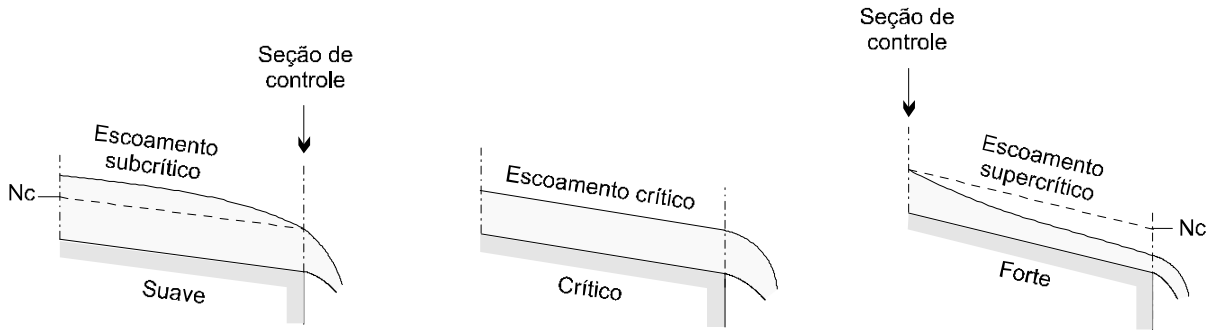


FIGURA 2.7 - Ocorrência do escoamento crítico.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

A passagem do regime supercrítico a subcrítico é verificada, por exemplo em mudanças de declividades e em saídas de comportas. Em geral essa passagem é feita de modo gradual. Observa-se uma situação de ocorrência de um fenômeno bastante importante em Engenharia Hidráulica, o chamado *Ressalto Hidráulico*, que corresponde a ume escoamento bruscamente variado, caracterizado por uma grande turbulência e uma acentuada dissipação de energia.

2.4 ESCOAMENTO UNIFORME

O Escoamento Permanente Uniforme, em condutos livres, tem como característica básica o fato de que a profundidade da água, a área molhada da seção transversal e a velocidade são constantes ao longo do conduto. Tal condição de escoamento pressupõe que a velocidade é a mesma em todas as seções, isso quer dizer que, o líquido não esteja submetido a nenhuma aceleração ou desaceleração. Em resumo, observa-se uma situação de equilíbrio das forças atuantes no volume de controle.

A profundidade associada ao escoamento, neste caso constante em todas as seções, é denominada *profundidade normal* (y_n). A linha de energia total, a

superfície do líquido e o fundo do canal possuem a mesma declividade, logo *J=I.* Portanto, pode-se associar a perda de carga no escoamento ao próprio desnível vencido pelo canal.

Esta hipótese de funcionamento hidráulico é frequentemente adotada em cálculos práticos para o dimensionamento de canais, apesar do desta corresponder a uma situação particular raramente observada na natureza. Isso acontece tendo em vista a simplicidade do seu tratamento matemático, decorrentes dos aspectos já citados.

2.4.1 RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO

A Figura 2.8 a seguir, corresponde ao escoamento uniforme.

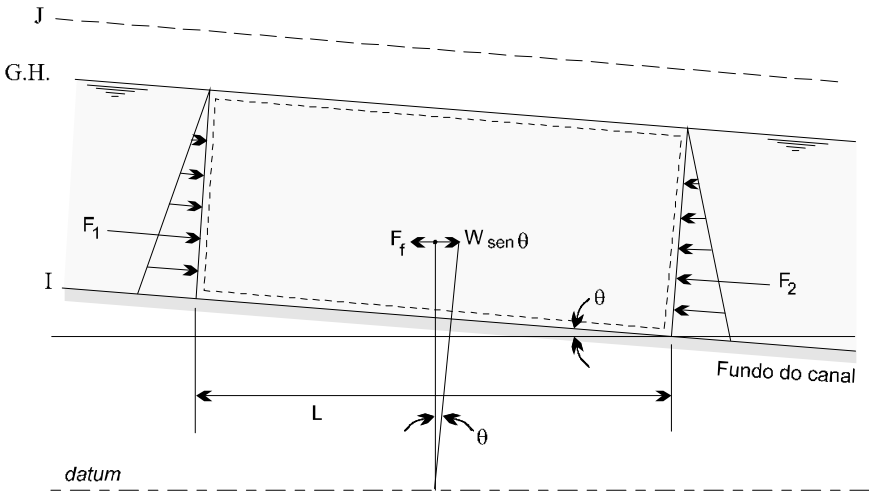


FIGURA 2.8 - Escoamento uniforme.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

As forças atuantes nas duas seções exibidas na figura acima são:

- Peso (*W*);
- Forças devidas à pressão em 1 e 2 (F_1 e F_2);
- Força resistente ao escoamento, decorrente do atrito (F_f).

Logo, projetando-se as forças em um eixo horizontal correspondente ao escoamento, pode-se escrever:

$$F_1 - F_2 + Wsen\theta - F_1 = 0 \qquad (2.19)$$

Supondo a profundidade constante, dentro da hipótese, dentro da hipótese de escoamento uniforme, e considerando a distribuição hidrostática, conforme *2.3.2*, pode-se escrever a que: $F_1 = F_2$.

Admitindo tratar-se de canais com declividades reduzidas, também pode-se, por outro lado, escrever que $\text{sen}\theta \cong \text{tg}\theta \cong \text{I}$. Substituindo o peso *W* por gAL, a Equação2.19 torna-se:

$$\gamma ALI - F_f = 0 \qquad (2.19a)$$

Antoine Chézy, em 1979, demonstrou que a força de resistência ao escoamento, F_f, é proporcional ao quadrado da velocidade sendo também proporcional á superfície de contato *Líquido-Parede do Conduto*, logo, ao Perímetro Molhado, chega-se a seguinte expressão:

$$U = C\sqrt{R_h}I \qquad (2.20)$$

A expressão 2.20 constitui a *Fórmula de Chézy,* que efetua a descrição matemática do escoamento uniforme em condutos livres.

O fator *C* apresentado na equação corresponde ao *Fator de Resistência,* e este dá a maior dificuldade para a utilização desta expressão. Nos dois últimos séculos foram pesquisadas diversas formulações para este coeficiente, de caráter fundamentalmente empírico, destacando as soluções apresentadas por Ganguillet e Kutter e Bazin.

A expressão mais aceita atualmente corresponde à feita por Gauckler, datada em 1867, erroneamente atribuída a Manning e Strickler:

$$C = {R_h}^{1/6}/n \qquad (2.21)$$

Nesta última expressão, o *Coeficiente de Manning (n)* traduz a resistência ao escoamento associada à parede do conduto.Associando as Equações 2.20 e 2.21 com a equação da Continuidade, chega-se a *Fórmula de Chézy-Mannng,* ou simplesmente a *Fórmula de Manning*:

$$Q = A{R_h}^{2/3}I^{1/2}/n \qquad (2.22)$$

A grande dificuldade da utilização da Fórmula de Manning reside na determinação ou fixação do coeficiente de rugosidade. De fato, a adoção de um coeficiente

adequado pode ser tanto subjetiva, envolvendo vivência prática e traquejo do projetista. Mesmo com este empecilho a seu uso, esta formulação é bastante utilizada para cálculos hidráulicos relativos a canais artificiais e naturais.

2.4.2 ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE ATRAVÉS DE TABELAS

Para estimar o coeficiente de rugosidade através deste processo, podem ser encontrada na literatura um grande número de tabelas, obtidas a partir de ensaios e medições de campo. Devem ser destacados os elementos apresentados na obra *Open-Channel Hydraulics,* de Ven Te Chow (1959), onde consta uma extensa lista de coeficientes de rugosidades associados a diversos materiais e situações utilização.

Apresentam-se nos Quadros 2.3 e 2.4 alguns valores do coeficiente de rugosidade.

QUADRO 2.3 – Coeficientes de rugosidade para canais artificiais.

REVESTIMENTOS	RUGOSIDADE		
	MÍNIMA	USUAL	MÁXIMA
CONCRETRO PRÉ-MOLDADO	0,011	0,013	0,015
CONCRETO COM ACABAMENTO	0,013	0,015	0,018
CONCRETO SEM ACABAMENTO	0,014	0,017	0,020
CONCRETO PROJETADO	0,018	0,020	0,022
GABIÕES	0,022	0,03	0,035
ESPÉCIES VEGETAIS	0,025	0,035	0,070
AÇO	0,010	0,012	0,014
FERRO FUNDIDO	0,011	0,014	0,016
AÇO CORRUGADO	0,019	0,022	0,028
SOLO SEM REVESTIMENTO	0,016	0,023	0,028
ROCHA COM REVESTIMENTIO	0,025	0,035	0,040

Fonte: Baptista et. al. (2011)

QUADRO 2.4 – Coeficientes de rugosidade para canais naturais.

TIPO	CARACTERÍSTICA	RUGOSIDADE		
		MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA
CANAIS DE PEQUENO PORTE EM PLANÍCIE (B<30cm)	LIMPOS	0,025	0,033	0,045
	TRECHOS LENTOS	0,050	0,070	0,080
CANAIS DE PEQUENO PORTE EM MONTANHAS (B<30cm)	LEITO DESOBSTRÍDOS	0,030	0,040	0,050
	LEITO COM MATACÕES	0,040	0,050	0,070
CANAIS DE GRANDE PORTE (B>30cm)	SEÇÕES REGULARES	0,025	-	0,060
	SEÇÕES IRREGULARES	0,035	-	0,100
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	PASTAGENS	0,025	0,030	0,035
	CULTURAS	0,020	0,040	0,050
	VEGETAÇÃO DENSA	0,045	0,070	0,160

Fonte: Baptista et. al. (2011)

2.5 ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO

Quando as características do fluxo variam ao longo do espaço e apresenta uma vazão constante no tempo, este escoamento é chamado de Escoamento Permanente Variado. Quando tais características variam de forma lenta, diz-se que o escoamento é *gradualmente variado.* E quando as características variam de forma repentina, diz-se que p escoamento é *bruscamente variado*. Devido a essa variação espacial, a análise do escoamento é mais complexa do que a análise do escoamento uniforme. A seguir são mostradas as singularidades do escoamento gradualmente variado.

2.5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO

Em condições nas quais as características do escoamento variam de forma gradual, a declividade da superfície livre (*G.H.*) varia ao longo do canal e é diferente da declividade do leito do canal (*I*). Da mesma maneira, o gradiente energético (*J*) também não é mais paralelo ao gradiente do canal, como pode ser visto na Figura 2.9.

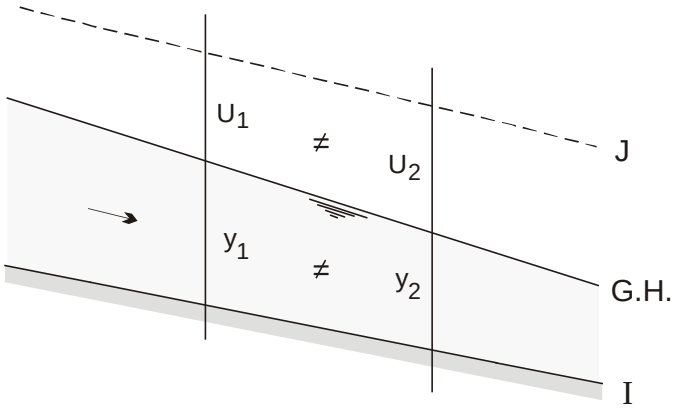


FIGURA 2.9 - Escoamento gradualmente variado.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

Portanto, as trajetórias das partículas do líquido em movimento, consequentemente, não são paralelas. Mas, pode-se considerar que as trajetórias são sensivelmente paralelas ao fundo do canal, considerando que as variações das características do escoamento são graduais. Logo, admite-se que a distribuição das pressões seja hidrostática, conforme visto em escoamentos livres.

A ocorrência deste tipo de escoamento está associado a trechos iniciais e finais de canais prismáticos, às transições horizontais e verticais graduais e aos canais com declividade variável.

A definição da linha de água nos escoamentos gradualmente variáveis pode ser feita através de considerações sobre a energia. A partir da equação de Bernoulli, pode-se escrever a expressão relativa à variação de energia ao longo do canal:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d(U^2/2g)}{dx} \tag{2.23}$$

Aplicando a equação da continuidade e explicitando *I* e *J* como os gradientes do fundo e da energia total (*dH/dx* = *-J* e *dz/dx* = *-I*), conforme pode ser visto em *Baptista el al. (2011)*, tem-se como resultado:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I-J}{1-Fr^2} \tag{2.24}$$

Posem-se, então, distinguir duas situações particulares:

- *I* = *J* → *dy/dx* = 0 → ocorrência do escoamento uniforme;
- *Fr* = 1 → ocorrência do escoamento uniforme.

Nesta última situação demonstrada, a profundidade normal é igual à crítica, com *dy/dx=0,* ou ainda a ocorrência de uma seção contraída, com *dy/dx≠0.*

Para analisarmos qualitativamente as linhas d'água neste tipo de escoamento, devemos sintetizar alguns conceitos. A Equação 2.25 a seguir, é uma dedução feita a partir da Equação 2.24, conforme mostrado em *Baptista et al (2011)*:

$$\frac{dy}{dx} = \mathrm{I}\frac{1-f_1}{1-f_2} \tag{2.25}$$

de onde f_1 corresponde às condições de escoamento uniforme e f_2 às condições críticas, e são descritas pelas seguintes expressões:

$$f_1 = \frac{n^2 Q^2}{{R_h}^{4/3} A^2 I} \tag{2.26}$$

$$f_2 = \frac{Q^2 B}{g A^3} \tag{2.27}$$

O *n* mostrado na equação acima corresponde ao *coeficiente de Manning*. A partir dos termos definidos, pode-se analisar a linha d'água em diferentes situações mostradas a seguir.

2.5.2 CANAIS COM DECLIVIDADE FRACA

Este caso corresponde a situações em que a declividade é inferior à crítica. Assim, a profundidade do normal (y_n) é maior que a profundidade crítica (y_c)

Conforme a Figura 2.10, podem ser definidas três possibilidades de posição para o NA em uma dada seção, em relação às profundidades críticas e normais. Cada situação do NA conduz a uma linha d'água diferente, que para o caso específico dos canais com declividade fraca, recebem o nome de *curvas M* (do inglês *Mild*, suave):

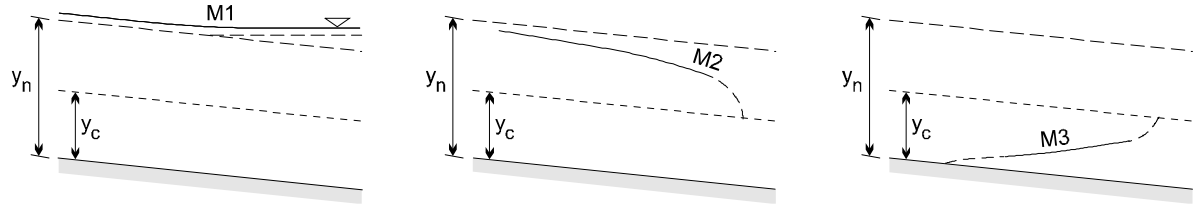


FIGURA 2.10 - Linhas d'água em canais com declividade fraca.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

Posição 1 - Profundidade maior que y_n e que y_c:

Neste caso $f_1<1$ e $f_2<1$, levando os sinais positivos tanto para o numerador como para o denominador na expressão 2.25. Assim, tem-se $dx/dy> 0$, indicando o crescimento da profundidade com a abscissa, definindo-se a curva *M1*, assíntota à profundidade normal e à horizontal.

Posição 2 - Profundidade menor que y_n e maior que y_c:

Se a profundidade na seção estiver entre y_n e y_c, vem que $y<y_n$, levando $f_1>1$, ou seja o numerador da Equação 2.25 é negativo. Como $y>y_c$, vem que $f_2<1$, tornando o denominador deste positivo. Isto implica que dx/dy na Equação 2.25 é negativo, a profundidade diminui com a abscissa, definindo a curva *M2*, que tende assintoticamente a y_n e perpendicularmente para y_c.

Posição 3 - Profundidade menor que y_n e que y_c:

Finalmente, se a profundidade for inferior a y_n e y_c, define-se tanto f_1 como f_2 são maiores do que a unidade, implicando que tanto o denominador como o numerador da Equação 2.25 são negativos. Dessa forma, $dx/dy>0$, ou seja, a profundidade cresce com a abscissa. Define-se a curva *M3* tendendo perpendicularmente para o fundo do canal e y_c.

2.5.3 CANAIS COM DECLIVIDADE FORTE

Essa situação corresponde a uma declividade superior à crítica, conduzindo, assim, à profundidade normal menor do que a profundidade crítica. Dessa fora, ocorrerão as *curvas S (*do inglês *Steep*, íngreme), conforme pode ser notado na Figura 2.11.

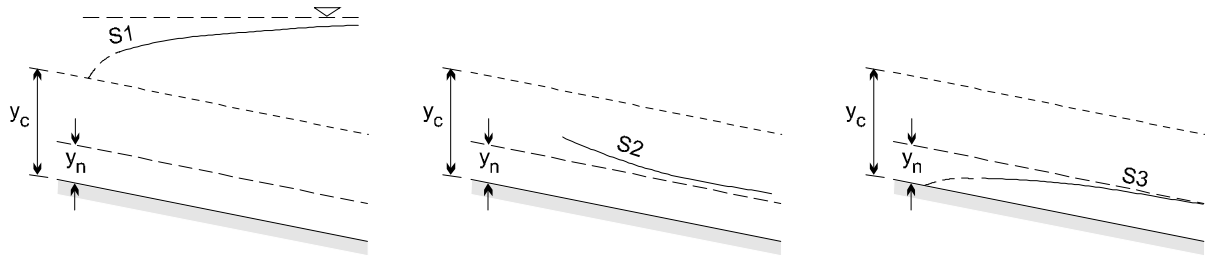


FIGURA 2.11 - Linhas d'água em canais com declividade forte.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

Da mesma forma como foi exposto para canais com declividades fracas, são também três situações possíveis, mostradas a seguir.

Posição 1 - Profundidade maior que y_n e que y_c:

Neste caso $f_1<1$ e $f_2<1$, levando a sinais positivos, tanto para o numerador como para o denominador na expressão 2.25. Assim, tem-se $dx/dy> 0$, indicando o crescimento da profundidade com a abscissa, definindo-se a curva *S1.*

Posição 2 - Profundidade menor que y_c e maior que y_n:

Se a profundidade na seção estiver entre y_n e y_c, vem que $y>y_n$, conduzindo$f_1<1$, ou seja, a um numerador da Equação 2.25positivo. Como $y<y_c$, vem que $f_2>1$, tornando o denominador deste negativo. Isto implica que dx/dyna Equação 2.25 é negativo, isso indica que y diminui com abscissa, definindo a curva *S2,* compreendida entre y_n e y_c.

Posição 3 - Profundidade menor que y_n e que y_c:

Finalmente, se a profundidade for inferior a y_n e y_c, define-se que tanto f_1 como f_2 são maiores do que a unidade, implicando que tanto o denominador como o numerador da Equação 2.25 são negativos. Assim, $dx/dy> 0$, ou seja, a profundidade cresce com a abscissa. Define-se a curva *S3*compreendida entre o fundo do canal e y_n.

2.5.4 CANAIS COM DECLIVIDADE CRÍTICA

Se a declividade for igual à crítica, acontece a coincidência das profundidades y_n e y_c. Dessa maneira, existem apenas duas possibilidades para o NA, a saber, acima e abaixo da profundidade $y_n=y_c$, conforme pode ser notado na Figura 2.12.

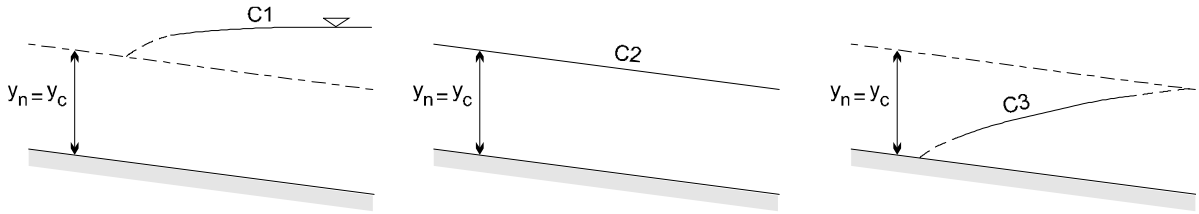


FIGURA 2.12 - Linhas d'água em canais com declividade crítica.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

Assimilando uma análise similar às vistas anteriormente, define-se duas posições relativas para o NA:

Posição 1 - Profundidade maior que y_n e que y_c:

Neste caso $f_1 < 1$ e $f_2 < 1$, levando a sinais positivos, tanto para o numerador como para o denominador na expressão 2.25. Assim, tem-se $dx/dy> 0$, indicando o crescimento da profundidade com a abscissa, definindo-se a curva *C1.*

Posição 3 - Profundidade menor que y_n e que y_c:

Com a profundidade for inferior na seção a y_n e y_c, define-se que tanto f_1 como f_2 são maiores do que a unidade, implicando que tanto o denominador como o numerador da Equação 2.25 são negativos. Assim, $dx/dy > 0$, ou seja, a profundidade cresce com a abscissa. Define-se a curva *C3* compreendida entre o fundo do canal e $y_n = y_c$.

A curva *C2* deveria estar compreendia entre $y_n = y_c$. Como estas curvas são coincidentes neste caso, constata-se que *C2* corresponde à linha d'água em escoamento uniforme, no regime crítico.

2.5.5 CANAIS COM DECLIVIDADE NULA

Quando o canal é horizontal, a profundidade normal não pode ser definida, pois o canal não pode funcionar em escoamento uniforme, já que a profundidade tenderia para infinito. Nesse contexto, definem-se apenas duas posições relativas do NA, conforme exibido na Figura 2.13.

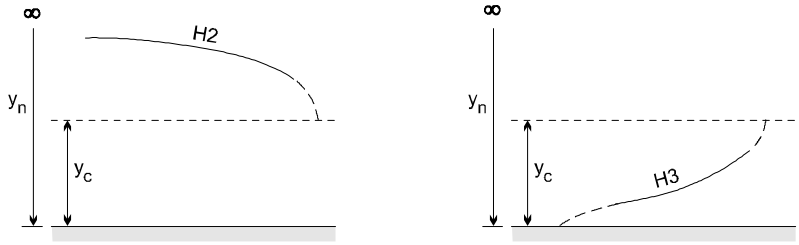


FIGURA 2.13 - Linhas d'água em canais com declividade nula.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

A partir da equação abaixo, pode-se definir que o sinal de dy/dx é contrário ao do denominador, pois sendo a declividade nula, o numerador sempre será negativo. Portanto, configuram-se duas situações, correspondentes às posições do NA na Figura 2.13.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-J}{1-f_2} \tag{2.28}$$

Posição 2 - Profundidade maior que y_c:

O denominador será positivo pois $f_2 < 1$. Neste caso $dx/dy < 0$, com a profundidade decrescendo segundo a curva *H2.*

Posição 3 - Profundidade menor y_c:

Como f_2 *>1,* o denominador será negativo, acarretando *dx/dy* positivo, isso indica que a profundidade é crescente com a abscissa, segundo a curva *H3.*

2.5.6 CANAIS EM ACLIVE

Nos canais em aclive também não existe a profundidade normal. Assim, de forma similar aos canais com declividade nula, definem-se apenas duas posições relativas NA, conforme pode ser notado na Figura 2.14.

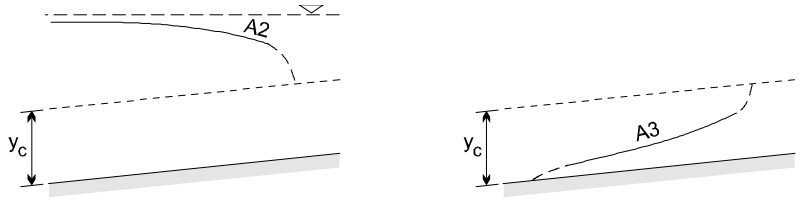


FIGURA 2.14 - Linhas d'água em canais com declividade adversa.

Fonte: Baptista et. al. (2011)

A partir da Equação 2.29 exibida a seguir, define-se então que o sinal de dy/dx é também contrário ao do denominador, pois sendo a declividade negativa, o numerador sempre será negativo. Portanto, para as posições na Figura 2.14, tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-1-J}{1-f_2} \tag{2.29}$$

Posição 2 - Profundidade maior que y_c:

O denominador será positivo poisf_2< *1*. Neste caso *dx/dy*< 0, com a profundidade decrescendo, segundo a curva *A2.*

Posição 3 - Profundidade menor y_c:

Como f_2 *>1,* o denominador será negativo, acarretando *dx/dy* positivo, isso indica que a profundidade é crescente com a abscissa, segundo a curva *A3.*

É notório, portanto, que as curvas *A2* e *A3* dos canais com declividade adversa são similares às curvas *H2* e *H3* dos canais horizontais.

O Quadro 2.5 a seguir, resume tudo o que foi proposto em relação a linhas d'águas de canais em escoamentos gradualmente variados.

QUADRO 2.5 - Possibilidades de ocorrência de linhas d'água.

DECLIVIDADE DO CANAL	REGIME		
	FLUVIAL	CRÍTICO	TORRENCIAL
FRACA	M1, M2, UNIFORME	-	M3
CRÍTICA	C1	UNIFORME	C3
FORTE	S1	-	S2, S3, UNIFORME
NULA	H2	-	H3
ADVERSA	A2	-	A3

Fonte: Baptista et. al. (2011)

3. Metodologia

Os trabalhos realizados para adequação do Projeto de Irrigação das Etapas 3, 4 e 5 do Perímetro Irrigado Salitre foram subdivididos em dois tipos, a saber:

I. Sistema de Condução Principal, composto principalmente pelos:
   - Canais principais CP- 500.2, CP-600, CP-700;
   - Estações Elevatórias EB-600, EB-700, EB-800 e EB-590;
   - Reservatórios RC-600, RC-700, RC-800 E RR-590.

II. Sistema de Condução Secundário, Terciário e Quaternário:
   - Canais secundários CS-590, 610, 710, 810;
   - Canal terciário CT-590.30;
   - Adutoras das derivações terciárias e quaternárias da Etapa 3, 4 e 5;

Esta subdivisão ocorreu em virtude da orientação da CODEVASF no que diz respeito a manter as características das infraestruturas do sistema de condução principal conforme definido no Projeto Básico Original, durante o desenvolvimento dos estudos de adequação. Por este motivo, as infraestruturas do sistema de condução principal não tiveram alteração quanto as suas dimensões. Mas, em função do trecho do canal que é objeto de estudo nesse trabalho (CS-590.2) ser secundário, suas seções puderam ser alteradas.

O dimensionamento hidráulico/econômico deste trabalho, o qual corresponde ao canal secundário CS-590, a partir da estaca 9+000 até o seu fim, faz parte de uma extensão do Projeto de Adequação do Perímetro Irrigado Salitre, desenvolvido pelo consórcio Plena/Projetec no ano de 2013. A partir de agora, o trecho em estudo do canal secundário será chamado de CS-590.2.

Para fins práticos, a estaca inicial do trecho do canal secundário que integra este trabalho, que inicialmente seria 9+000, foi adotada como 0+000, e a última estaca foi considerada sendo a 12+929,92, portando, todo esse trecho tem uma extensão de aproximadamente 12,93 km. A cota do terreno natural inicial é de 442,00 m, e a última na última estaca a cota do terreno corresponde à 420,44 m, tendo dessa forma, um desnível de 21,56 m entre o ponto inicial e o ponto final do trecho. Conforme pode ser visto na Figura 3.1 a seguir, o canal é perpendicular as curvas

de nível na maior parte do seu percurso, sendo a favor a declividade natural do terreno.

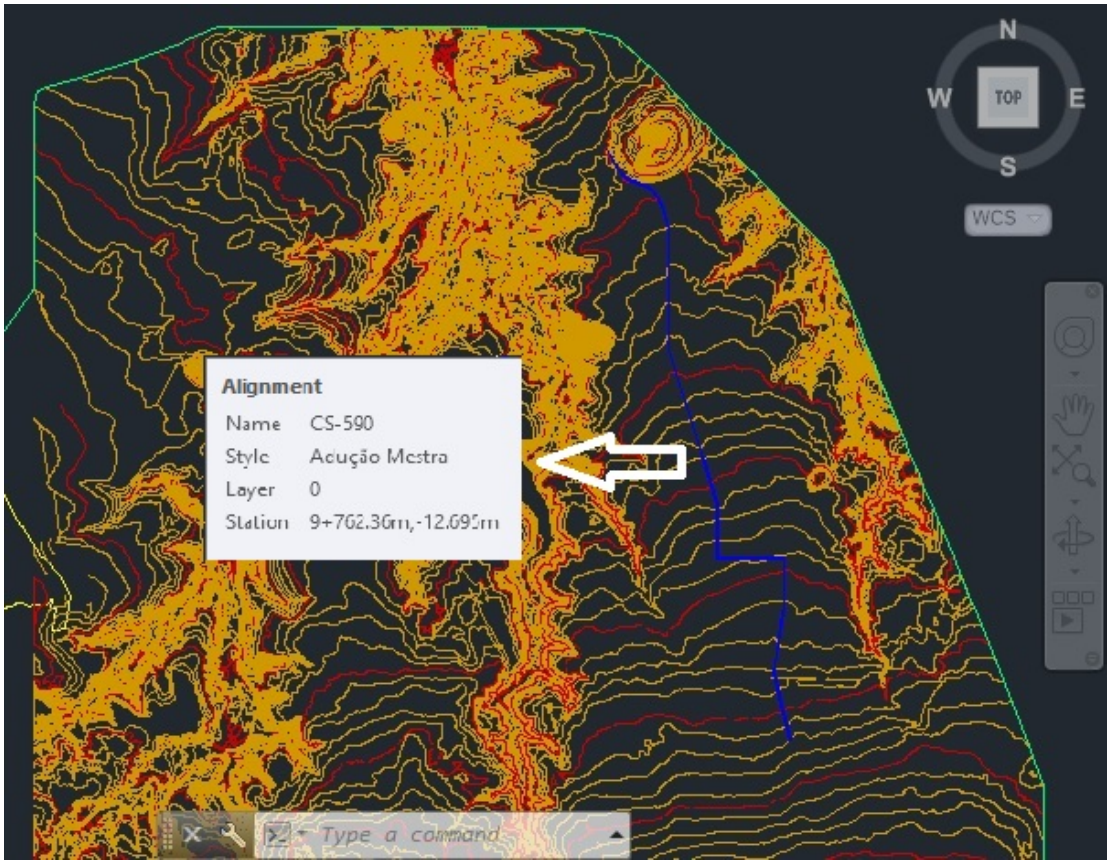


FIGURA 3.1 – Vista geral do CS-590.2.

Esse fator apresentado na Figura 3.1, que o canal é a favor da declividade, é o maior desafio deste trabalho. Com isso, a velocidade do canal, devido à declividade, tende a ser alta, por isso foram previstas algumas quedas ao longo do CS-590.2, onde estas serão detalhadas posteriormente. Com as quedas, foi possível diminuir a declividade do canal, e consequentemente a velocidade média de escoamento.

Haverá a utilização de geomembrana e concreto para o revestimento do canal. A geomembrana utilizada será a PEAD, com espessura de 1 mm. A espessura adotada de concreto será de 5 cm. Tais parâmetros seguem os que foram utilizados nas seções de montante do trecho em análise através da Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado do Salitre.

3.1 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DO CANAL

No dimensionamento do canal secundário CS-590.2, foi analisado o perfil do terreno natural para posicionar as quedas, de forma que o volume de corte/aterro seja o mínimo possível, para atingir o objetivo econômico deste projeto. A velocidade máxima do canal deveria ficar na ordem de 2,0 m/s (AZEVEDO NETTO, 2005), para que não houvesse um desgaste no concreto que virá a revestir o canal. No que diz respeito à velocidade mínima do trecho, esta não pode ser menor que 0,6 m/s, pois caso seja, ocorrerá uma maior acúmulo de sedimentos no leito do canal. O Quadro 3.1 resume as informações mencionadas.

QUADRO 3.1 – Critérios de velocidades de canais.

TIPOS	VELOCIDADE LIMITE (m/s)
CANAIS ARENOSOS	0,30
SAIBROS	0,40
SEIXOS	0,80
MATERIAIS AGLOMERADOS CONSISTENTES	2,00
ALVENARIA	2,50
CANAIS EM ROCHA COMPACTA	4,00
CANAIS DE CONCRETO	4,50

Fonte: Azevedo Netto (2005).

A Figura 3.2 apresenta a seção transversal adotada para o canal.

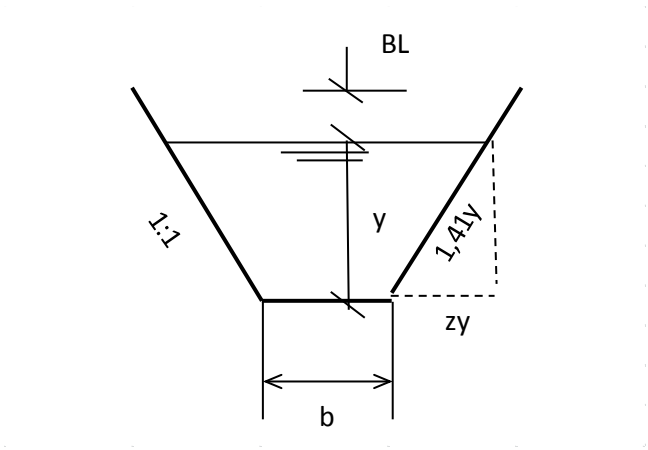


FIGURA 3.2 – Seção transversal do CS-590.2.

A seção transversal do canal foi estabelecida foi trapezoidal, e sua base (b) e sua declividade de talude (z) tiveram mantidos seus valores conforme a seção a montante do CS-590.2, sendo b = 1,5 e z = 1,0. A vazão em toda a extensão do

canal é de 3,267 m³/s, e o coeficiente de rugosidade de Manning (n) adotado foi de 0,015 (concreto), também seguindo o Projeto de Adequação do Perímetro Irrigado Salitre.

Para a declividade dos taludes do terreno natural, foram utilizadas as recomendações de AZEVEDO NETTO (2005), conforme pode ser visto no Quadro 3.2, onde foi adotado o valor de 1:1,5, por se tratar de um talude de terra compacta. A cada 10 metros de corte ou aterro, será desenvolvido uma berma de 3 metros, para estabilização do talude, seguindo as recomendações da Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre.

QUADRO 3.2 – Taludes usuais em canais.

NATUREZA DAS PAREDES	tgθ	θ
CANAIS EM TERRA EM GERAL, SEM REVESTIMENTO	1:25 a 1:5'	21°48' a 11°19'
SAIBRO, TERRA POROSA	1:2'	26°34'
CASCALHO ROLIÇO	1:1,75'	29°45'
TERRA COMPACTA, SEM REVESTIMENTO	1:1,5'	33°41'
TERRA MUITO COMPACTA, PAREDES ROCHORAS	1:1,25'	38°40'
ROCHAS ESTRATIFICADAS, ALVENARIA DE PEDRA BRUTA	1:0,5'	63°26'
ROCHAS COMPACTAS, ALVENARIA ACABADAM CONCRETO	1:0'	90°

Fonte: Azevedo Netto (2005).

A Figura 3.3 a seguir, esquematiza uma seção transversal do canal, junto com os taludes de corte/escavação, com suas respectivas escavações.

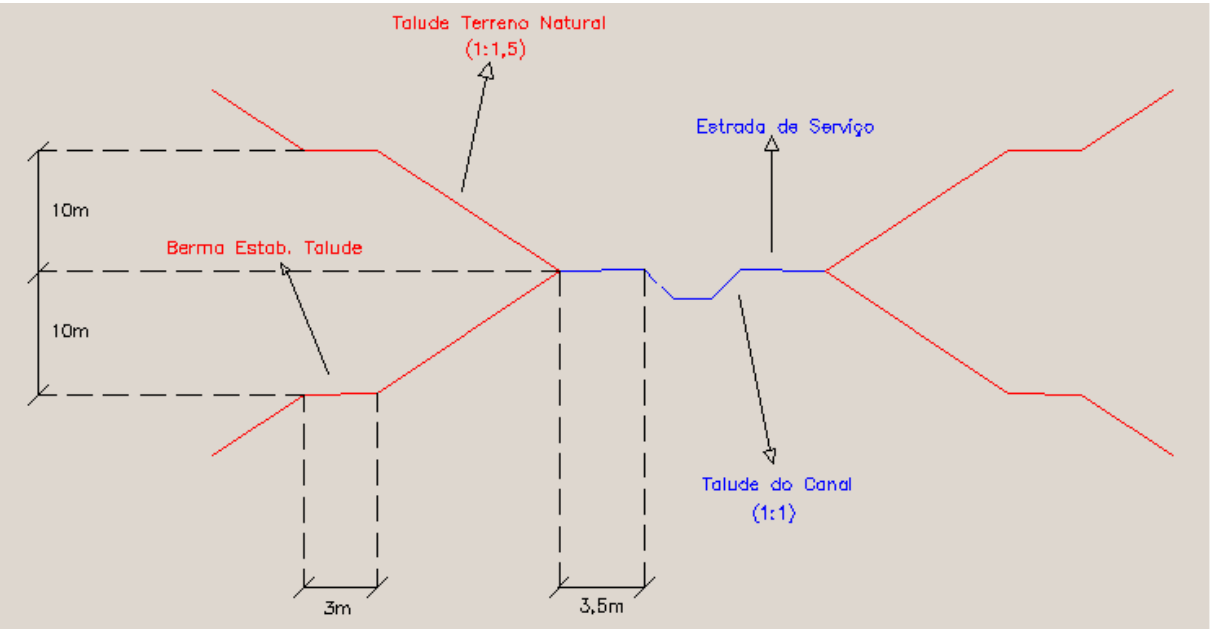


FIGURA 3.3 – Seção transversal esquemática.

Como pode ser visualizado na figura anterior, será implantadas estradas de serviços ao lodo da seção do canal, q qual terá um largura de 3,5 m.

Seguindo os parâmetros descritos anteriormente, o canal foi divido em três trechos, conforme pode ser visualizado no Quadro 3.3.

QUADRO 3.3 – Divisãodos trechos do CS-590.2.

CANAL	L (m)	ESTACA		i (m/m)
		INICIAL	FINAL	
CS-590.2	12.829,92	0+000	12+830	-
Trecho 1	3.200,00	0+000	3+200	1,60E-03
Trecho 2	3.350,00	3+200	6+550	1,49E-03
Trecho 3	6.279,92	6+550	12+830	1,20E-03

Fonte: Azevedo Netto (2005).

No que diz respeito à borda livre (BL), foi adotado seu valor constante e igual a 0,4 m. Para o dimensionamento das variáveis hidráulicas foi utilizado a Equação de Chézy-Manning:

$$Q = A{R_h}^{2/3} I^{1/2}/n \tag{3.1}$$

Dos termos da equação 3.1, era desconhecido dos valores da área molhada (*A*) e do Raio Hidráulico (R_h), que é função do perímetro molhado (P_M). Todas essas variáveis hidráulicas são dependentes da profundidade y do canal. Segundo a relação mostrada no Quadro 2.2, temos as seguintes considerações:

$$B = b + 2y \tag{3.2}$$

$$A = by + y^2 \tag{3.3}$$

$$P_M = b + 2y/sen(45°) \tag{3.4}$$

Associando as equações 3.2, 3.3 e 3.4 com a equação 3.1, e igualando esta a zero, temos a seguinte situação:

$$\frac{Qn}{I^{\frac{1}{2}}} - \frac{(by + y^2)^{\frac{5}{3}}}{(b + 2{,}83y)^{\frac{2}{3}}} = 0$$

Portanto, tem-se uma equação apenas em função da profundidade (*y*). A resolução da equação se deu por meio de um processo iterativo. Em seguida, foi verificada a condição do escoamento, correspondente ao Número de Froude, onde este deveria

ser subcrítico, e também se a velocidade do respectivo trecho estava dentro dos limites propostos anteriormente.

No que diz respeito as curvas ao longo do canal, foi adotado que estas teriam uma tangente de 50 metros, seguindo as recomendações do USBR – Bureau of Reclamation U.S. Geological Survey – para que tais circunstância não provoquem remanso e/ou transbordamento do canal em estudo.

A linha d'água ao longo do canal foi determinada conforme mostrado anteriormente neste item. Mas, nos trechos próximos as quedas ocorrem um escoamento gradualmente variado, não podendo, então, a linha d'água ser calcula pelas considerações de Chézy e Manning. Tal ocorre pelo fato de ocorrer uma queda livre, e consequentemente uma mudança no regime do escoamento. Esta situação será descrita posteriormente.

No relatório final do P&D CHESF (2011) foi estudado a influência da evaporação no canal principal do Sistema de Irrigação Nilo Coelho em Petrolina. A conclusão é que as perdas por evaporação direta do espelho de água no canal são insignificantes em relação ao volume transportado. Como a área de estudo desse trabalho é na mesma região, foi decidido também não considerar as referidas perdas mantendo-se desta forma a vazão constante em todo o percurso do canal.

3.2 QUEDAS E SUAS SINGULARIDADES

As estruturas de queda são frequentemente usadas para o controle de escoamentos e dissipação de energia. Alterando o declive do canal de íngreme para suave, através da colocação de estruturas de queda ao longo do traçado do canal, consegue-se transformar um declive continuamente acentuado numa séries de declives suaves e com quedas verticais.

As estruturas de quedas verticais controlam a declividade do canal de modo que impossibilitam a ocorrência de velocidades erosivas, como aconteceria caso não fosse adotado esta solução no CS-590.2 que apresenta uma grande declividade ao longo do seu traçado, e são por isso mais eficazes que as quedas de declives suaves. As quedas com declividade suave convertem apenas as velocidades altamente erosivas em velocidades baixas e não erosivas.

Como solução deste estudo, foi adotada uma queda vertical, de seção retangular, conforme exposto no USBR como soluções comumente adotadas. As Figura 3.4 e 3.5 exibem resumidamente a solução seguida neste trabalho. O Anexo I, exibe maiores detalhes da estrutura da queda utilizada.

Os parâmetros hidráulicos das quedas exibidos nas figuras são calculados por equações fornecidas também no USBR, ondem foram utilizadas neste estudo. O valor da altura da queda (h_q) foi definido como 1,0 m, para simplificação de resultados e por não ter uma queda grande, que precisaria de uma estrutura mais resistente. A partir da definição de h_q foram dimensionados os outros parâmetros através das seguintes equações:

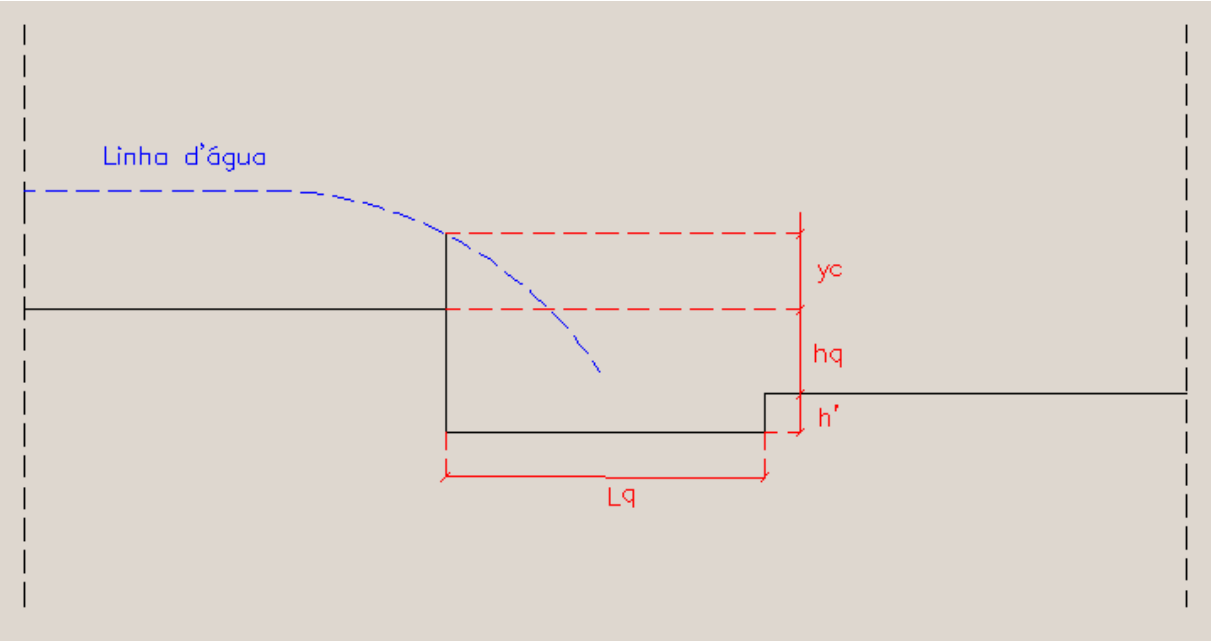


FIGURA 3.4 – Detalhes da queda (seção longitudinal).

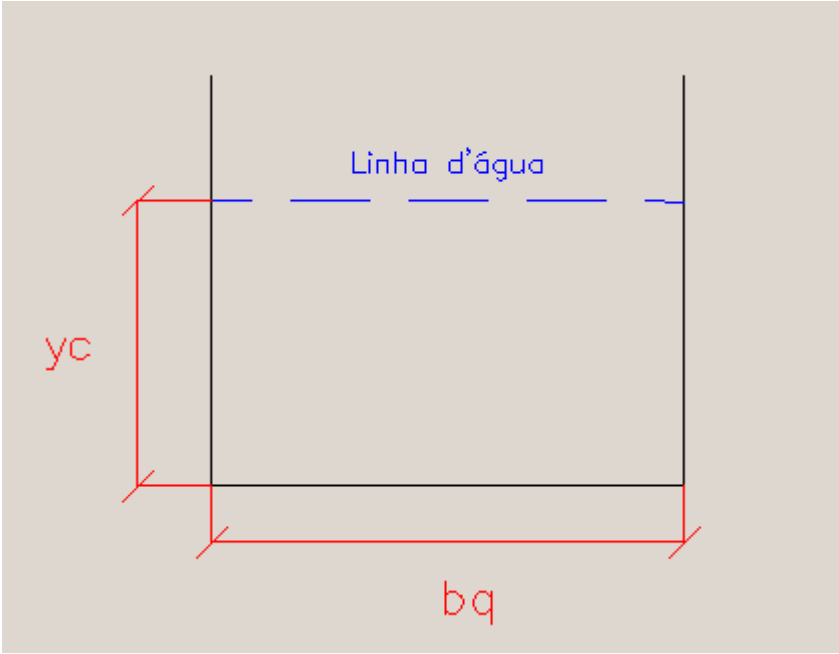


FIGURA 3.5 – Detalhes da queda (seção transversal).

$$y_c = (Q^2/b_q g)^{1/3} \quad (3.5)$$

$$L_q = [2{,}5 + 1{,}1(y_c/h_q) + 0{,}7(y_c/h_q)^3](\, y_c h_q) \quad (3.6)$$

$$h' = y_c/2 \quad (3.7)$$

onde:

y_c - altura da lâmina d'água crítica;

b_q – base da seção retangular da queda;

L_q – comprimento da bacia de dissipação da queda;

h' – altura do degrau da bacia de dissipação.

Além de h_q foi necessário definir também o valor de b_q, que corresponde à base da seção retangular da queda. Tal parâmetro, será igual a base (*b*) do canal, para fins práticos do dimensionamento, que é igual a 1,5 m. Para esquematizar tal situação, temos como exemplo a Figura 3.6.

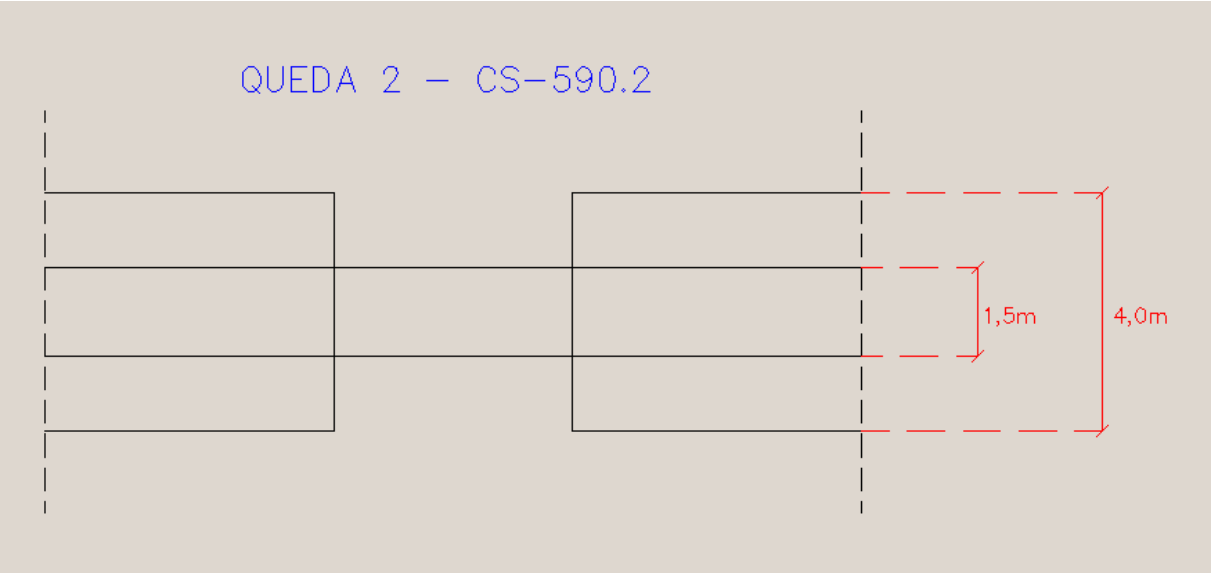


FIGURA 3.6 – Detalhes da queda (planta esquematizada).

3.3 DETERMINAÇÃO DA LINHA D'ÁGUA NAS QUEDAS

Nos escoamentos em canais, em regime de escoamento gradualmente variado, é comum que as profundidades não estejam numa situação de equilíbrio de forças (regime uniforme) e sim condicionadas a níveis impostos por estruturas hidráulicas ou qualquer tipo de singularidade. As possíveis curvas de remanso que podem ocorrer são, portanto, transições entre estes níveis impostos e a situação de equilíbrio em regime uniforme. Este último poderá vir a ocorrer ou não, dependendo da extensão do canal e da diferença da profundidade vigente em relação à normal (em regime uniforme).

O princípio que permite a determinação da linha d'água é o da conservação da energia, podendo variar de um método de cálculo para outro apenas a forma da resolução numérica. Neste trabalho, foi utilizada a forma de cálculo conhecida no jargão técnico como *Standard Step Method*.

Este método utiliza as mesmas equações anteriormente apresentada no item 2.2, além da apresentada logo abaixo. Tem-se como a incógnita o nível da linha d'água na seção de cálculo, e este valor está implícito nos valores da energia específica e da declividade da linha de energia, o processo de cálculo passa a ser iterativo.

$$\Delta x = (E_2 - E_1)/(i - j) \tag{3.8}$$

onde:

$$E_i = y_i + \propto_i U_i/2g \quad (3.9)$$

$$i = (z_2 - z_1)/\Delta x \quad (3.10)$$

$$j = (j_2 - j_1)/2 \quad (3.11)$$

$$j_1 = (Un/{R_h}^{2/3})^2 \quad (3.12)$$

A partir do conhecimento qualitativo da forma de evolução da linha d'água no canal e conhecendo-se as características hidráulicas da seção correspondente a queda vertical, seção de controle, pode-se arbitrar a profundidade em uma seção vizinha a montante. Com esta profundidade podem ser calculadas as diversas variáveis hidráulicas para a seção a montante e, em seguida, o valor de *j,* de acordo com as equações apresentadas acima.

A repetição do procedimento anteriormente descrito entre postos, sendo uma seção de controle com valores definidos e outro a montante a se determinar, sucessivamente, em todo o canal permite a definição quantitativa da linha d'água ao longo deste. Portanto, traça-se o perfil da linha d'água no canal, a partir das cotas do NA (nível de água) nos pontos discretizados.

QUADRO 3.4 – Exemplo de planilha do Standard Step Method.

SEÇÃO	X (m)	FUNDO(m)	Yadotado(m)	A(m²)	Rh(m)	E(m)	j(m/m)	jm(m/m)	Ycalc (m)	N.A.(m)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

Com a finalidade de calcular a linha d'água no trecho das quedas do canal CS-590.2, foi adotada que o canal teria uma seção retangular, com base de 1,5 m. Tal simplificação foi realizada pelo fato de, caso fosse ser adotada no cálculo uma seção trapezoidal com a queda retangular, o resultado pelo Standard Step Method mostrou-se inconclusivo.

3.4 CONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CANAL

Foi realizado a construção tridimensional dos canais de condução secundário da quarta etapa do projeto, o CS-590.2, a fim de quantificar os volumes de corte e aterro em materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria servindo de suporte para os serviços relacionados à construção dos canais, utilizando o software AutoCad Civil 3D 2012 Metric.

No que diz respeito a licença de utilização do AutoCad Civil 3D 2012 Metric, esta foi adquirida pela Projetec Projetos Técnicos LTDA, onde o autor deste trabalho exerce a função de Auxiliar de Engenharia. Portanto as partes deste trabalho que utilizaram este software foram realizadas nas horas vagas do autor na respectiva empresa, com o consentimento da mesma.

Como já foi mencionado, as dimensões puderam ser alteradas para o canal, por se tratar de ser um trecho secundário de adução. Neste sentido, as informações levantadas neste trabalho de construção tridimensional do respectivo canal secundário deverá compor o orçamento da alternativa de traçado do Projeto de Engenharia do Perímetro de Irrigação do Salitre, situado no município de Juazeiro-BA.

Para a realização desta etapa, foi necessária a utilização de informações pré-existentes, relatórios, plantas e perfis do Projeto Básico JP/ENCO/TAHAL (1997) e Projeto Básico da Etapa 2 Hydros (2013).

a) Confrontação do Traçado Geral x Plantas e Perfis

Inicialmente, foi processando o georreferenciamento das plantas e perfis dos CS-590, oriundos do Projeto Básico JP/ENCO/TAHAL (1997) e do Projeto Básico da Etapa 2 Hydros (2013), para ser feita uma comparação com o traçado geral das curvas de nível, cuja a última apresenta um maior nível detalhe.

b) Elaboração da Superfície do Terreno Natural

Foi definida uma faixa de 1 km de largura para leste e oeste do eixo do cana secundário CS-590.2l que servirá de borda para a superfície, que apresenta as curvas de nível de metro em metro, conforme já foi apresentada na Figura 3.1.

c) Criação do Alinhamento ao Longo do Eixo do Canal

O alinhamento do canal constituinte da etapa 4 do projeto foi criado na plataforma do AutoCad Civil 3D 2012 Metric. Para isso, foram verificados os pontos onde estão situados o começo e o fim do canal, a partir de suas coordenadas georreferenciadas em sua respectiva planta. Para o traçado, considerou-se o estaqueamento em quilômetros com as estações principais estaqueadas a cada 500 m e as secundárias a cada 100 m.

O alinhamento foi nomeado como CS-590.2. Todos os pontos de inflexão tem curva de raio simples, exatamente igual às apresentadas nos arquivos de planta e perfil citados anteriormente, sendo que os raios são de 80 m ou 120 m. A Figura 3.7 a seguir mostra uma parte do alinhamento referente ao CS-590.2.

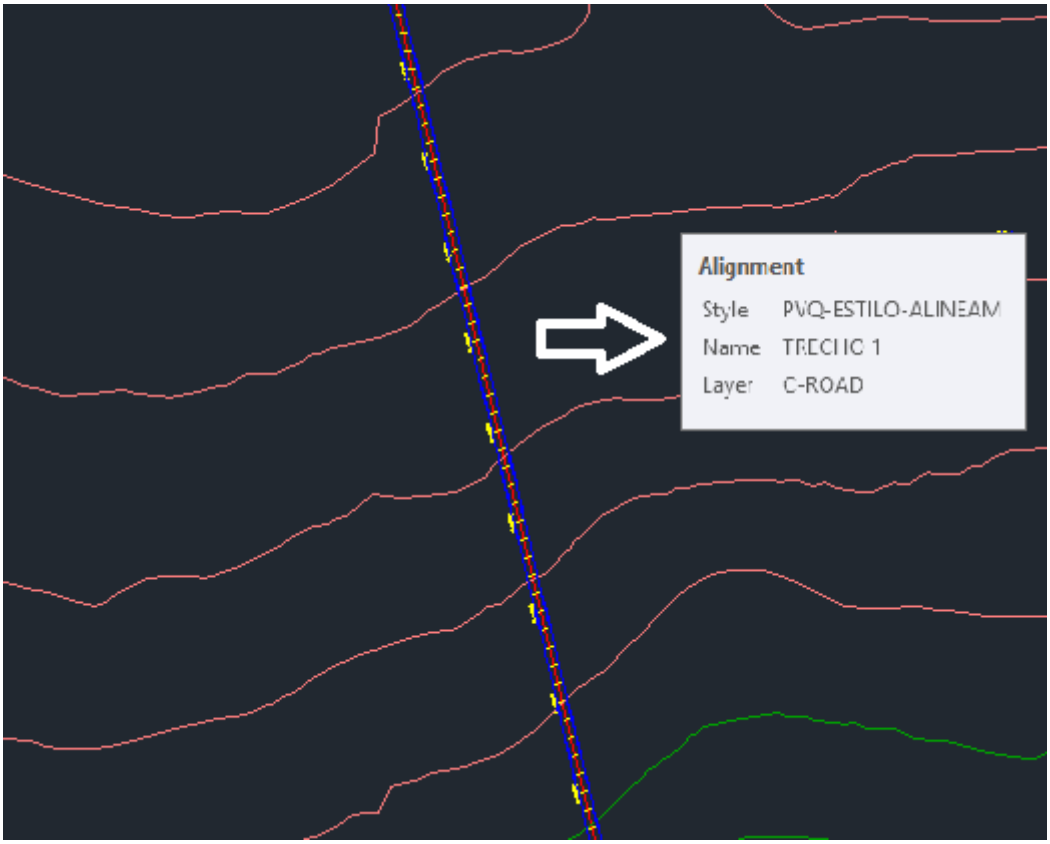


FIGURA 3.7 – Trecho do alinhamento CS-590.2

d) Criação do Perfil

Para o alinhamento, foi criado o perfil do terreno natural. Em seguida, foram transportadas para ele as linhas de Nível D'água, Crista do Canal, Fundo do Canal, Limite de materiais de 1ª categoria e 2ª categoria e a de Nível do Terreno Natural segundo o Projeto Básico JP/ENCO/TAHAL (1997). Foi constatado que a Linha de Terra da cartografia do Projeto Básico JP/ENCO/TAHAL (1997) não coincide com a do Projeto Básico Hydros (2013), tendo em alguns trechos significativas diferenças.

Na determinação das linhas de transição entre os materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria, e a partir dos elementos de alinhamento e perfil do AutoCAD Civil 3D 2012 Metric, foram criados pontos ao longo do alinhamento de cada canal. Estes pontos continham as seguintes informações: estaqueamento (km), coordenadas leste e norte, cota (m) e uma descrição do ponto.

Tendo as cotas e o estaqueamento das linhas de transição de categorias de materiais, foram criados pontos destes com as mesmas informações dos pontos criados anteriormente, foram determinadas então as linhas no perfil das transições de categorias referentes à linha de terra do Projeto Básico Hydros (2013).

A Figura 3.8 mostra o perfil do CS-590.2, contendo a linha de terra, de fundo do canal, linha do nível d'água, crista do canal e as linhas de limite de categorias (entre 1ª e 2ª categoria e entre 2ª e 3ª categoria).

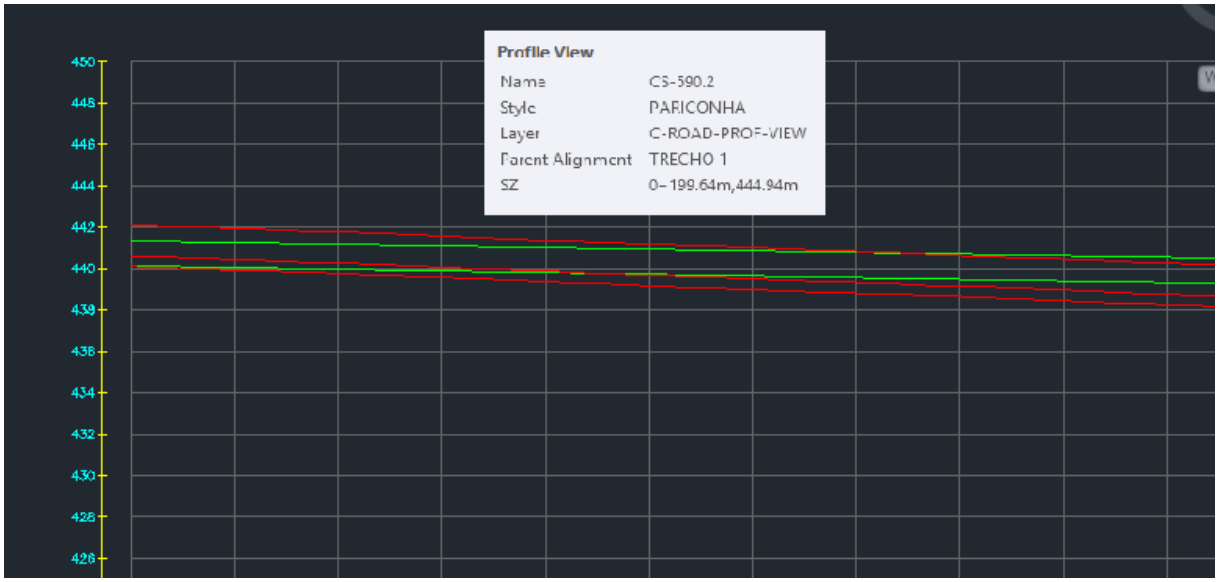


FIGURA 3.8 – Trecho do perfil do CS-590.2

e) Criação das Superfícies de materiais de 1ª, 2ª e 3ª Categorias

Para a criação das superfícies de materiais foi tomado o alinhamento do eixo do canal secundário 590.2, e, criados alinhamentos paralelos a ele. Ao todo, são três alinhamentos gerados a esquerda do alinhamento e outros três gerados a direita, sendo estabelecida uma distância de 20 metros entre os alinhamentos paralelos ao eixo do canal. Os alinhamentos foram nomeados com o sinal "+" (positivo) estando à direta do canal, levando-se em consideração a seu sentido, e "-" (negativo) estando à esquerda do canal. Logo os alinhamentos foram nomeados como CS-590 + 20, CS-590 – 20, CS-590 +40, CS-590 – 40, e assim sucessivamente.

Seguindo as simplificações adotadas na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre, foi estabelecido, para os trechos de aduções secundárias, que a camada de material de 1ª categoria está localizada a 1,5 metros abaixo da superfície natural do terreno, e o limite de material de 2ª categoria a 2 metros de profundidade.

Em cada alinhamento gerado, foram estabelecidos pontos, onde estes tem a mesma informação dos pontos gerados anteriormente no alinhamento principal (alinhamento do canal). Então, estes pontos foram exportados separadamente, respeitando cada alinhamento em formato TXT, e posteriormente foram trabalhados no Microsoft Excel. Consequentemente aplicam-se as profundidades da transição entre as categorias de materiais de 1ª, 2ª e 3ª, onde seus valores foram mencionados, nas cotas dos alinhamentos paralelos, tendo-se assim a estaca, as coordenadas (Leste e Norte) e as cotas dos pontos das superfícies de materiais ao longo dos alinhamentos. Estes pontos são copiados novamente em formato TXT, unindo-se todos os correspondentes a uma transição entre as categorias de materiais e de um determinado canal em um único arquivo.

Como por exemplo, copiam-se todos os pontos dos alinhamentos paralelos ao CS-590 da transição entre a 1ª e a 2ª categoria de materiais, e salva em um único arquivo no formato TXT. Faz-se este procedimento para todos os alinhamentos paralelos ao canal e a todas as das transições entre as categorias de materiais de 1ª, 2ª e 3ª.

Com os pontos com suas propriedades já salvas em um formato (ENZ do Civil 3D), contendo as coordenadas Leste (E) e Norte (N) e a Cota (Z), que podem ser adicionados no Civil 3D, foram criadas as superfícies correspondentes à transição entre as categorias de materiais para o canal e em seguida adicionadas seus respectivos pontos. Para cada transição de categoria de materiais (entre a 1ª e a 2ª e entre a 2ª e a 3ª) foi criado um arquivo, ou seja, mantendo estas transições em arquivos diferentes. Portanto, desta forma, foram estabelecidas as superfícies de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria.

f) Criação dos gabaritos das seções

Para a criação dos gabaritos das seções transversais, foram utilizadas as seções transversais para cada trecho do CS-590.2, que serão mostradas no capítulo seguinte. Com as seções transversais foram criados os gabaritos (assembly), conforme pode ser visualizado na Figura 3.9 um exemplo de um dos gabaritos.

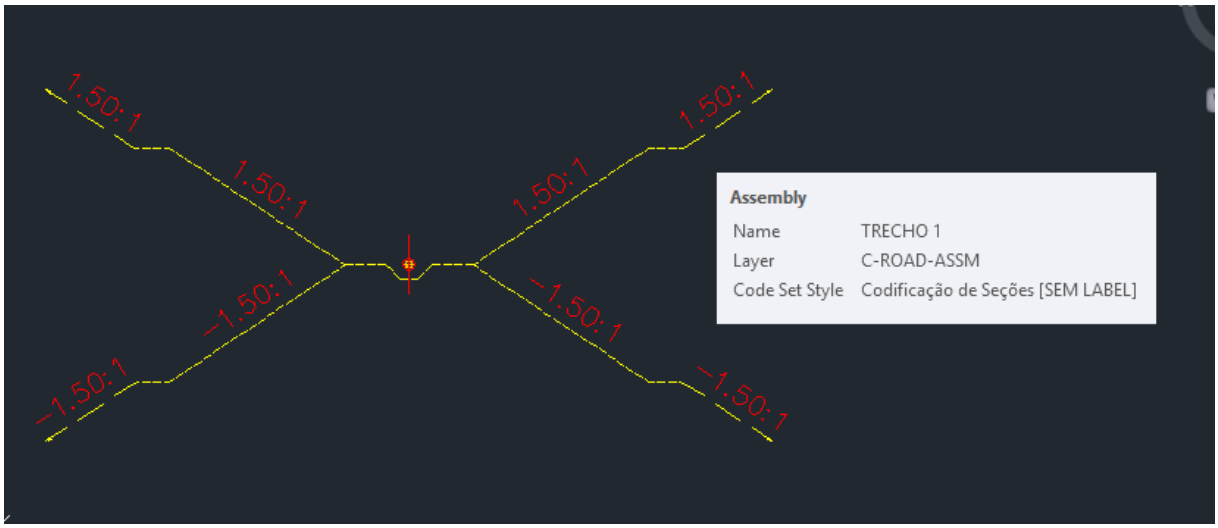


FIGURA 3.9 – Gabarito do trecho 1 do CS-590.2.

O comprimento da borda de concreto (Lb), conforme indica o Relatório do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre (1997), deve ser determinado segundo o critério:

- Para uma vazão do trecho (Q) maior que 6 m³/s , Lb= 20cm;
- Para uma vazão do trecho (Q) menor que 6 m³/s , Lb = 15cm.

Todos os trechos dos canais CS-590.2 apresentam uma vazão menor que 6 m³/s, logo estes devem apresentar comprimento de borda de concreto de 15 cm.

g) Criação do Corredor

O corredor foi criado para o canal de adução secundária CS-590.2, através da ferramenta *Create Corridor*, tendo como parâmetro o alinhamento, o perfil e o gabarito dos respectivo canal. Os gabaritos foram criados a partir das seções trapezoidais dos trechos do canal, onde foram também criadas bordas em torno dos corredores. A Figura 3.10 a seguir ilustra um pequeno trecho do corredor do CS-590.2.

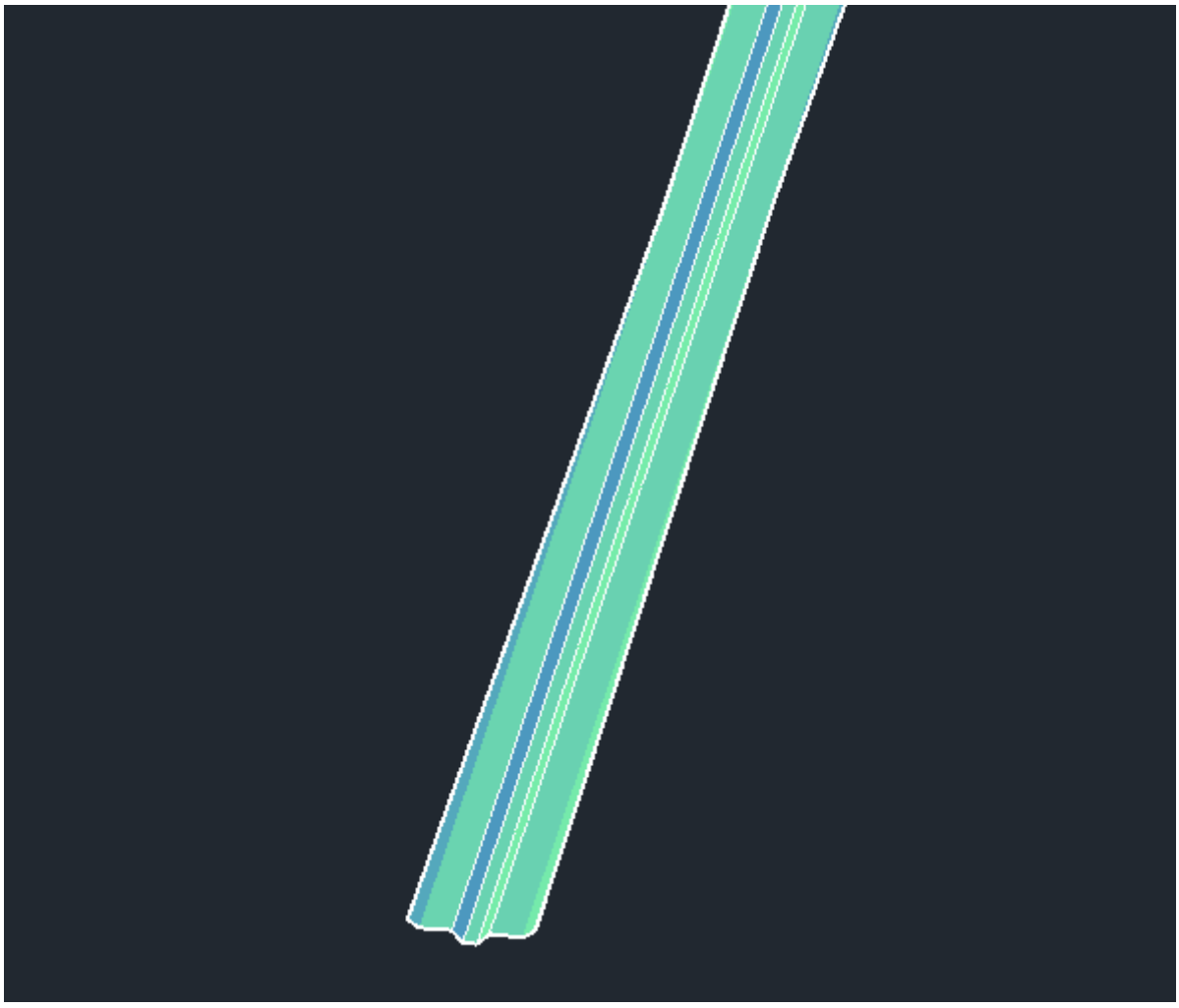


FIGURA 3.10–Corredor do trecho 1 do CS-590.2.

h) Computando os Volumes de Corte e Aterro

Com a construção tridimensional dos trechos do canal que faz parte deste estudo já concluída, foi estabelecido o volume de corte e aterro dos canais, onde foi realizado utilizando o AutoCAD Civil 3D 2012 Metric.

A superfície de cada canal foi tomada como comparação para as outras superfícies. Primeiro, comparando a superfície do canal com a superfície de limite dos materiais entre 2ª e 3ª categoria, obtendo assim o volume de corte de material de 3ª categoria. Fez-se o mesmo processo para obter o volume de corte para os materiais de 2ª e 1ª categoria, comparando com a superfície do canal a superfície de limite de materiais entre 1ª e 2ª categoria e a superfície do terreno natural, respectivamente. Estas operações foram feitas na ordem descrita. Com a comparação entre a superfície do canal e a superfície do terreno natural obteve-se também o volume de aterro, caso seja necessário para as bermas dos canais de irrigação.

3.5 CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS

O estudo econômico foi restrito ao trecho em estudo, o CS-590.2, que faz parte de uma adução secundária. Portanto, foi elaborada uma planilha orçamentária da solução desenvolvida, para que sejam comparadas com a solução apontada na Adequação do Perímetro Irrigado Salitre Plena/Projetec (2013). A descrição de cada item, contendo suas abreviações, é idêntica a encontrada nas referências de custos e índices da construção civil.

Com este fim, o método dos quantitativos será descrito a seguir, para cada um dos itens que compõe a planilha orçamentária. Os preços unitários de cada item foram retirados das Planilhas do *Sicro 2* e *Sinapi*, cujas medem os cujos e índices da construção civil. Tais referências são do mês de maio de 2013, as mesmas utilizadas como base dos custos do orçamento elaborado na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre. Estas fontes são de livre acesso e disponibilizadas na internet.

Portanto, para contabilizar os quantitativos do orçamento do canal CS-590.2, temos as seguintes relações:

1) DESM. DEST. LIMPEZA ÁREAS C/ARV. DIAM. ATÉ 0,15 M – DL:

   Este item foi determinado utilizando o AutoCAD Civil 3D 2012 Metric, através da área necessária para esse serviço, utilizando as ferramentas deste software.

2) LIMPEZA DE TERRENO - RASPAGEM MECANIZADA (MOTONIVELADORA) DE CAMADA VEGETAL – LT:

   LT = (DL – 12 x L) m², onde:

   L = comprimento do canal (m).

3) ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª CAT DMT 400 A 600M C/E – V1:

   Conforme mostrado no item 3.4 deste trabalho.

4) ESC. CARGA TRANSP. MAT 2A CAT DMT 400 A 600M C/E – V2:

   Conforme mostrado no item 3.4 deste trabalho.

5) ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT DMT 800 A 1000M – V3:

   Conforme mostrado no item 3.4 deste trabalho.

6) COMPACTAÇÃO DE ATERROS MAT 1ª CAT A 95% PROCTOR NORMAL – A:

Conforme mostrado no item 3.4 deste trabalho.

7) ESPALHAMENTO DE MATERIAL EM BOTA FORA, COM UTILIZACAO DE TRATOR DE ESTEIRAS DE 165 HP – BF:

BF = [V1 + V2 + V3 – A] m^3.

8) ESCAV. E CARGA DE MATER. DE JAZIDA (CONST E RESTR):

O valor do material de jazida de empréstimo para realizar aterros compactados será igual ao déficit de material de 1ª categoria. Mas devido a grandeza do Perímetro Irrigado Salitre, foi constatado que não será necessário material de empréstimo de jazida, pois, quando levando em consideração todo o projeto, ou seja, todos os trechos de adução primária e secundária, que têm mais escavação do que aterro, este não terá o déficit relatado. Em outras palavras, será utilizados material de bota fora dos outros trechos de adução para realizar o aterro do CS-590.2.

9) REG.FUNDO/TALUDES CAN/DREN/DIQ – CR:

CR = [(b + 2 x i) x L] m^2, onde:

b = Base do Canal (m);

i = largura do talude interno (1:1) do canal (m).

10) CONCR ESTR FCK=15MPA C.RAZ USO GER CONF/LANÇ AC/BC – CC:

CC = [e x (CR + 0,4)] m^3, onde:

e = Espessura da camada de concreto (m);

11) HIDROSSEMEADURA – HD:

Foi utilizado o AutoCAD Civil 3D 2012 Metric para se medir a área do talude externo canal, somando-a com a área do topo do talude, chegando-se assim a área necessária para o revestimento com Hidrossemeadura.

12) JUNTA PARA CANAIS (BETUMINOSA) – J:

J = {[(L/3) + 1] x i} m.

13) ESCADA TIPO MARINHEIRO EM TUBO ACO GALVANIZADO 1 1/2 5 DEGRAUS – EM:

EM = {[(L/250) + 1] x (i x 1,1)} m.

14) REVESTIMENTO PRIMÁRIO (15 CM DE ESPESSURA) – RP:

RP = (12 x L x 0,15) m^3.

15) IMPERMEABILIZACAO DE SUPERFICIE COM GEOMEMBRANA (MANTA TERMOPLASTICA LISA) TIPO PEAD, E=1MM – IS:

IS = [(2 x i + b) x L + 1,04] m^2.

16) MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 1ª E/OU 2ª CATEGORIA – MET1/2:

Para o Momento Extraordinário de Transporte, foi adotado um percentual de 15,21% do custo do total da terraplenagem dos Canais de Condução. Tal valor foi o mesmo adotado na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre.

17) MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 3ª CATEGORIA – MET3:

Para o Momento Extraordinário de Transporte, foi adotado um percentual de 15,21% do custo do total da terraplenagem dos Canais de Condução. Tal valor foi o mesmo adotado na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre.

18) UNIDADE DE QUEDA

Pra este item orçamentário, foi adotado um preço único, adotado pela Projetec Projetos Técnicos LTDA, e assim utilizado neste trabalho.

4. RESULTADOS

Este capítulo relata a solução adotada para o problema explicito anteriormente. O fato da adução estar perpendicular as curvas de nível na maior parte do respectivo canal foi o maior desafio encontrado no decorrer do trabalho. A preocupação com a velocidade no canal assim como minimizar os cortes e aterros ao longo do traçado do canal foram os maiores desafios encontrados.

Tal solução consta do respectivo traçado do canal secundário CS-590.2 do Perímetro Irrigado Salitre, localizado no município de Juazeiro-BA, que inclui:

- Número de Trechos resultantes do CS-590.2 e suas dimensões;
- Número de Quedas necessárias e suas singularidades;
- Linhas d'água nas quedas, com suas simplificações;
- Quantitativo dos materiais de construção para compor o orçamento final da solução proposta neste trabalho;
- Comparativo da solução adotada com a outra escolhida na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre, desenvolvida pelo consórcio Plena/Projetec.

4.1 TRAÇADO DO CANAL

O canal secundário CS-590.2, fonte de estudo deste projeto, foi divido em três trechos, onde estes foram chamados de Trecho 1, 2 e 3. Para o traçado do canal foi adotado o mesmo que foi sugerido na Adequação do Projeto Básico.

Na definição do comprimento dos trechos do canal, foi feito para que este não tivesse uma declividade que acarretasse numa velocidade acima do permitido (AZEVEDO NETTO, 2005) e que os locais que seriam postadas as quedas influenciassem positivamente o total de aterro/corte necessário para execução do canal, ou seja, minimizar tais fatores.

Com tais considerações, o Trecho 1 teve um comprimento de 3.200,00 m, o Trecho 2 teve 3.346,21 m e o último teve 6.272,34 m. Caso sejam somados os valores dos comprimentos dos trechos é notório que estes não darão o valor de 12.829,92 m, que corresponde a extensão total do CS-590.2. Isso acontece devido ao fato da

existência de três quedas ao longo do percurso do canal. Os valores dos parâmetros das quedas serão apresentados posteriormente.

A base (*b*) do canal manteve o valor de montante, que era de 1,5 m, assim como a inclinação dos taludes do canal (1:1). A profundidade da borda livre foi adotada de 0,4 m (AZEVEDO NETTO, 2005), como já mencionado. O valor máximo da lâmina de água (*y*) entre os trechos foi de 0,9 m, cujo se refere ao último dos trechos.

Os valores correspondentes as seções transversais dos trechos do CS-590.2 estão resumidos no Quadro 4.1 a seguir.

QUADRO 4.1 – Seções Transversais do Canal CS-590.2.

CANAL	L (m)	ESTACA		Q (m³/s)	i (m/m)	SEÇÃO TRANSVERSAL				
		INICIAL	FINAL			b	B	y	B.L.	H
CS-590.2	12.829,92	0+000	12+830	3,267	-	-	-	-	-	-
Trecho 1	3.200,00	0+004	3+204	3,267	0,0016	1,5	3,16	0,83	0,4	1,23
Trecho 2	3.346,21	3+208	6+554	3,267	0,0015	1,5	3,19	0,85	0,4	1,25
Trecho 3	6.272,34	6+558	12+830	3,267	0,0012	1,5	3,29	0,90	0,4	1,30

No que diz respeito às elevações dos trechos, nos seus inícios e fins, estão apresentadas no Quadro 4.2. Vale lembrar que, a linha d'água ao longo do canal foi calculada pelas considerações de Chézy e Manning.

QUADRO 4.2 – Elevações do Canal CS-590.2.

CANAL	L (m)	ESTACA		Q (m³/s)	i (m/m)	ELEVAÇÃO (m)					
						T.N.		FUNDO		BORDA	
		INICIAL	FINAL			INÍCIO	FINAL	INÍCIO	FINAL	INÍCIO	FINAL
CS-590.2	12.829,92	0+000	12+830	3,267	-	442,00	420,44	440,13	420,44	441,36	421,74
Trecho 1	3.200,00	0+004	3+204	3,267	0,0016	442,00	434,97	440,13	435,00	441,36	436,23
Trecho 2	3.346,21	3+208	6+554	3,267	0,0015	434,97	428,93	434,00	429,00	435,25	430,25
Trecho 3	6.272,34	6+558	12+830	3,267	0,0012	428,92	420,44	428,00	420,44	429,30	421,74

Em relação aos parâmetros hidráulicos, temos que a maior velocidade ocorreu no Trecho do CS-590.2, com o valor de 1,69 m/s, que ficou dentro dos limites estabelecidos no capítulo anterior. Consequentemente, nhoque diz respeito aos valores de Área Molhada (A_M), Perímetro Molhado (P_M) e Raio Hidráulico (R_h), os maiores valores foram encontrados do último trecho do canal, com seus valores

iguais a 2,15 m², 4,04 m e 0,53 m, respectivamente. O resumo de tais valores é exibido no Quadro 4.3.

QUADRO 4.3 – Parâmetros Hidráulicos do CS-590.2.

CANAL	L (m)	ESTACA		Q (m³/s)	i (m/m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	V (m/s)
		INICIAL	FINAL						
CS-590.2	12.829,92	0+000	12+830	3,267	-	-	-	-	-
Trecho 1	3.200,00	0+004	3+204	3,267	0,0016	1,94	3,85	0,50	1,69
Trecho 2	3346,21	3+208	6+554	3,267	0,0015	1,99	3,89	0,51	1,64
Trecho 3	6272,34	6+558	12+830	3,267	0,0012	2,15	4,04	0,53	1,52

No que diz respeitos as três quedas ao longo do traçado do canal, tem-se o resultado final do dimensionamento, seguindo as diretrizes do USBR, exibido no Quadro 4.4.

QUADRO 4.4 – Parâmetros Hidráulicos das quedas do CS-590.2.

CANAL	ESTACA (QUEDA)		Q (m³/s)	y_c (m)	b_q (m)	h_q (m)	h' (m)	L_q (m)
	INICIAL	FINAL						
CS-590.2	0+000	12+830	3,267	-	-	-	-	-
Trecho 1	0+000	0+004	3,267	0,898	1,50	1,00	0,449	3,788
Trecho 2	3+200	3+204	3,267	0,898	1,50	1,00	0,449	3,788
Trecho 3	6+554	6+558	3,267	0,898	1,50	1,00	0,449	3,788

Como pode ser visto, as quedas implantadas terão as mesmas dimensões, sendo adotada no seu dimensionamento a pior situação ocorrente, para assim ter-se uma queda padrão, simplificando a dotação de custo das mesmas.

A lâmina de água crítica (y_c) teve o valor de 0,90 m, e Largura da base da queda (b_q) teve seu valor igual a base do canal trapezoidal (b), de 1,5 m, como já foi relatado no capitulo anterior. O comprimento da bacia de dissipação (L_q) foi de 3,79 m, e a altura do degrau da bacia de dissipação (h') foi de 0,45 m, como pode ser visualizado no Quadro 4.4.

É importante esclarecer que, o ressalto hidráulico resultante da mudança do regime de escoamento acontece integralmente na bacia de dissipação da que, logo a

lâmina de água a jusante da bacia teve seu valor igual à lâmina de água (y) do respectivo trecho.

A Figura 4.1 exibe um perfil esquematizado de todos os trechos do CS-590.2, incluindo as quedas verticais.

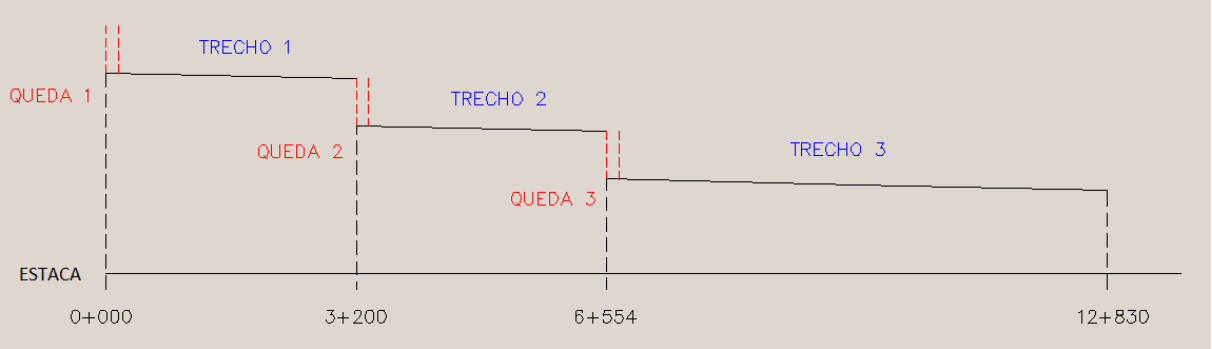


FIGURA 4.1 – Perfil Esquemático do CS-590.2.

4.2 LÂMINA D'ÁGUAS NAS SEÇÕES DE QUEDA

Nas proximidades das quedas verticais, há a ocorrência de escoamento gradualmente variado, como mencionado no item 3 deste trabalho. Logo, para o cálculo da lâmina d'água nas proximidades (a montante) das quedas, foi utilizado o Standard Step Method, uma vez que as considerações de Chézy e Manning avaliam apenas escoamentos uniformes.

Como consequência desta aplicação, tem-se mostrado no Anexo II, onde é mostrado o valor da cota da linha d'água a montante e a jusante das quedas verticais.

Tais resultados podem ser visualizados nas Figuras 4.2 a 4.7 a seguir, as quais mostra a linha d'água em relação ao fundo do canal. Vale lembrar que a montante das quedas, a linha d'água foi calculada pelo Standard Step Method, pois se trata de um trecho em "queda livre", e a jusante foi calculada pelas considerações de Chézy-Manning.

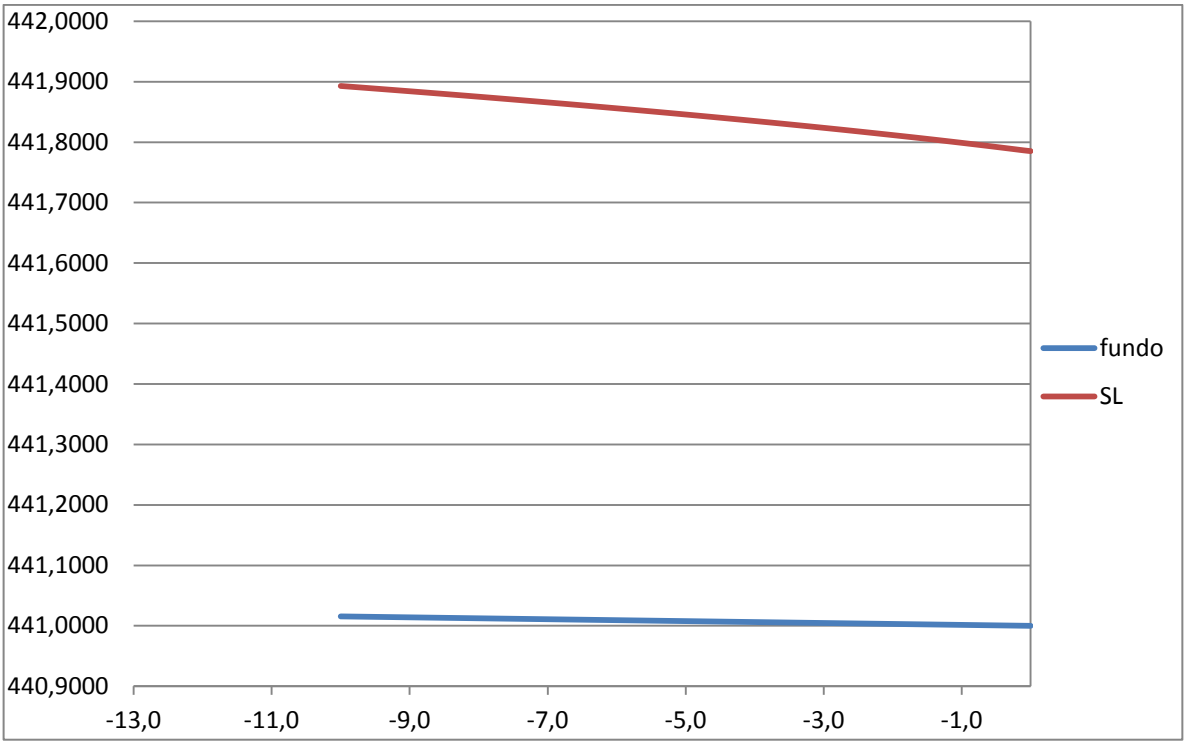


FIGURA 4.2 – Linha d'água no trecho a montante da Queda 1.

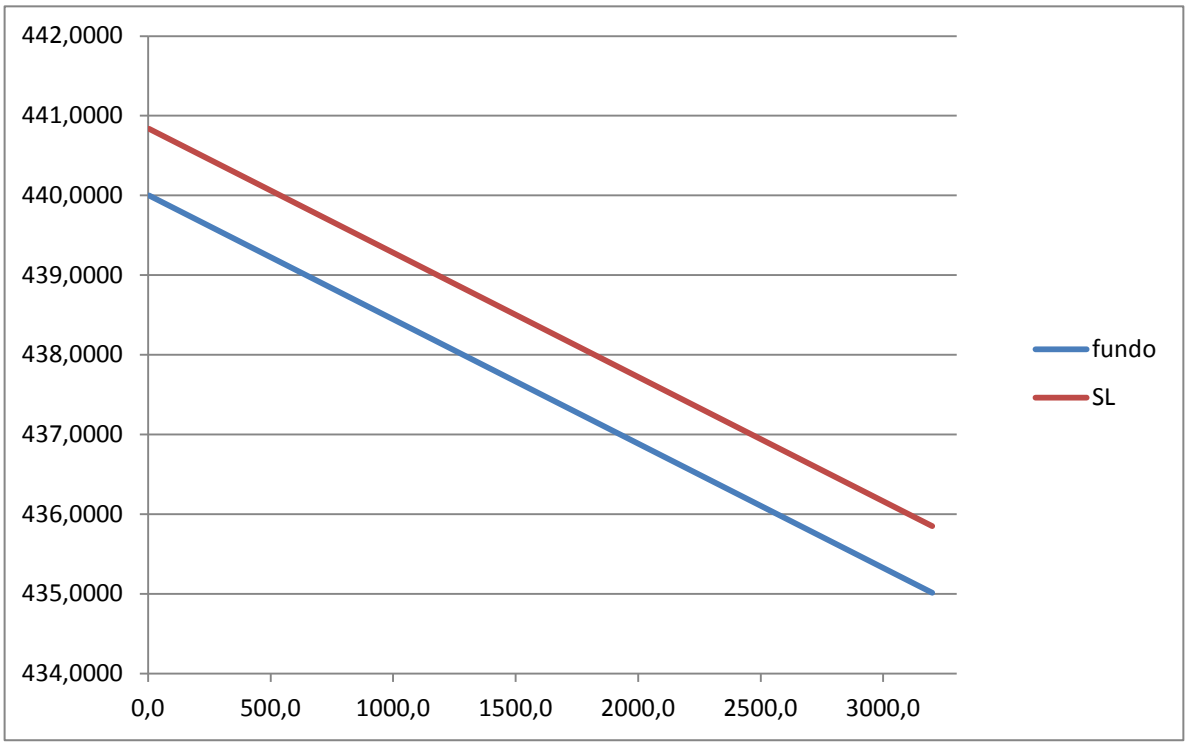


FIGURA 4.3 – Linha d'água no trecho a jusante da Queda 1.

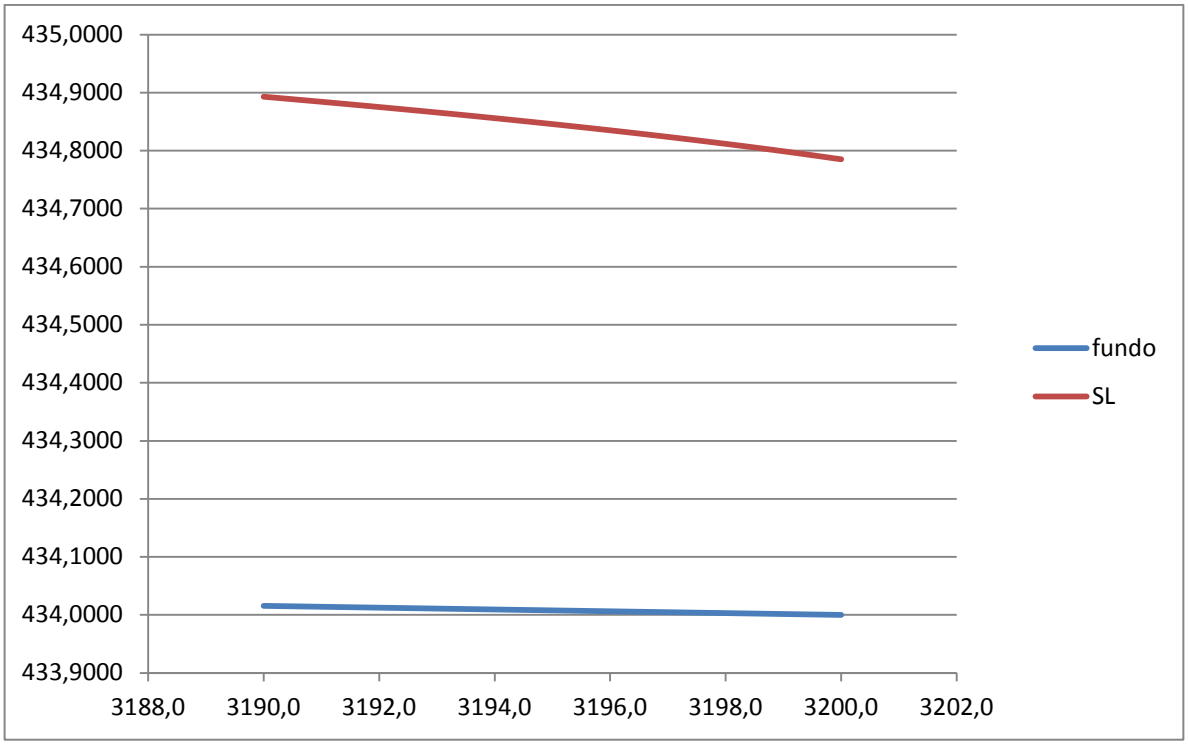


FIGURA 4.4 – Linha d'água no trecho a montante da Queda 2.

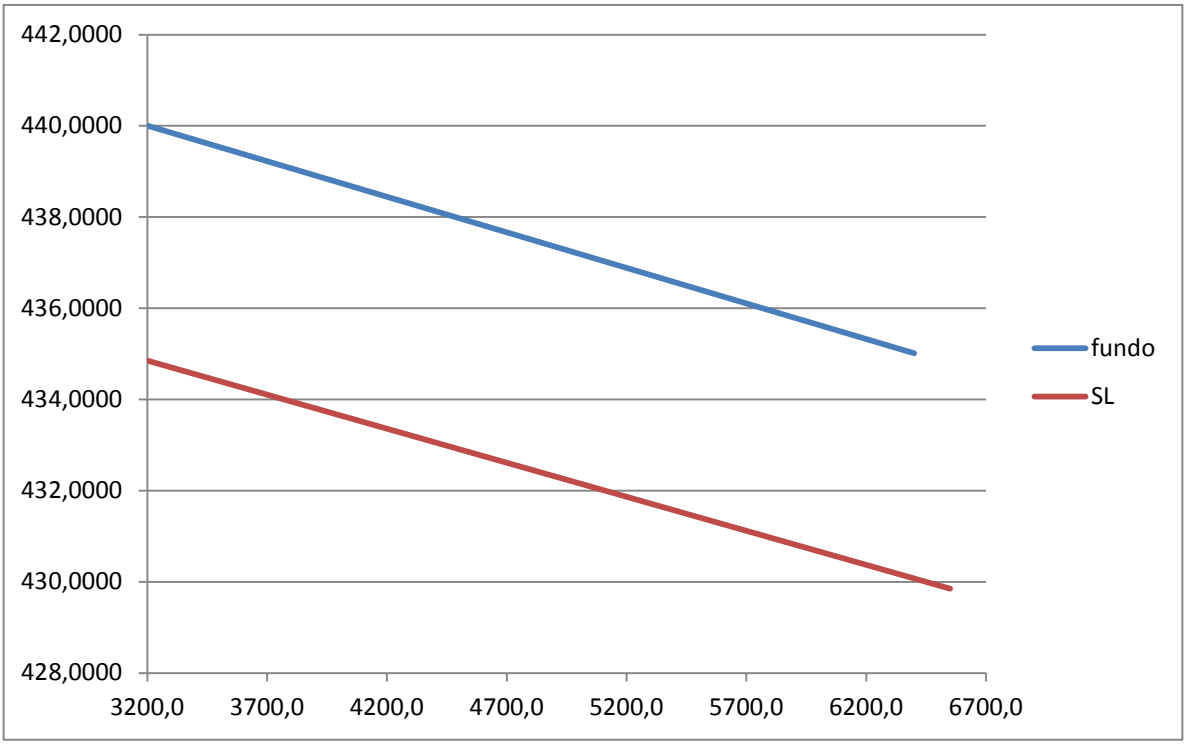


FIGURA 4.5 – Linha d'água no trecho a jusante da Queda 2.

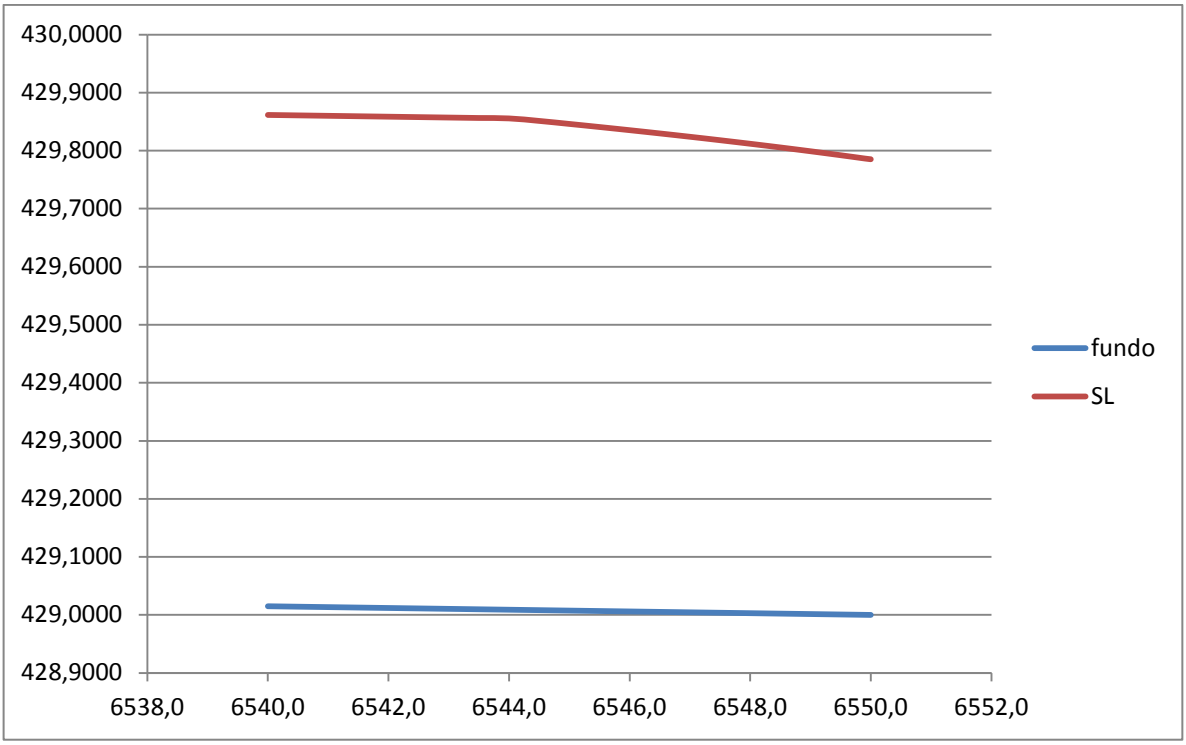


FIGURA 4.6 – Linha d'água no trecho a montante da Queda 3.

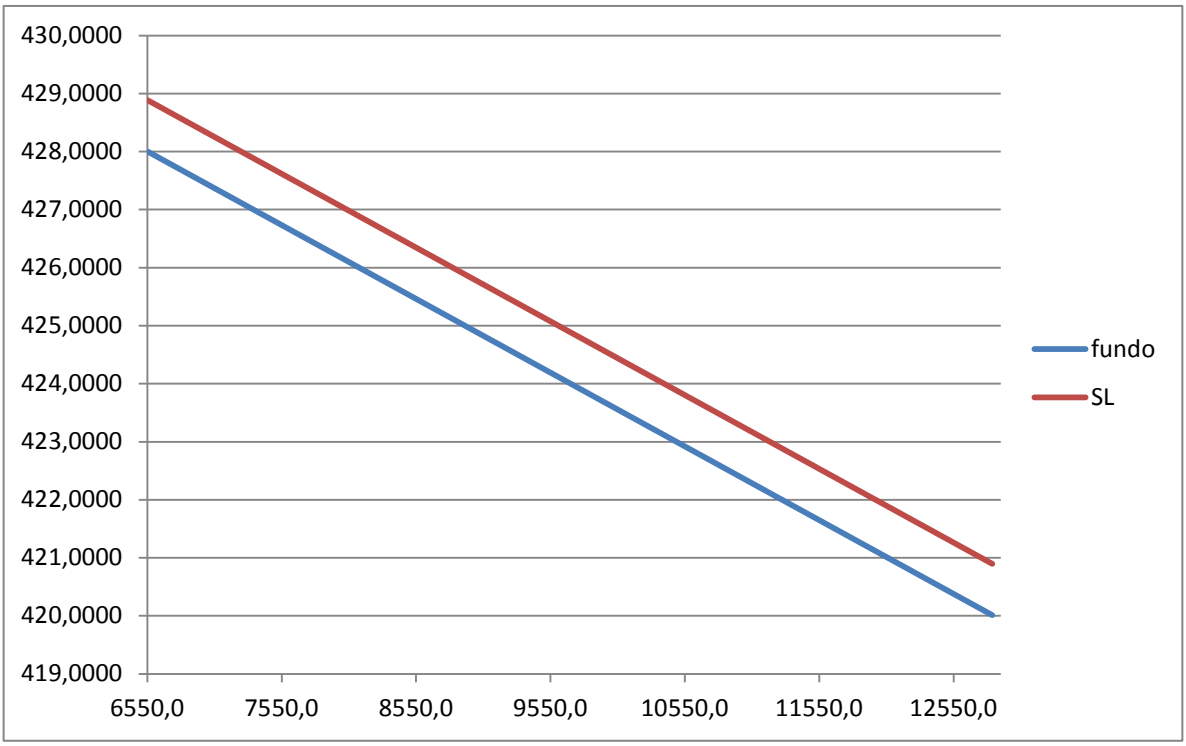


FIGURA 4.7 – Linha d'água no trecho a jusante da Queda 3.

O Anexo IV deste trabalho apresenta as plantas e perfis do canal CS-590.2.

4.3 VOLUME DE MATERIAL MOVIMENTADO

No capítulo anterior foi descrito todo o processo utilizando o AutoCad Civil 3D 2012 Metric que foi utilizado para medir os quantitativos de matérias que sofrerão movimento na obra (corte e/ou aterro). Foi constatado que a escavação referente a materiais de 2ª ou 3ª categoria são poucos expressivos comparados aos de 1ª categoria..

Isso porque, a profundidade máxima do canal secundário CS-590.2 é de 1,3 m, e segundo as considerações feitas das profundidades dos limites de categorias de matérias de escavação feitas na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre, e adotada neste trabalho, o material de 2ª e 3ª categorias estão a uma profundidade de 1,5 e 2,0 metros, respectivamente, e a crista do canal, sua borda, está sempre próxima a superfície do terreno natural ou acima desta.

O Quadro 4.5 resume o quantitativo de matérias movimentados calculados neste projeto.

Sobre o volume de aterro, em todos os trechos, foi constatado ser consideravelmente superior ao da escavação, chegando a ser até 26 vezes maior. Isso ocorre devido ao fato explicado anteriormente, que a crista do canal sempre está próxima ao nível do terreno ou superior a esta. Essa relação entre aterro e corte é exibido no Quadro 4.6.

QUADRO 4.5 – Volume de escavação no CS590.2.

ESCAVAÇÃO (m³)			
CS-590.2	**TRECHO 1**	**TRECHO 2**	**TRECHO 3**
1ª CATEGORIA	4.217,28	8.727,61	24.070,88
2ª CATEGORIA	99,71	-	2.310,36
3ª CATEGORIA	-	-	308,74
TOTAL	4.316,99	8.727,61	26.689,98

QUADRO 4.6 – Relação entre aterro x escavação no CS-590.2.

ESCAVAÇÃO X ATERRO (m³)				
CS-590.2	**TRECHO 1**	**TRECHO 2**	**TRECHO 3**	**TOTAL**
ESCAVAÇÃO	4.316,99	8.727,61	26.689,98	39.734,58
ATERRO	28.507,54	19.506,63	713.690,72	761.704,89
ATERRO/CORTE	6,60	2,24	26,74	-

Por fim, temos para escavação um volume total de 39.734,58 m³, e para aterro compactado um volume de 761.704,89 m³ em todo o CS-590.2.

4.4 ORÇAMENTO FINAL DO 590.2

Para o trecho do 590.2 neste trabalho, foi adotada uma solução de canal a céu aberto, diferente da solução utilizada na Adequação do Projeto Básico do perímetro Irrigado Salitre, que foi de uma adutora.

Portanto, como resultado final deste trabalho, tem-se o orçamento do 590.2 apresentado no Quadro 4.7 a seguir. As planilhas que constam os orçamentos dos três trechos separadamente estão apresentadas no Anexo III deste documento.

Vale lembrar mais uma vez que não, não foi necessário material de jazida de empréstimo devido ao excesso de material de bota-fora (1ª Categoria) dos outros trechos de adução secundária e dos trechos de adução primária do Projeto dos Perímetro Irrigados Salitre. Isso quer dizer que, com o material escavado, de 1ª categoria, que iria para bota-fora dos outros trechos seriam destinados aos aterros do CS-590.2.

QUADRO 4.7 – Orçamento do CS-590.2.

ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS - R$	
				UNITARIO	GLOBAL
1.	**CANAL SECUNDÁRIO 590.2 (CS-590.2)** **Q (m³/s) = 3,267**	**-**	**-**	**-**	
1.1	DESM. DEST. LIMPEZA ÁREAS C/ARV. DIAM. ATÉ 0,15 M	**m²**	355.052,43	0,24	**85.212,58**
1.2	LIMPEZA DE TERRENO - RASPAGEM MECANIZADA (MOTONIVELADORA) DE CAMADA VEGETAL	**m²**	199.293,39	0,48	**95.660,83**
1.3	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	37.015,77	4,85	**179.526,48**
1.4	ESC. CARGA TRANSP. MAT 2A CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	2.410,07	6,56	**15.810,06**
1.5	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT DMT 800 A 1000M	**m³**	308,74	27,45	**8.474,91**
1.6	COMPACTAÇÃO DE ATERROS MAT 1ª CAT A 95% PROCTOR NORMAL (ÁREA)	**m³**	761.704,89	1,96	**1.492.941,58**
1.7	ESPALHAMENTO DE MAT 1ª/2ª CAT EM BOTA-FORA	**m³**	0,00	0,88	**-**
1.8	ESCAV. E CARGA DE MATER. DE JAZIDA(CONST E RESTR	**m³**	0,00	2,99	**-**
1.9	REG.FUNDO/TALUDES CAN/DREN/DIQ	**m²**	65.980,20	342,78	**22.616.694,51**
1.10	CONCR ESTR FCK=15MPA C.RAZ USO GER CONF/LANÇ AC/BC	**m³**	3.299,07	292,11	**963.691,40**
1.11	HIDROSSEMEADURA	**m²**	59.464,05	0,72	**42.814,12**
1.12	JUNTA PARA CANAIS (BETUMINOSA)	**m**	4.329,64	2,56	**11.083,88**
1.13	ESCADA TIPO MARINHEIRO EM TUBO ACO GALVANIZADO 1 1/2" 5 DEGRAUS	**m**	216,39	177,71	**38.454,08**
1.14	REVESTIMENTO PRIMÁRIO (15 CM DE ESPESSURA)	**m³**	23.363,86	11,55	**269.852,54**
1.15	IMPERMEABILIZAÇÃO GEOMEMBRANA PEAD TEXTURIZADA DUAS FACES 1,00MM	**m²**	68.619,41	22,97	**1.576.187,91**
1.16	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 1ª E/OU 2ª CATEGORIA – MET1/2:	**m³xkm**	-	-	**3.698.075,37**
1.17	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 3ª CATEGORIA	**m³xkm**	-	-	
1.18	UNIDADE DE QUEDA	**Un.**	3,00	4299,356653	**12.898,07**
			TOTAL		31.107.378,33

4.5 COMPARATIVOS DAS SOLUÇÕES

As alternativas propostas para a Adução Secundária CS-590.2 derivaram de uma análise do terreno natural, aos trechos do km 9+000 até o final da adução secundária CS-590 (km 21+839) apresentam um declive de mais de 20 m, onde na Adequação do projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre recomendou-se a utilização de tubulação gravitaria (Alternativa 1).

Neste trabalho foi dimensionado um canal a céu aberto para este trecho (Alternativa 2), onde foi apresentado ser orçamento no item anterior. O Quadro 4.8 a seguir mostra um comparativo de custo entre as duas soluções.

QUADRO 4.8 – Comparativo das alternativas do CS-590.2.

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	ATERNATIVA 1		ATERNATIVA 2	
OBRAS CIVIS	SUBTOTAL	R$ 8.943.129,64		R$ 31.107.378,33	
FORNECIMENTO HIDROMECÂNICO	SUBTOTAL	R$ 24.257.100,78		-	
MONTAGEM HIDROMECÂNICA	SUBTOTAL	R$ 84.619,86		-	
CONTIGÊNCIA	ATRIBUÍDO	30%	R$ 9.985.455,08	30%	R$ 9.332.213,50
OBRAS DE ARTE	ATRIBUÍDO	30%	R$ 9.985.455,08	30%	R$ 9.332.213,50
BDI	ATRIBUÍDO	25%	R$ 8.321.212,57	25%	R$ 7.776.844,58
	TOTAL:	R$ 61.576.973,02			R$ 57.548.649,91

O valor referente a implantação da alternativa 2, que foi a sugerida neste trabalho, ficou R$ 4.028.323,11 mais barata (6,54% menor) que a apresentada na Adequação do projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre.

Essa diferença considerada para o custo de implantação do CS-590.2 é devido a duas diferenças principais: a) custo entre canal e tubulação; e b) custo do aterro compactado nas tubulações. O custo do aterro compactado nas tubulações é relevante, pois, tem-se que ser implantado um colchão de areia e depois compactar o material de primeira categoria sobre a tubulação, algo que tem que ser feito cuidadosamente para não danificá-la.

Em decorrência do custo de implantação, recomenda-se neste trabalho a Alternativa 2, que geraria um investimento de implantação de R$ 57.548.649,91, ou seja, considerando uma contingência de 30% e obras de arte também de 30% sobre o custo dos serviços para implantação de tais estruturas, além de um BDI de 25%.

Tais valores atribuídos foram retirados da Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre.

Observações:

1 - O que se refere às "CONTIGÊNCIAS" são os elementos construtivos pertinentes, e seguramente presentes quando o momento da construção (tanto para os canais como para tubulações), todavia seriam muito imprecisos de se estimar as respectivas quantidades considerando esta fase de anteprojeto. Resumidamente: Camada de solos e cimento; Concreto poroso para preenchimento quando a escavação em rocha; Geocomposto drenagem interna, Geodreno para captação de escoamento de toda a drenagem interna do canal; Valores referentes às escavações especiais (ou utilização de fogo), para avanço em camadas de rocha sã (este mediante a um estudo geotécnico); escavações especiais para substituição de solos instável, etc.

2 - O que se refere às "OBRAS-DE-ARTE" são os elementos construtivos pertinentes, presentes para esta infraestrutura hídrica. Paras os canais temos: Pontes; Passarelas; Vertedouros; Descargas de Fundos, Desníveis (Bico de Pato), Comportas, Estruturas de Transições. Para as Tubulações temos: Válvulas, Ventosas, Pontos de Inspeção, Conexões, Derivações, Descargas de Fundo, etc.

5. CONCLUSÃO

Atualmente, existem tecnologias disponíveis para a sociedade brasileira para combater o problema do déficit hídrico nas regiões semiáridas do território nacional. Tais soluções tendem a contribuir para uma melhor qualidade de vida das pessoas que residem nesta região, com a minimização dos problemas relacionados á falta d'água para abastecimento humano e também para aspectos econômicos, tais como o uso para irrigação, dessedentação animal e indústria por exemplo.

No trecho de adução, alvo de estudo deste trabalho, corresponde a um sistema secundário do CS-590, a partir da estaca 9+000 até a estaca 21+830, do Projeto de Irrigação do perímetro Irrigado Salitre, em Juazeiro-BA. Neste trabalho, o referido trecho foi denominado CS-590.2, e sua estaca inicial corresponde a 0+000 e a final a 12+830.

Na solução adotada pelo consórcio Plena/Projetec para o CS-590.2, foi adotada uma adutora de gravidade, por se tratar de um trecho bastante íngreme, resultando em um orçamento final de R$ 61.576.973,02.

A proposta apresentada neste estudo se refere a uma alternativa diferente da apresentada na Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre, a qual corresponde a uma adução por canal a céu aberto, conduto aberto, para o CS-590.2. Para tal propósito, teve-se como maiores desafios manter a velocidade do canal dentro dos limites permitidos, consequentemente a inclinação do canal, e minimizar o volume de material a ser escavado na implantação da solução, para desta forma minimizar os seus custos.

Com a utilização dos dados fornecidos pelo consórcio na Adequação do Projeto Básico, tais como topografia, planilhas orçamentárias, etc, foi possível a realização deste trabalho.

No dimensionamento hidráulico, foram utilizadas equações fundamentas da Engenharia Hidráulica, como por exemplo, a Equação da Conservação de Massa e a Equação de Bernoulli, aliados a teorias de escoamentos uniformes e gradativamente variados, como as Equações de Chézy-Manning e o Standard Step Method. Foi mantido em todo o trecho do CS-590.2 um canal trapezoidal de base de 1,5 m, exceto nos trechos de queda.

A velocidade máxima encontrada em todo o CS-590.2 foi de 1,69 m/s (Trecho 1) com declividade de 0,0016 m/m, e a lâmina d'água máxima foi de 1,30 m (Trecho 3) com declividade de 0,0012 m/m, conforme apresentado no capítulo 4 deste trabalho. Logo, todos os parâmetros hidráulicos finais estão dentro dos limites estabelecidos no capítulo 3, de acordo com as referências conceituais.

As três estruturas de quedas verticais previstas e dimensionadas, onde também ocorre o ressalto hidráulico ocasionado pela mudança de regime de escoamento, foram de uma altura igual a 1,00 m, sendo de seção transversal retangular de 1,50 x 1,30 metros. O Comprimento da bacia de dissipação calculado foi de 3,79 m, com um degrau ao seu fim de 0,50 m, conforme apresentado na seção longitudinal da queda exibida no capítulo anterior.

Na seção das quedas mencionadas, ocorreu uma altura de lâmina d'água crítica, como também exibido nos resultados deste trabalho. Para calcular tais linhas d'águas, foi utilizado o Standard Step Method. Seus resultados, quando calculado numa seção trapezoidal mostraram-se inconclusivos, e por isso, foi calculado a linha d'água nestes trechos com seção retangular, de mesma dimensão da queda (1,5 x 1,3).

Devido às cotas de fundo de canal adotada neste projeto, foi constado que o volume de matérias de 2ª e 3ª categoria, que apresentam um custo maior para sua implantação, foram muitos inferiores aos de 1ª categoria, onde corresponde a 7,35% em relação ao de menor custo. Em todo o CS-590.2, ocorre um volume movimentado correspondente aos aterros consideravelmente maiores do que as escavações, tendo com volume final de aterro de 761.704,89 m³, e de escavação igual a 39.734,58 m³. A escavação resultou em cerca de 5,22% do volume de aterro.

Quando finalizado o orçamento da solução em canal a céu aberto realizada neste trabalho, foi constatado um valor final de R$ 57.548.649,81, estando incluídas neste valor as Contingências, Obras de Arte e BDI, cujas justificativas de tais itens foram apresentados no capítulo 4. O valor do orçamento da solução em adutora por gravidade apresenta no ano de 2013 pelo consócio Plena/Projetec como solução deste trecho de adução secundária foi de R$ 61.576.973,02, chegando a ser R$ 4.028.323,11, algo entorno de 6,54%, mais custosa do que a alternativa levantada neste trabalho.

Vale ressaltar que, os custos unitários dos itens orçamentários utilizados foram os mesmos da Adequação do Projeto Básico do Perímetro Irrigado Salitre.

Por fim, constatou-se que a solução em canal a céu aberto mostrou-se mais eficiente em termos hidráulicos e econômicos para o trecho de adução secundária CS-590, da estaca 9+000 até a estaca 21+830, constituinte do Perímetro Irrigado Salitre, localizado no municio de Juazeiro, no estado da Bahia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETTO, J.M., ALVAREZ, G.A. *Manual de Hidráulica*. 8ª.ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2005. Vol. 1, 335p.

BAPTISTA, M.B., COELHO, M.M.L.P., CIRILO, J.A., MASCARENHAS, F.C.B.. *Hidráulica Aplicada*. 2 ed. Porto Alegre. ABRH, 2011, 628p.

CHOW, V.T. *Open channel Hydraulics.* McGraw-Hill, 1959, 690p.

CRAUSSE, E. *Hydraulique des canaux découverts.* Paris: Editions Eyrolles, 1951, 257p.

Modelo de Predição de Viabilidade de Manutenção de Canais de Irrigação - Projeto P&D – UFPE/CHESF. 2011.

Perímetro Irrigado Salitre/Codevasf. Projeto Básico – Etapa 1. JP/ENCO/TAHAL. 1997.

Perímetro Irrigado Salitre/Codevasf. Projeto Básico – Etapa 2. Hydros. 2013.

Perímetro Irrigado Salitre/CODEVASF: Adequação do Projeto Básico – Etapas 3, 4 e 5. Plena/Projetec. 2013.

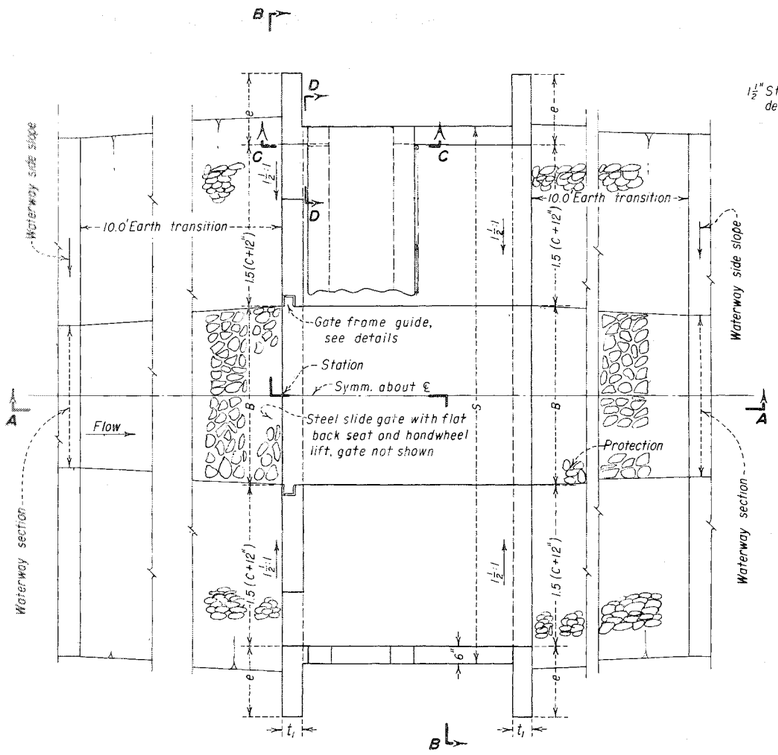
PORTO, R.M. *Hidráulica Básica*. São Carlos: EESC/USP, 1998. 519p.

SILTESTRE, P. *Hidráulica Geral*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda, 1979, 316p.

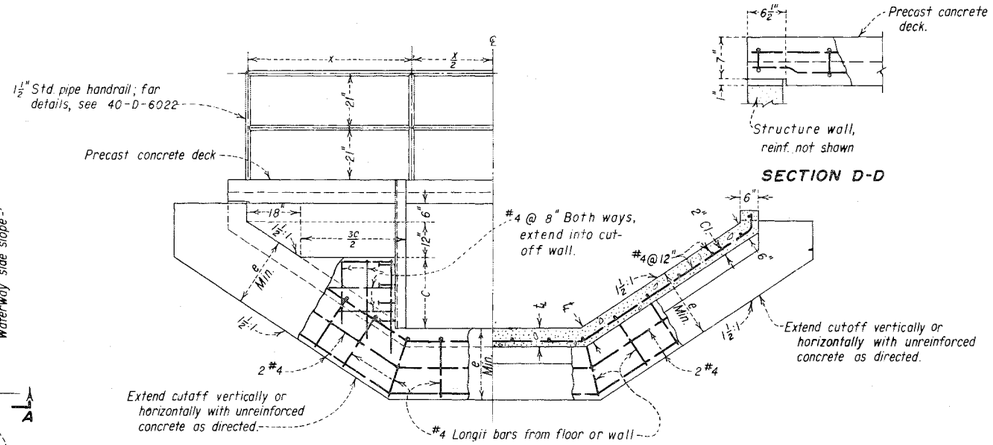
USBR. *Bureau of Reclamation.* U.S. Geological Survey. USA.

7. ANEXOS

ANEXO I – DETALHE CONSTRUTIVO DA QUEDA VERTICAL ADOTADA NO CS-590.2

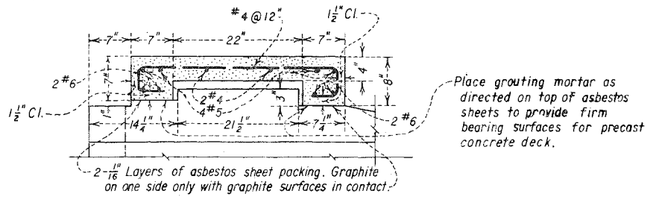


PLAN



SECTION B-B

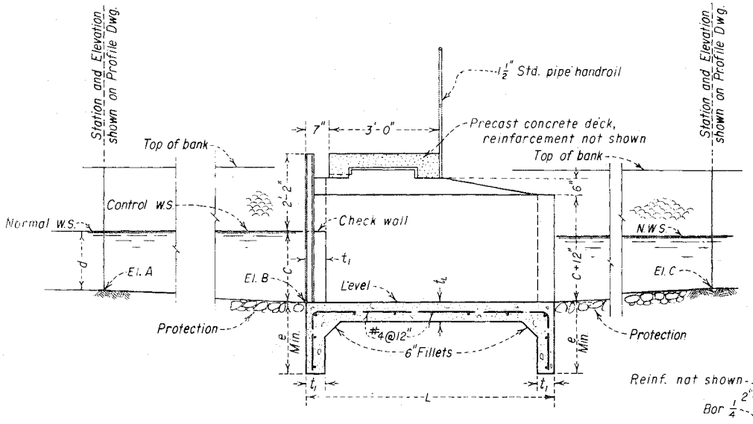
SECTION D-D



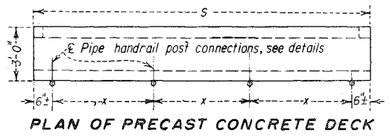
SECTION C-C

TABLE OF LOCATIONS AND ELEVATIONS

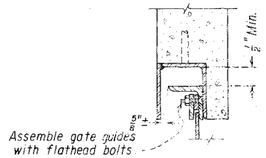
WATERWAY	STATION	STR. NO.	Q	ELEVATIONS A	ELEVATIONS B	ELEVATIONS C	REMARKS



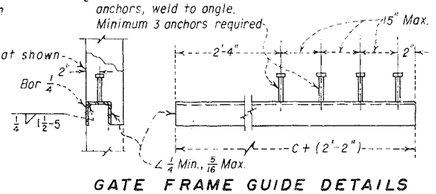
SECTION A-A



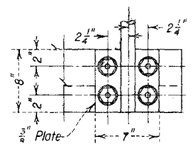
PLAN OF PRECAST CONCRETE DECK

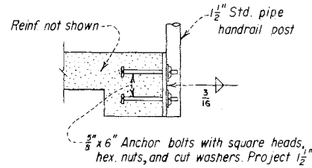


TYPICAL SLIDE GATE ASSEMBLY



GATE FRAME GUIDE DETAILS
(2 REQUIRED)





PIPE HANDRAIL POST CONNECTION DETAILS
(HANDRAIL REQUIRED WHEN C IS GREATER THAN 16")

STR. No.	MAX Q	SLIDE GATE (WIDTH x HEIGHT)*	SLIDE GATE FRM. HT.	STANDARD DIMENSIONS B	C	L	S	X	θ	t_c	t_1	ESTIMATED QUANTITIES CONC. CU. YDS	RE. STEEL LBS.	MISC. METAL LBS.	REMARKS
1	10	36"x12"	5'	3'-0"	14"	4'-6"	10'-6"	—	24°	6"	6"	2.8	330	65	
2	15	36"x18"	5'	3'-0"	20"	4'-6"	12'-0"	5'-6"	24°	6"	6"	3.2	370	195	
3	21	36"x24"	6'	3'-0"	2'-2"	5'-0"	13'-6"	6'-3"	24°	6"	6"	3.8	430	215	
4	26	36"x30"	6'	3'-0"	2'-8"	6'-0"	15'-0"	7'-0"	24°	6"	8"	5.9	540	235	
5	21	48"x18"	5'	4'-0"	21"	4'-6"	13'-3"	6'-2"	24°	6"	6"	3.5	410	210	
6	28	48"x24"	6'	4'-0"	2'-3"	5'-0"	14'-9"	6'-11"	24°	6"	6"	4.1	470	230	
7	35	48"x30"	6'	4'-0"	2'-9"	6'-0"	16'-3"	7'-8"	24°	6"	8"	6.2	580	245	
8	42	48"x36"	6'	4'-0"	3'-3"	7'-0"	17'-9"	5'-7"	24°	7"	8"	7.4	670	285	
9	35	60"x24"	6'	5'-0"	2'-3"	5'-0"	15'-9"	7'-5"	24°	6"	6"	4.3	490	275	
10	43	60"x30"	6'	5'-0"	2'-9"	6'-0"	17'-3"	5'-5"	24°	6"	8"	6.5	610	315	
11	52	60"x36"	6'	5'-0"	3'-3"	7'-0"	18'-9"	5'-11"	24°	7"	8"	7.7	700	340	
12	61	60"x42"	6'	5'-0"	3'-9"	7'-6"	20'-3"	6'-5"	24°	7"	8"	8.6	770	365	
13	42	72"x24"	6'	6'-0"	2'-3"	5'-0"	16'-9"	7'-11"	24°	6"	6"	4.5	520	280	
14	53	72"x30"	6'	6'-0"	2'-9"	6'-0"	18'-3"	5'-9"	24°	6"	8"	6.8	640	320	
15	63	72"x36"	6'	6'-0"	3'-3"	7'-0"	19'-9"	6'-3"	24°	7"	8"	8.0	730	345	

* When a gate of specified height is not available a gate with next greater available height shall be used with appropriate frame height.

NOTES

For general notes and minimum requirements for detailing reinforcement, see 40-D-6123.
Thickness of concrete to vary uniformly between dimensions shown.
Transverse bars to be continuous in walls and floor.
Place grouting mortar as directed on top of asbestos sheets to provide firm bearing surfaces for precast deck.
Set Elevation B so that top of check wall is at Control Water Surface Elevation.
Handrail required when C ≧ 16".
Gate frame height measured from ℄ of gate opening.

REFERENCE DRAWINGS

TYPICAL PROTECTION ----------

ALWAYS THINK SAFETY

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF RECLAMATION

CONCRETE CHECKS - TYPE 10

DRAWN W.A.K. SUBMITTED
TRACED D.J.P. RECOMMENDED
CHECKED APPROVED
CHIEF, CANALS BRANCH
DENVER, COLORADO

C-100-10

ANEXO II – COTAS DA LINHAS D'ÁGUAS NO CS-590.2

QUEDA 1							
MONTANTE				JUSANTE			
ESTACA	COTA			ESTACA	COTA		
	FUNDO	S.L.	Δ		FUNDO	S.L.	Δ
0,0	441,000	441,79	0,7852	3,3	440,000	440,837	0,837
-0,1	441,000	441,786	0,786	100	439,849	440,686	0,837
-0,2	441,000	441,788	0,788	200	439,693	440,530	0,837
-0,3	441,000	441,789	0,789	300	439,537	440,374	0,837
-0,4	441,000	441,790	0,790	400	439,381	440,218	0,837
-0,5	441,000	441,791	0,791	500	439,225	440,062	0,837
-0,6	441,000	441,793	0,793	600	439,069	439,906	0,837
-0,7	441,000	441,794	0,794	700	438,913	439,750	0,837
-0,8	441,000	441,795	0,795	800	438,757	439,594	0,837
-0,9	441,000	441,796	0,796	900	438,601	439,438	0,837
-1,0	441,000	441,797	0,797	1000	438,445	439,282	0,837
-1,1	441,000	441,799	0,799	1100	438,289	439,126	0,837
-1,2	441,000	441,800	0,800	1200	438,133	438,970	0,837
-1,3	441,000	441,801	0,801	1300	437,977	438,814	0,837
-1,4	441,000	441,802	0,802	1400	437,821	438,658	0,837
-1,5	441,000	441,803	0,803	1500	437,665	438,502	0,837
-1,6	441,000	441,804	0,804	1600	437,509	438,346	0,837
-1,7	441,000	441,806	0,805	1700	437,353	438,190	0,837
-1,8	441,000	441,807	0,806	1800	437,197	438,034	0,837
-1,9	441,000	441,808	0,808	1900	437,041	437,878	0,837
-2,0	441,000	441,809	0,809	2000	436,885	437,722	0,837
-2,5	441,000	441,814	0,814	2100	436,729	437,566	0,837
-3,0	441,000	441,819	0,819	2200	436,573	437,410	0,837
-3,5	441,001	441,825	0,824	2300	436,417	437,254	0,837
-4,0	441,001	441,829	0,829	2400	436,261	437,098	0,837
-4,5	441,001	441,834	0,833	2500	436,105	436,942	0,837
-5,0	441,001	441,839	0,838	2600	435,949	436,786	0,837
-5,5	441,001	441,843	0,842	2700	435,793	436,630	0,837
-6,0	441,001	441,848	0,847	2800	435,637	436,474	0,837
-6,5	441,001	441,852	0,851	2900	435,481	436,318	0,837
-7,0	441,001	441,856	0,855	3000	435,325	436,162	0,837
-7,5	441,001	441,860	0,859	3100	435,169	436,006	0,837
-8,0	441,001	441,864	0,863	3200	435,013	435,850	0,837
-8,5	441,001	441,868	0,866	-	-	-	-
-9,0	441,001	441,872	0,870	-	-	-	-
-9,5	441,001	441,875	0,874	-	-	-	-
-10,0	441,002	441,879	0,877	-	-	-	-
-10,5	441,002	441,882	0,881	-	-	-	-
-11,0	441,002	441,886	0,884	-	-	-	-

QUEDA 2							
MONTANTE				JUSANTE			
ESTACA	COTA			ESTACA	COTA		
	FUNDO	S.L.	Δ		FUNDO	S.L.	Δ
3200,0	435,000	435,785	0,785	3203	434	434,8466	0,846586
3199,9	435,000	435,786	0,786	3300	433,856	434,702	0,847
3199,8	435,000	435,788	0,788	3400	433,706	434,553	0,847
3199,7	435,000	435,789	0,789	3500	433,557	434,404	0,847
3199,6	435,001	435,791	0,790	3600	433,408	434,254	0,847
3199,5	435,001	435,792	0,791	3700	433,258	434,105	0,847
3199,4	435,001	435,793	0,793	3800	433,109	433,956	0,847
3199,3	435,001	435,795	0,794	3900	432,960	433,806	0,847
3199,2	435,001	435,796	0,795	4000	432,811	433,657	0,847
3199,1	435,001	435,798	0,796	4100	432,661	433,508	0,847
3199,0	435,002	435,799	0,797	4200	432,512	433,359	0,847
3198,9	435,002	435,800	0,799	4300	432,363	433,209	0,847
3198,8	435,002	435,802	0,800	4400	432,213	433,060	0,847
3198,7	435,002	435,803	0,801	4500	432,064	432,911	0,847
3198,6	435,002	435,804	0,802	4600	431,915	432,761	0,847
3198,5	435,002	435,805	0,803	4700	431,765	432,612	0,847
3198,4	435,003	435,807	0,804	4800	431,616	432,463	0,847
3198,3	435,003	435,808	0,805	4900	431,467	432,313	0,847
3198,2	435,003	435,809	0,806	5000	431,318	432,164	0,847
3198,1	435,003	435,811	0,808	5100	431,168	432,015	0,847
3198,0	435,003	435,812	0,809	5200	431,019	431,866	0,847
3197,5	435,004	435,818	0,814	5300	430,870	431,716	0,847
3197,0	435,005	435,824	0,819	5400	430,720	431,567	0,847
3196,5	435,006	435,830	0,824	5500	430,571	431,418	0,847
3196,0	435,006	435,835	0,829	5600	430,422	431,268	0,847
3195,5	435,007	435,841	0,833	5700	430,272	431,119	0,847
3195,0	435,008	435,846	0,838	5800	430,123	430,970	0,847
3194,5	435,009	435,851	0,842	5900	429,974	430,820	0,847
3194,0	435,010	435,856	0,847	6000	429,825	430,671	0,847
3193,5	435,010	435,861	0,851	6100	429,675	430,522	0,847
3193,0	435,011	435,866	0,855	6200	429,526	430,373	0,847
3192,5	435,012	435,871	0,859	6300	429,377	430,223	0,847
3192,0	435,013	435,875	0,863	6400	429,227	430,074	0,847
3191,5	435,014	435,880	0,866	6500	429,078	429,925	0,847
3191,0	435,014	435,885	0,870	6550	429,003	429,850	0,847
3190,5	435,015	435,889	0,874	-	-	-	-
3190,0	435,016	435,893	0,877	-	-	-	-
3189,5	435,017	435,898	0,881	-	-	-	-
3189	435,018	435,902	0,884	-	-	-	-

QUEDA 3							
MONTANTE				JUSANTE			
ESTACA	COTA			ESTACA	COTA		
	FUNDO	S.L.	Δ		FUNDO	S.L.	Δ
6550,0	429,00	429,79	0,78517	6553,3	428,00	428,88	0,883964
6549,9	429,00	429,79	0,78629	6600,0	427,94	428,82	0,883964
6549,8	429,00	429,79	0,78758	6700,0	427,81	428,70	0,883964
6549,7	429,00	429,79	0,78885	6800,0	427,69	428,57	0,883964
6549,6	429,00	429,79	0,79012	6900,0	427,56	428,44	0,883964
6549,5	429,00	429,79	0,79137	7000,0	427,43	428,32	0,883964
6549,4	429,00	429,79	0,79261	7100,0	427,31	428,19	0,883964
6549,3	429,00	429,79	0,79384	7200,0	427,18	428,06	0,883964
6549,2	429,00	429,80	0,79506	7300,0	427,05	427,93	0,883964
6549,1	429,00	429,80	0,79626	7400,0	426,92	427,81	0,883964
6549,0	429,00	429,80	0,79746	7500,0	426,80	427,68	0,883964
6548,9	429,00	429,80	0,79864	7600,0	426,67	427,55	0,883964
6548,8	429,00	429,80	0,79982	7700,0	426,54	427,43	0,883964
6548,7	429,00	429,80	0,80098	7800,0	426,42	427,30	0,883964
6548,6	429,00	429,80	0,80214	7900,0	426,29	427,17	0,883964
6548,5	429,00	429,81	0,80328	8000,0	426,16	427,05	0,883964
6548,4	429,00	429,81	0,80442	8100,0	426,03	426,92	0,883964
6548,3	429,00	429,81	0,80555	8200,0	425,91	426,79	0,883964
6548,2	429,00	429,81	0,80666	8300,0	425,78	426,66	0,883964
6548,1	429,00	429,81	0,80777	8400,0	425,65	426,54	0,883964
6548,0	429,00	429,81	0,80887	8500,0	425,53	426,41	0,883964
6547,5	429,00	429,82	0,81426	8600,0	425,40	426,28	0,883964
6547,0	429,00	429,82	0,81944	8700,0	425,27	426,16	0,883964
6546,5	429,01	429,83	0,82445	8800,0	425,14	426,03	0,883964
6546,0	429,01	429,84	0,82931	8900,0	425,02	425,90	0,883964
6545,5	429,01	429,84	0,83401	9000,0	424,89	425,77	0,883964
6545,0	429,01	429,85	0,83857	9100,0	424,76	425,65	0,883964
6544,5	429,01	429,85	0,84301	9200,0	424,64	425,52	0,883964
6544,0	429,01	429,86	0,84659	9300,0	424,51	425,39	0,883964
6543,5	429,01	429,86	0,84659	9400,0	424,38	425,27	0,883964
6543,0	429,01	429,86	0,84659	9500,0	424,25	425,14	0,883964
6542,5	429,01	429,86	0,84659	9600,0	424,13	425,01	0,883964
6542,0	429,01	429,86	0,84659	9700,0	424,00	424,88	0,883964
6541,5	429,01	429,86	0,84659	9800,0	423,87	424,76	0,883964
6541,0	429,01	429,86	0,84659	9900,0	423,75	424,63	0,883964
6540,5	429,02	429,86	0,84659	10000,0	423,62	424,50	0,883964
6540,0	429,02	429,86	0,84659	10100,0	423,49	424,38	0,883964
6539,5	429,02	429,86	0,84659	10200,0	423,37	424,25	0,883964
6539	429,02	429,86	0,84659	10300,0	423,24	424,12	0,883964
-	-	-	-	10400,0	423,11	423,99	0,883964
-	-	-	-	10500,0	422,98	423,87	0,883964
-	-	-	-	10600,0	422,86	423,74	0,883964
-	-	-	-	10700,0	422,73	423,61	0,883964
-	-	-	-	10800,0	422,60	423,49	0,883964
-	-	-	-	10900,0	422,48	423,36	0,883964
-	-	-	-	11000,0	422,35	423,23	0,883964
-	-	-	-	11100,0	422,22	423,11	0,883964
-	-	-	-	11200,0	422,09	422,98	0,883964
-	-	-	-	11300,0	421,97	422,85	0,883964
-	-	-	-	11400,0	421,84	422,72	0,883964
-	-	-	-	11500,0	421,71	422,60	0,883964
-	-	-	-	11600,0	421,59	422,47	0,883964
-	-	-	-	11700,0	421,46	422,34	0,883964
-	-	-	-	11800,0	421,33	422,22	0,883964
-	-	-	-	11900,0	421,20	422,09	0,883964

QUEDA 3							
MONTANTE				JUSANTE			
ESTACA	COTA			ESTACA	COTA		
	FUNDO	S.L.	Δ		FUNDO	S.L.	Δ
-	-	-	-	12000,0	421,08	421,96	0,883964
-	-	-	-	12100,0	420,95	421,83	0,883964
-	-	-	-	12200,0	420,82	421,71	0,883964
-	-	-	-	12300,0	420,70	421,58	0,883964
-	-	-	-	12400,0	420,57	421,45	0,883964
-	-	-	-	12500,0	420,44	421,33	0,883964
-	-	-	-	12600,0	420,31	421,20	0,883964
-	-	-	-	12700,0	420,19	421,07	0,883964
-	-	-	-	12800,0	420,06	420,94	0,883964
-	-	-	-	12838,0	420,01	420,90	0,883964

ANEXO III – ORÇAMENTO DETALHADO DO CS-590.2

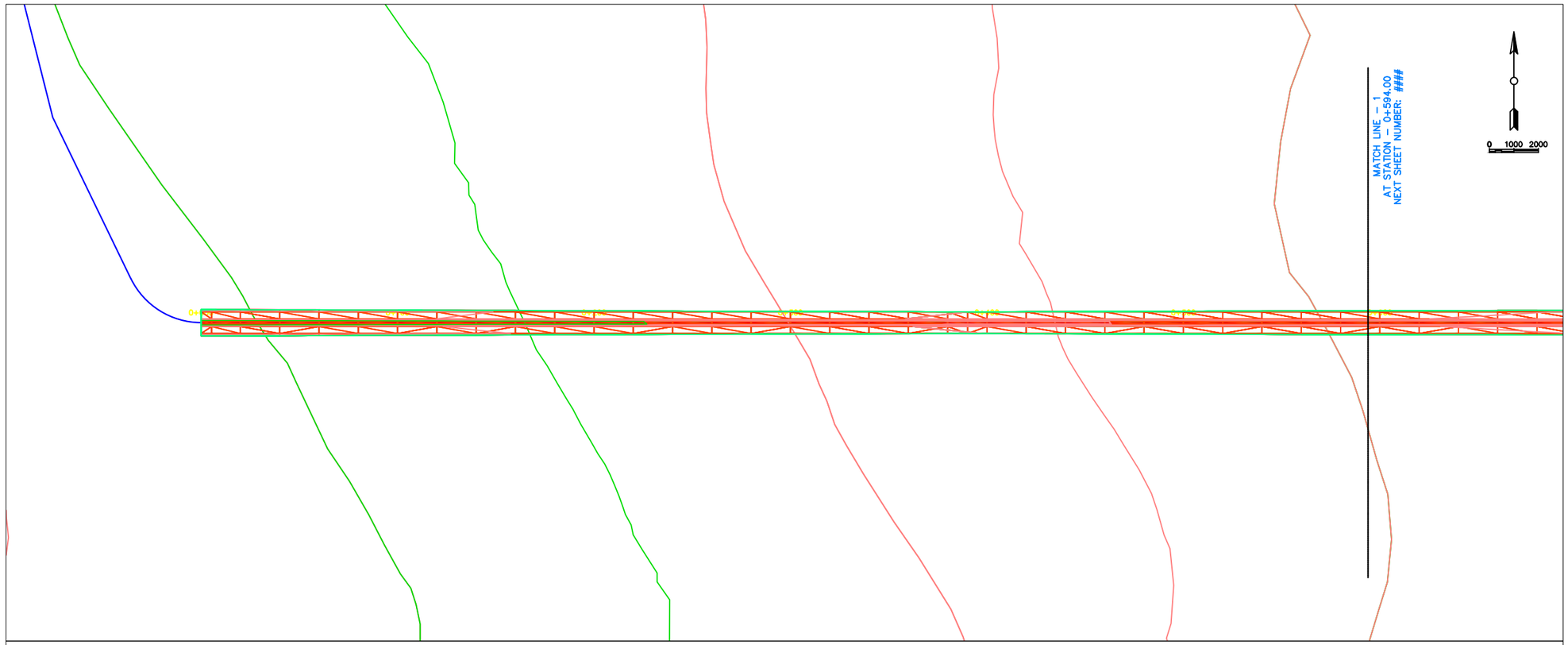
PLANILHA DE ORÇAMENTO					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS - R$	
				UNITARIO	GLOBAL
1.	**CANAL SECUNDÁRIO 590.2 (CS-590.2) - TRECHO 1** **Q (m³/s) = 3,267**	-	-	-	
1.1	DESM. DEST. LIMPEZA ÁREAS C/ARV. DIAM. ATÉ 0,15 M	**m²**	82488,388	0,24	**19.797,21**
1.2	LIMPEZA DE TERRENO - RASPAGEM MECANIZADA (MOTONIVELADORA) DE CAMADA VEGETAL	**m²**	44.088,39	0,48	**21.162,43**
1.3	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	4217,28	4,85	**20.453,81**
1.4	ESC. CARGA TRANSP. MAT 2A CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	99,71	6,56	**654,10**
1.5	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT DMT 800 A 1000M	**m³**	0	27,45	-
1.6	COMPACTAÇÃO DE ATERROS MAT 1ª CAT A 95% PROCTOR NORMAL (ÁREA)	**m³**	28507,54	1,96	**55.874,78**
1.7	ESPALHAMENTO DE MAT 1ª/2ª CAT EM BOTA-FORA	**m³**	0,00	0,88	-
1.8	ESCAV. E CARGA DE MATER. DE JAZIDA(CONST E RESTR	**m³**	0,00	2,99	-
1.9	REG.FUNDO/TALUDES CAN/DREN/DIQ	**m²**	15.937,68	342,78	**5.463.117,15**
1.10	CONCR ESTR FCK=15MPA C.RAZ USO GER CONF/LANÇ AC/BC	**m³**	796,90	292,11	**232.783,59**
1.11	HIDROSSEMEADURA	**m²**	8.899,43	0,72	**6.407,59**
1.12	JUNTA PARA CANAIS (BETUMINOSA)	**m**	1.067,67	2,56	**2.733,23**
1.13	ESCADA TIPO MARINHEIRO EM TUBO ACO GALVANIZADO 1 1/2" 5 DEGRAUS	**m**	52,83	177,71	**9.389,19**
1.14	REVESTIMENTO PRIMÁRIO (15 CM DE ESPESSURA)	**m³**	5.760,00	11,55	**66.528,00**
1.15	IMPERMEABILIZAÇÃO GEOMEMBRANA PEAD TEXTURIZADA DUAS FACES 1,00MM	**m²**	16.575,18	22,97	**380.731,99**
1.16	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 1ª E/OU 2ª CATEGORIA – MET1/2:	**m³xkm**	-	-	**842.649,19**
1.17	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 3ª CATEGORIA	**m³xkm**	-	-	
1.18	UNIDADE DE QUEDA	**UN.**	1,00	4299,36	**4.299,36**
			TOTAL		7.126.581,62

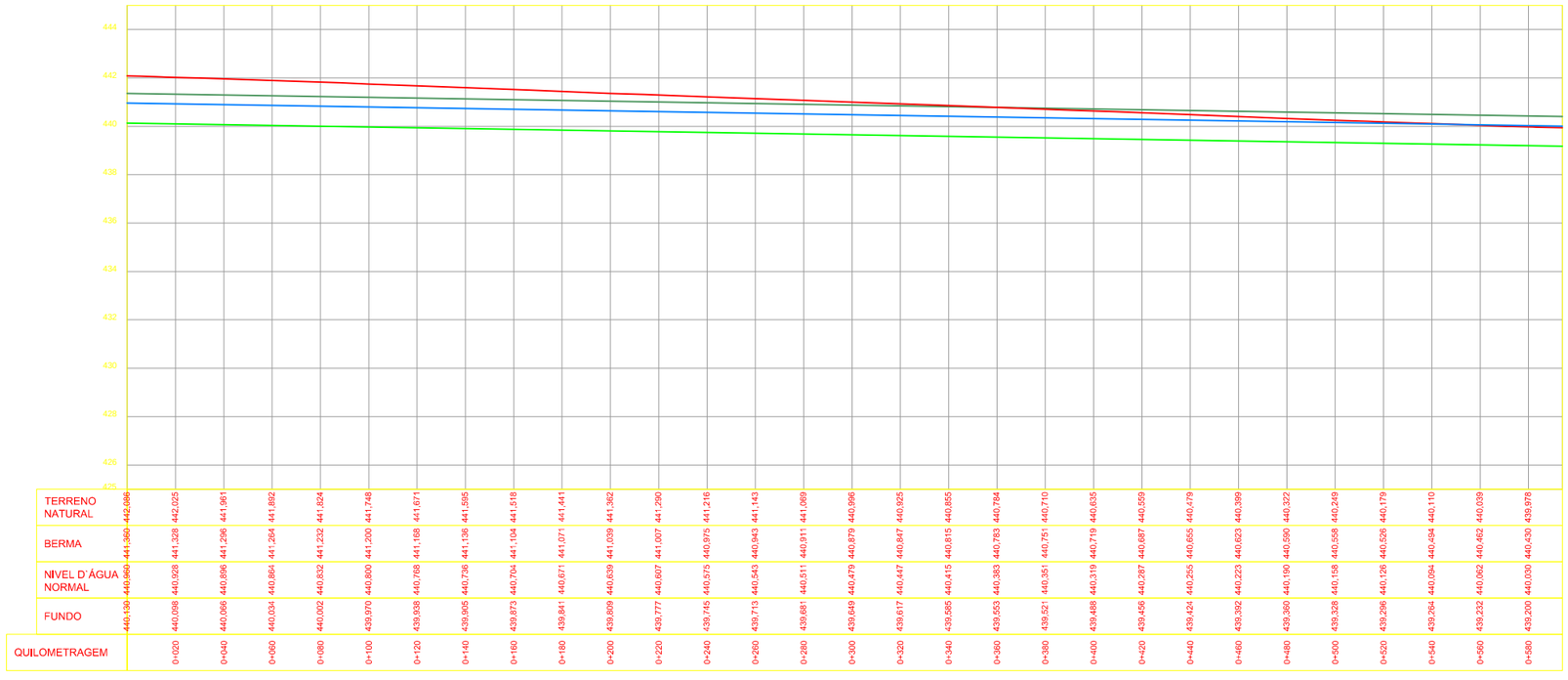
PLANILHA DE ORÇAMENTO					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS - R$	
				UNITARIO	GLOBAL
1.	**CANAL SECUNDÁRIO 590.2 (CS-590.2) - TRECHO 2** **Q (m³/s) = 3,267**	-	-	-	
1.1	DESM. DEST. LIMPEZA ÁREAS C/ARV. DIAM. ATÉ 0,15 M	**m²**	82.581,99	0,24	**19.819,68**
1.2	LIMPEZA DE TERRENO - RASPAGEM MECANIZADA (MOTONIVELADORA) DE CAMADA VEGETAL	**m²**	40.581,99	0,48	**19.479,35**
1.3	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	8727,61	4,85	**42.328,91**
1.4	ESC. CARGA TRANSP. MAT 2A CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	0	6,56	**-**
1.5	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT DMT 800 A 1000M	**m³**	0	27,45	**-**
1.6	COMPACTAÇÃO DE ATERROS MAT 1ª CAT A 95% PROCTOR NORMAL (ÁREA)	**m³**	19506,63	1,96	**38.232,99**
1.7	ESPALHAMENTO DE MAT 1ª/2ª CAT EM BOTA-FORA	**m³**	0,00	0,88	**-**
1.8	ESCAV. E CARGA DE MATER. DE JAZIDA(CONST E RESTR	**m³**	0,00	2,99	**-**
1.9	REG.FUNDO/TALUDES CAN/DREN/DIQ	**m²**	17.589,74	342,78	**6.029.411,95**
1.10	CONCR ESTR FCK=15MPA C.RAZ USO GER CONF/LANÇ AC/BC	**m³**	879,51	292,11	**256.912,83**
1.11	HIDROSSEMEADURA	**m²**	5.623,18	0,72	**4.048,69**
1.12	JUNTA PARA CANAIS (BETUMINOSA)	**m**	1.167,67	2,56	**2.989,23**
1.13	ESCADA TIPO MARINHEIRO EM TUBO ACO GALVANIZADO 1 1/2" 5 DEGRAUS	**m**	58,17	177,71	**10.337,94**
1.14	REVESTIMENTO PRIMÁRIO (15 CM DE ESPESSURA)	**m³**	6.300,00	11,55	**72.765,00**
1.15	IMPERMEABILIZAÇÃO GEOMEMBRANA PEAD TEXTURIZADA DUAS FACES 1,00MM	**m²**	18.293,33	22,97	**420.197,84**
1.16	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 1ª E/OU 2ª CATEGORIA – MET1/2:	**m³xkm**	-	-	**929.327,02**
1.17	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 3ª CATEGORIA	**m³xkm**	-	-	
1.18	UNIDADE DE QUEDA	**Un.**	1,00	4299,3567	**4.299,36**
			TOTAL		7.850.150,78

PLANILHA DE ORÇAMENTO					
ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS - R$	
				UNITARIO	GLOBAL
1.	**CANAL PRINCIPAL 590.2 (CP-590.2) - TRECHO 3** **Q (m³/s) = 3,267**	-	-	-	
1.1	Desmatamento, deslocamento e limpeza do terreno, inclusive remoção do material ate 50m	m²	189.982,06	0,24	**45.595,69**
1.2	Raspagem da camada vegetal, ate 30 cm de espessura, inclusive carga, transporte e descarga do material, sendo a DMT < 100m	m²	114.623	0,48	**55.019,05**
1.3	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1a. categoria sendo a DMT < 500m	m³	24070,88	4,85	**116.743,77**
1.4	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 2a. categoria sendo a DMT < 500m	m³	2310,36	6,56	**15.155,96**
1.5	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 3a. categoria sendo a DMT< 1000m	m³	308,74	27,45	**8.474,91**
1.6	Aterro com material de 1a. categoria, inclusive espalhamento, homogeneização e compatação a 95% do Proctor normal	m³	713690,72	1,96	**1.398.833,81**
1.7	Regularização de material de bota-fora	m³	0,00	0,88	-
1.8	Escavação de material proveniente de jazida sendo a DMT < 1000 m	m³	0,00	2,99	-
1.9	Conformação e regularização de taludes de canais de irrigação em material de 1a. Categoria	m²	32.452,78	342,78	**11.124.165,41**
1.10	Concreto para revestimento de canais fck > 12,5 Mpa	m³	1.622,66	292,11	**473.994,98**
1.11	Proteção dos taludes com hidrossemeadura	m²	44.941,44	0,72	**32.357,84**
1.12	Junta para canais (betuminosa)	m	2.094,31	2,56	**5.361,43**
1.13	Escada de segurança	m	105,38	177,71	**18.726,95**
1.14	Revestimento Primário (15 cm de espessura)	m³	11.303,86	11,55	**130.559,54**
1.15	Impermeabilização de Superfície com Geomembrana Texturizada de PEAD e= 1 mm	m²	33.750,90	22,97	**775.258,07**
1.16	Momento extraordinário de transporte de 1ª e/ou 2ª categoria	m³xkm	-	-	**1.926.099,17**
1.17	Momento extraordinário de transporte de 3ª categoria	m³xkm	-	-	
1.18	UNIDADE DE QUEDA	Un.	1,00	4299,3567	**4.299,36**
			TOTAL		16.130.645,93

ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS - R$	
				UNITARIO	GLOBAL
1.	**CANAL SECUNDÁRIO 590.2 (CS-590.2)** **Q (m³/s) = 3,267**	-	-	-	
1.1	DESM. DEST. LIMPEZA ÁREAS C/ARV. DIAM. ATÉ 0,15 M	**m²**	355.052,43	0,24	**85.212,58**
1.2	LIMPEZA DE TERRENO - RASPAGEM MECANIZADA (MOTONIVELADORA) DE CAMADA VEGETAL	**m²**	199.293,39	0,48	**95.660,83**
1.3	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	37.015,77	4,85	**179.526,48**
1.4	ESC. CARGA TRANSP. MAT 2A CAT DMT 400 A 600M C/E	**m³**	2.410,07	6,56	**15.810,06**
1.5	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT DMT 800 A 1000M	**m³**	308,74	27,45	**8.474,91**
1.6	COMPACTAÇÃO DE ATERROS MAT 1ª CAT A 95% PROCTOR NORMAL (ÁREA)	**m³**	761.704,89	1,96	**1.492.941,58**
1.7	ESPALHAMENTO DE MAT 1ª/2ª CAT EM BOTA-FORA	**m³**	0,00	0,88	**-**
1.8	ESCAV. E CARGA DE MATER. DE JAZIDA(CONST E RESTR	**m³**	0,00	2,99	**-**
1.9	REG.FUNDO/TALUDES CAN/DREN/DIQ	**m²**	65.980,20	342,78	**22.616.694,51**
1.10	CONCR ESTR FCK=15MPA C.RAZ USO GER CONF/LANÇ AC/BC	**m³**	3.299,07	292,11	**963.691,40**
1.11	HIDROSSEMEADURA	**m²**	59.464,05	0,72	**42.814,12**
1.12	JUNTA PARA CANAIS (BETUMINOSA)	**m**	4.329,64	2,56	**11.083,88**
1.13	ESCADA TIPO MARINHEIRO EM TUBO ACO GALVANIZADO 1 1/2" 5 DEGRAUS	**m**	216,39	177,71	**38.454,08**
1.14	REVESTIMENTO PRIMÁRIO (15 CM DE ESPESSURA)	**m³**	23.363,86	11,55	**269.852,54**
1.15	IMPERMEABILIZAÇÃO GEOMEMBRANA PEAD TEXTURIZADA DUAS FACES 1,00MM	**m²**	68.619,41	22,97	**1.576.187,91**
1.16	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 1ª E/OU 2ª CATEGORIA – MET1/2:	**m³xkm**	-	-	**3.698.075,37**
1.17	MOMENTO EXTRAORDINÁRIO DE TRANSPORTE DE 3ª CATEGORIA	**m³xkm**	-	-	
1.18	UNIDADE DE QUEDA	**Un.**	3,00	4299,356653	**12.898,07**
			TOTAL		31.107.378,33

ANEXO IV – PLANTAS E PERFIS DO CS-590.2





QUILOMETRAGEM	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580
TERRENO NATURAL	442,086	442,025	441,961	441,892	441,824	441,748	441,671	441,595	441,518	441,441	441,362	441,290	441,216	441,143	441,069	440,996	440,925	440,855	440,784	440,710	440,635	440,559	440,479	440,399	440,322	440,249	440,179	440,110	440,039
BERMA	441,360	441,328	441,296	441,264	441,232	441,200	441,168	441,136	441,104	441,071	441,039	441,007	440,975	440,943	440,911	440,879	440,847	440,815	440,783	440,751	440,719	440,687	440,655	440,623	440,590	440,558	440,526	440,494	440,462
NIVEL D'ÁGUA NORMAL	440,960	440,928	440,896	440,864	440,832	440,800	440,768	440,736	440,704	440,671	440,639	440,607	440,575	440,543	440,511	440,479	440,447	440,415	440,383	440,351	440,319	440,287	440,255	440,223	440,190	440,158	440,126	440,094	440,062
FUNDO	440,130	440,098	440,066	440,034	440,002	439,970	439,938	439,905	439,873	439,841	439,809	439,777	439,745	439,713	439,681	439,649	439,617	439,585	439,553	439,521	439,488	439,456	439,424	439,392	439,360	439,328	439,296	439,264	439,232

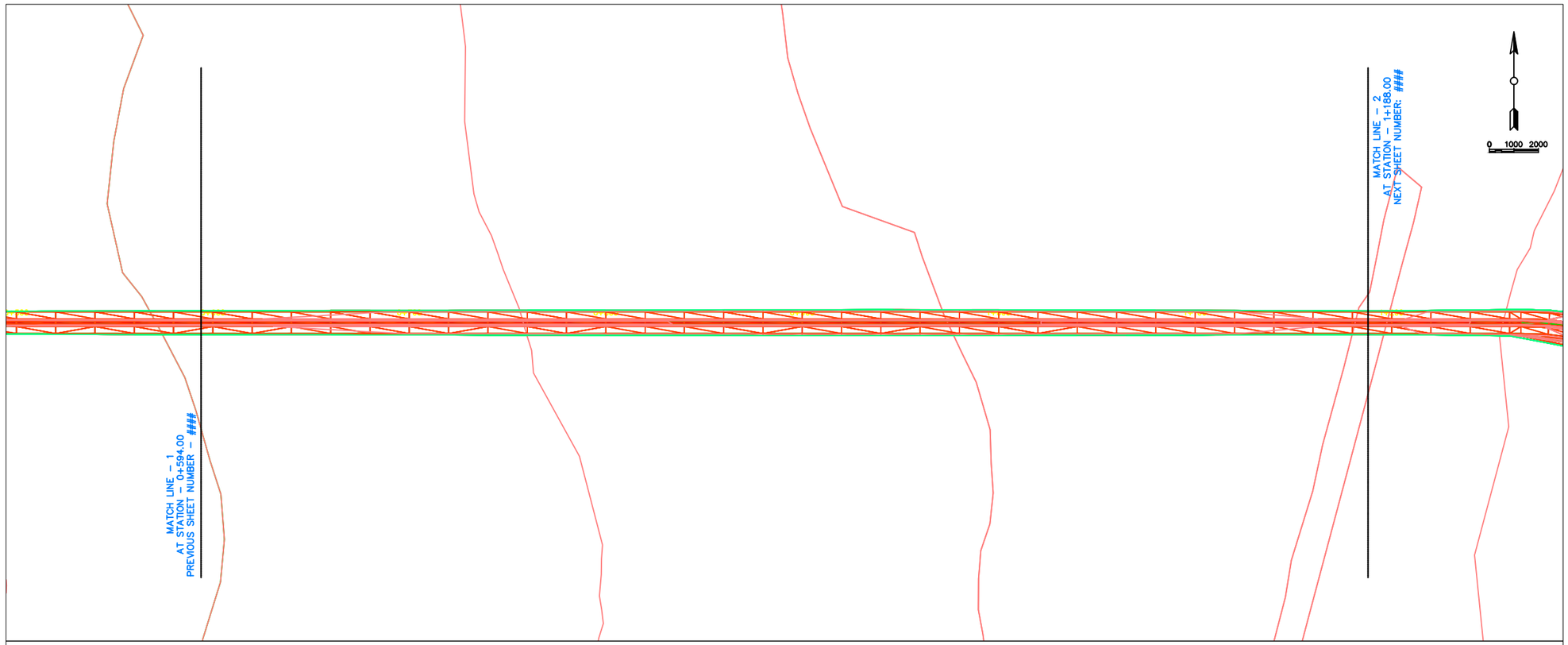
LEGENDA

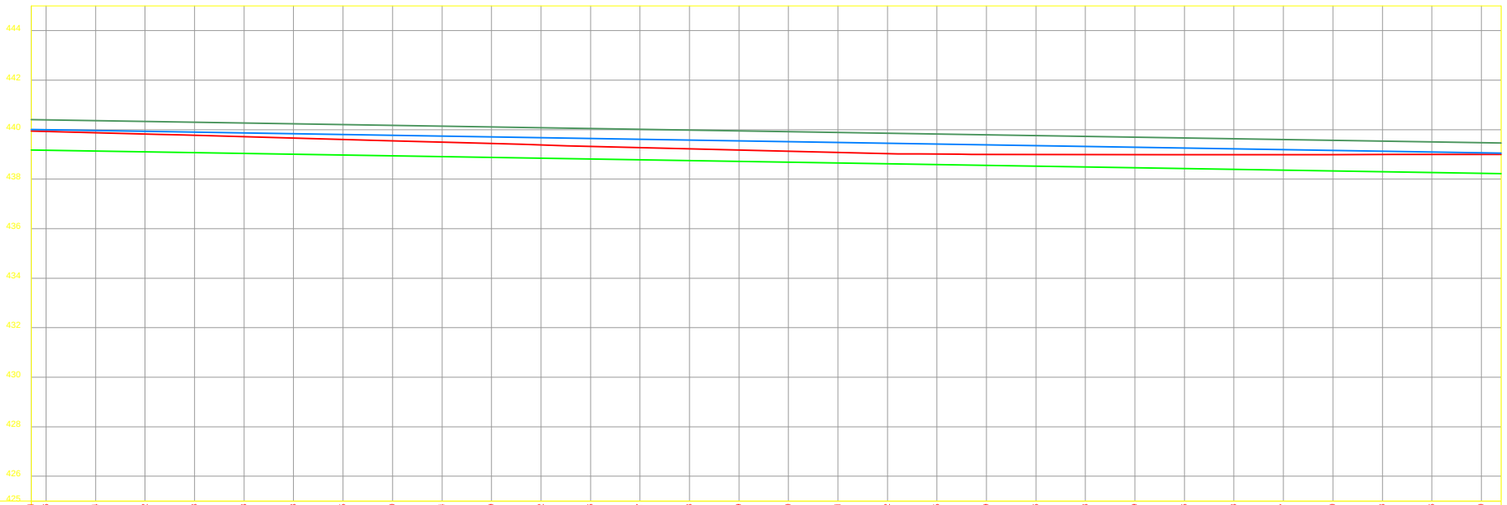
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 1 – 590.2	Sheet 01/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007





QUILOMETRAGEM	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000	1+020	1+040	1+060	1+080	1+100	1+120	1+140	1+160	1+180
TERRENO NATURAL	439,941	439,926	439,874	439,822	439,768	439,713	439,658	439,605	439,550	439,494	439,439	439,382	439,326	439,277	439,228	439,179	439,130	439,081	439,032	439,015	438,999	438,989	438,989	438,986	438,983	438,987	438,990	438,993	438,996	439,000
BERMA	440,408	440,398	440,366	440,334	440,302	440,270	440,238	440,206	440,174	440,142	440,110	440,078	440,045	440,013	439,981	439,949	439,917	439,885	439,853	439,821	439,789	439,693	439,293	439,661	439,629	439,597	439,564	439,532	439,500	439,468
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	440,008	439,998	439,966	439,934	439,902	439,870	439,838	439,806	438,774	438,710	438,679	438,645	438,613	439,581	439,549	439,517	439,485	439,453	439,421	439,390	438,558	438,526	438,494	439,251	438,398	438,366	438,334	438,302	438,270	438,237
FUNDO	439,177	439,168	439,136	439,104	439,071	439,007	438,975	438,943	438,911	438,879	438,847	438,815	438,783	438,751	438,719	438,687	438,654	438,622	438,590	438,558	438,526	438,494	438,462	438,430	438,398	438,366	438,334	438,302	438,270	438,237

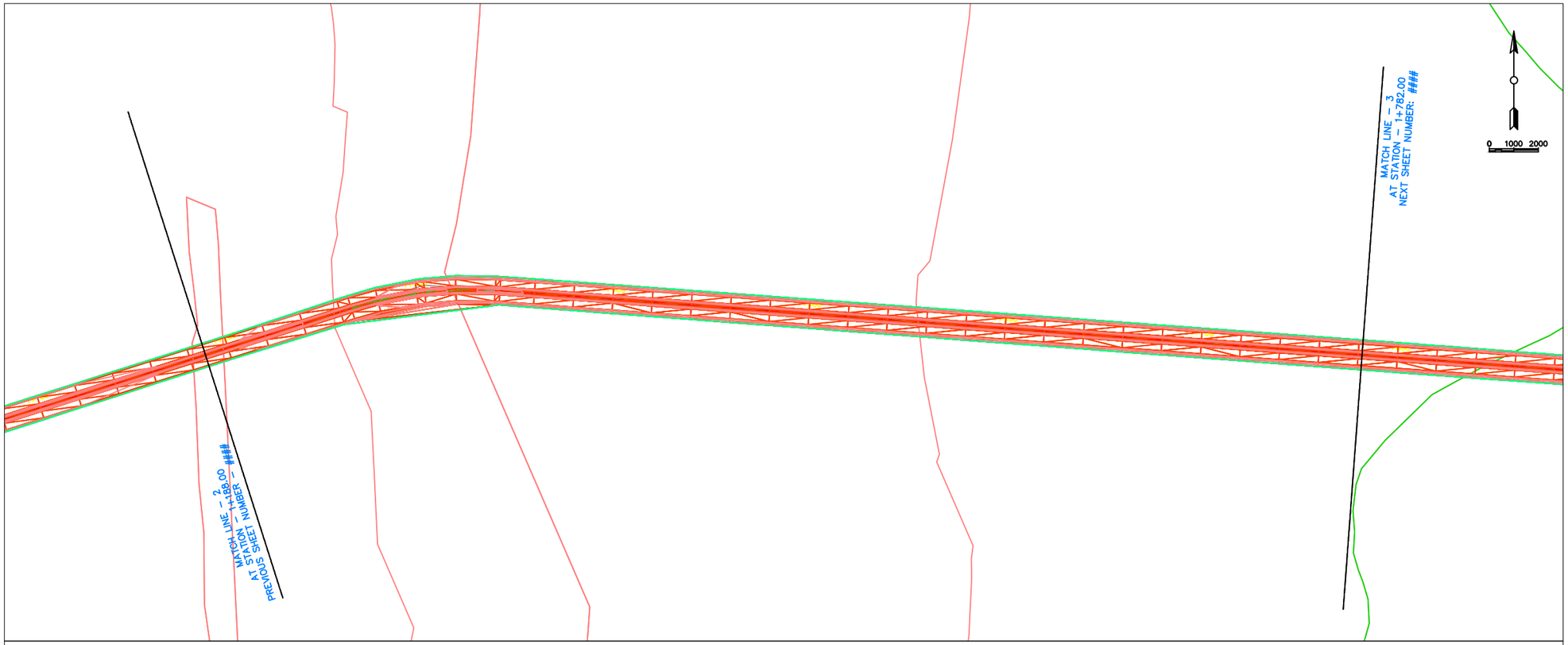
LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 1 – 590.2	Sheet 02/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007



LEGENDA

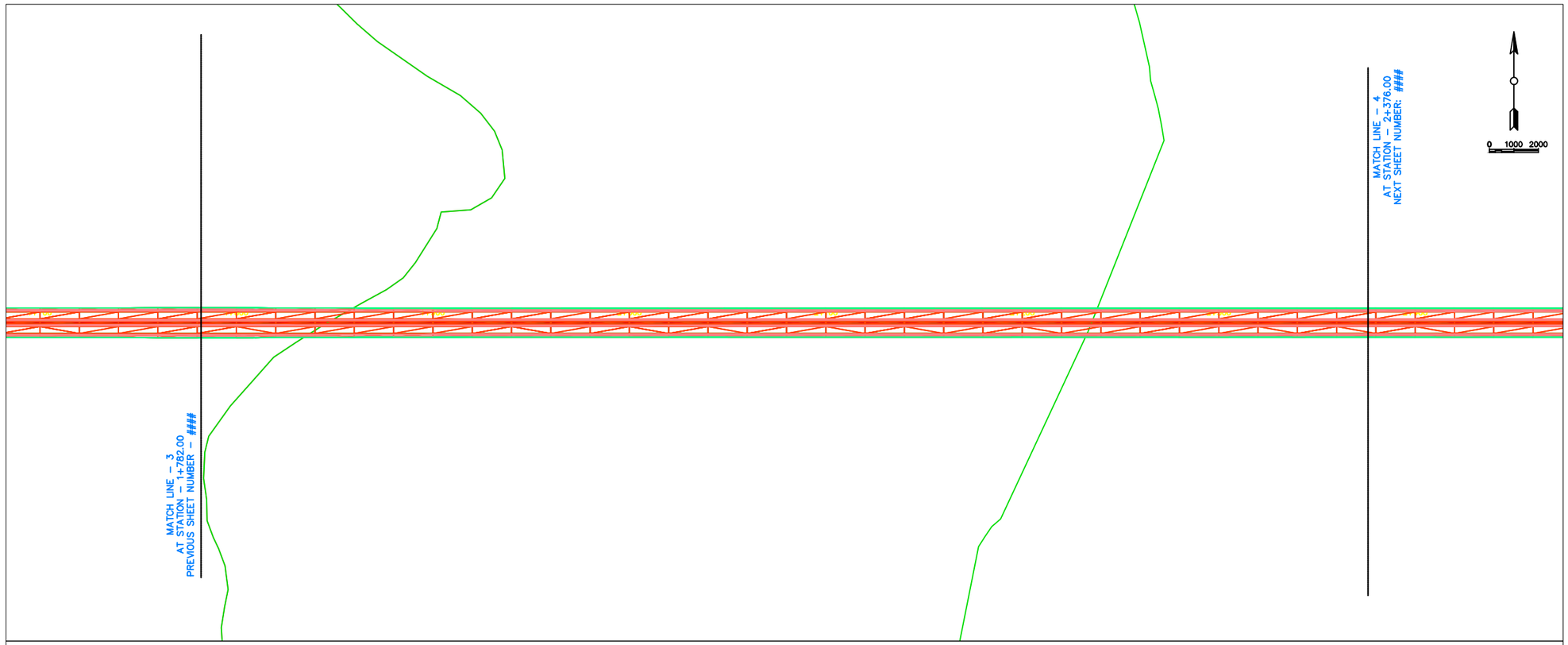
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

QUILOMETRAGEM	TERRENO NATURAL	BERMA	NIVEL D´ÁGUA NORMAL	FUNDO
1+200	439,002	439,455	439,055	438,205
1+220	438,979	439,436	439,036	438,205
1+240	438,810	439,404	439,004	438,173
1+260	438,641	439,372	438,972	438,141
1+280	438,472	439,340	438,940	438,109
1+300	438,302	439,308	438,908	438,077
1+320	438,139	439,276	438,876	438,045
1+340	437,999	439,244	438,844	438,013
1+360	437,991	439,212	438,812	437,981
1+380	437,948	439,180	438,780	437,949
1+400	437,900	439,148	438,748	437,917
1+420	437,855	439,116	438,716	437,885
1+440	437,809	439,084	438,684	437,853
1+460	437,763	439,052	438,652	437,820
1+480	437,718	439,019	438,619	437,788
1+500	437,672	438,987	438,587	437,756
1+520	437,627	438,955	438,555	437,724
1+540	437,581	438,923	438,523	437,692
1+560	437,536	438,891	438,491	437,660
1+580	437,490	438,859	438,459	437,628
1+600	437,445	438,827	438,427	437,596
1+620	437,401	438,795	438,395	437,564
1+640	437,357	438,763	438,363	437,532
1+660	437,322	438,731	438,331	437,500
1+680	437,288	438,699	438,299	437,468
1+700	437,247	438,667	438,267	437,436
1+720	437,207	438,635	438,235	437,403
1+740	437,166	438,603	438,203	437,371
1+760	437,125	438,571	438,171	437,339
1+780	437,085	438,538	438,138	437,307
	437,044	438,506	438,106	437,275

PROJETO: TRECHO 1 – 590.2	Sheet 03/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007



QUILOMETRAGEM	1+800	1+820	1+840	1+860	1+880	1+900	1+920	1+940	1+960	1+980	2+000	2+020	2+040	2+060	2+080	2+100	2+120	2+140	2+160	2+180	2+200	2+220	2+240	2+260	2+280	2+300	2+320	2+340	2+360
TERRENO NATURAL	437,040	437,003	437,001	437,000	436,988	436,987	436,992	436,990	436,960	436,925	436,889	436,854	436,819	436,792	436,763	436,733	436,703	436,673	436,643	436,613	436,583	436,553	436,523	436,493	436,462	436,432	436,401	436,371	436,340	436,310
BERMA	438,603	438,474	438,442	438,410	438,378	438,346	438,314	438,282	438,250	438,218	438,186	438,154	438,122	438,090	438,058	438,026	437,993	437,961	437,929	437,897	437,865	437,833	437,801	437,769	437,737	437,705	437,673	437,641	437,609	437,577
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	438,103	438,074	438,042	438,010	437,978	437,946	437,914	437,882	437,850	437,818	437,786	437,754	437,722	437,690	437,658	437,625	437,593	437,561	437,529	437,497	437,465	437,433	437,401	437,369	437,337	437,305	437,273	437,241	437,209	437,177
FUNDO	437,272	437,243	437,211	437,179	437,147	437,115	437,083	437,051	437,019	436,986	436,954	436,922	436,890	436,858	436,826	436,794	436,762	436,730	436,698	436,666	436,634	436,602	436,569	436,537	436,505	436,473	436,441	436,409	436,377	436,345

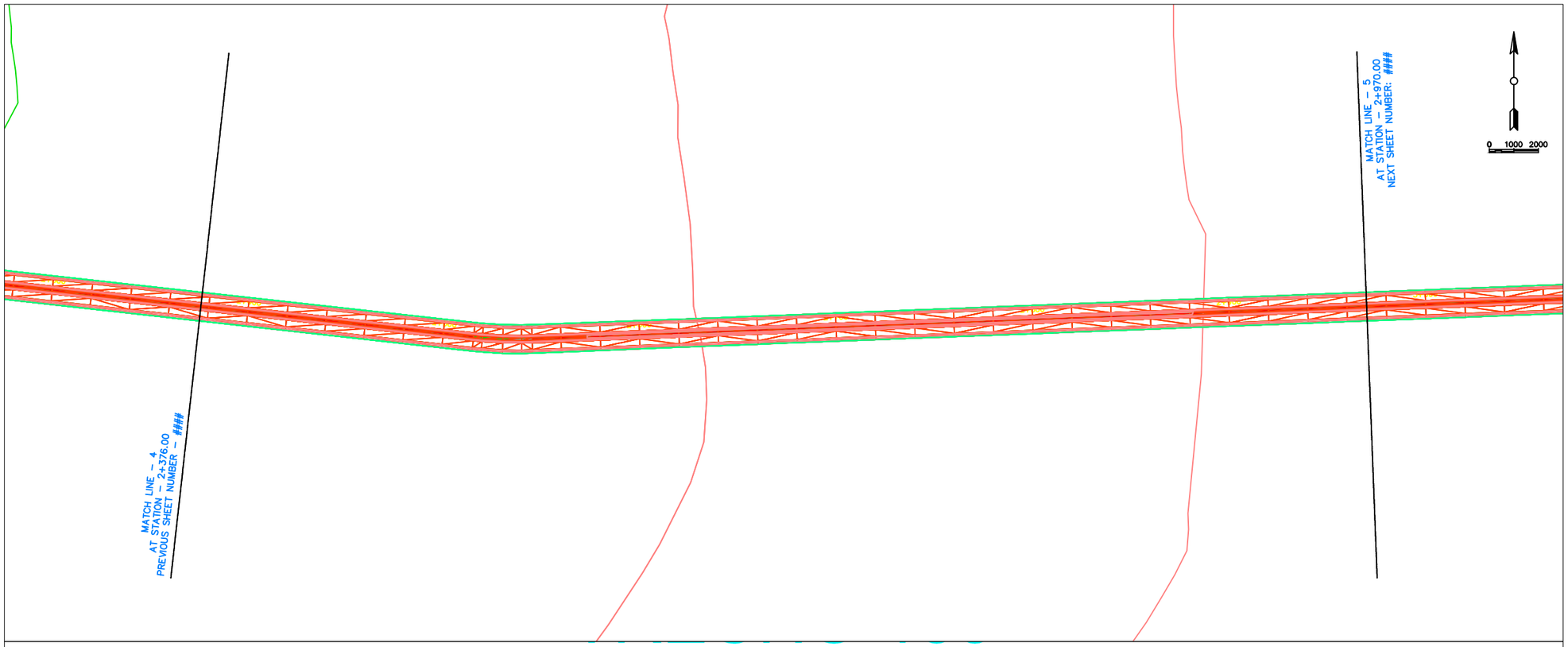
LEGENDA

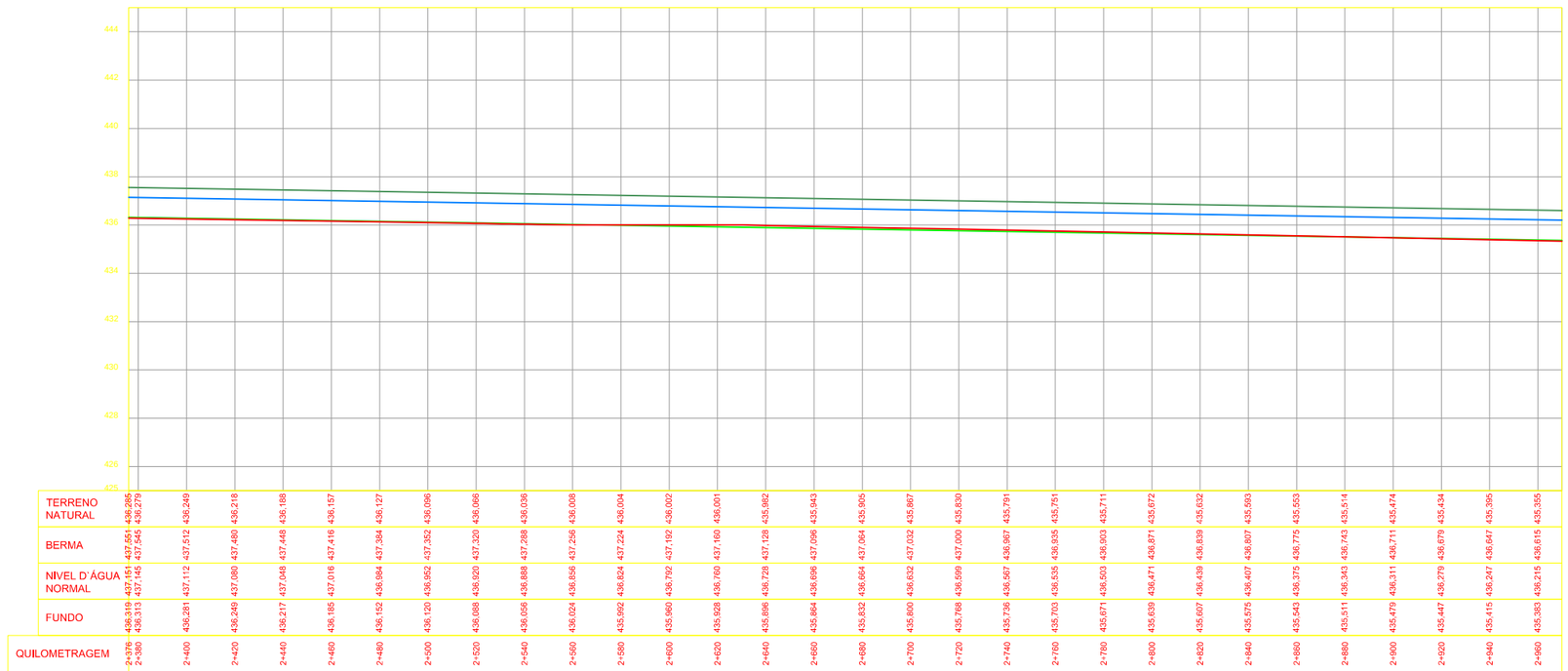
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 1 – 590.2	Sheet 04/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

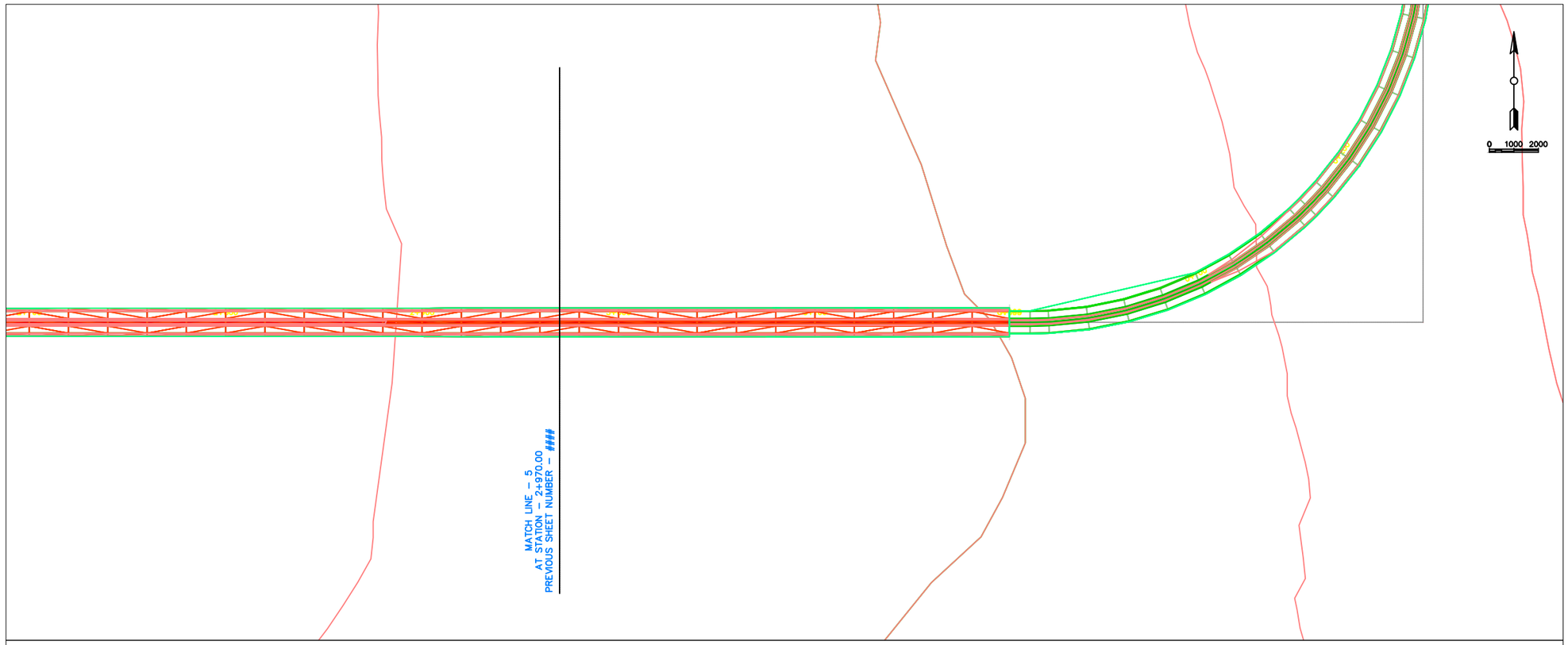
thiagomod2.dwg

19.03.2007


MATCH LINE – 4
AT STATION – 2+376.00
PREVIOUS SHEET NUMBER – ###
MATCH LINE – 5
AT STATION – 2+970.00
NEXT SHEET NUMBER: ###
0 1000 2000

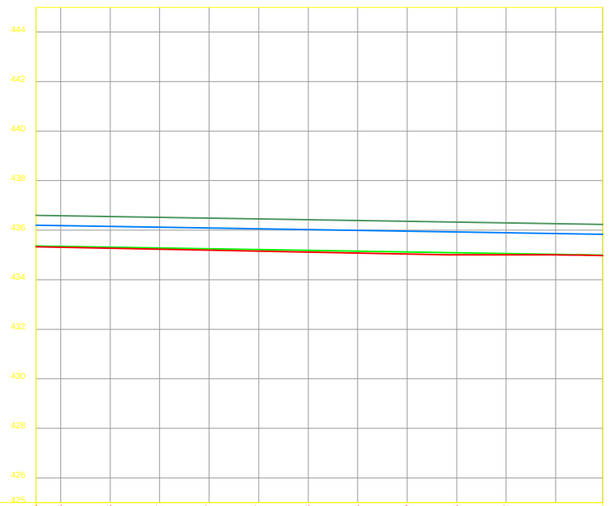

444
442
440
438
436
434
432
430
428
426
425

| | | |



LEGENDA

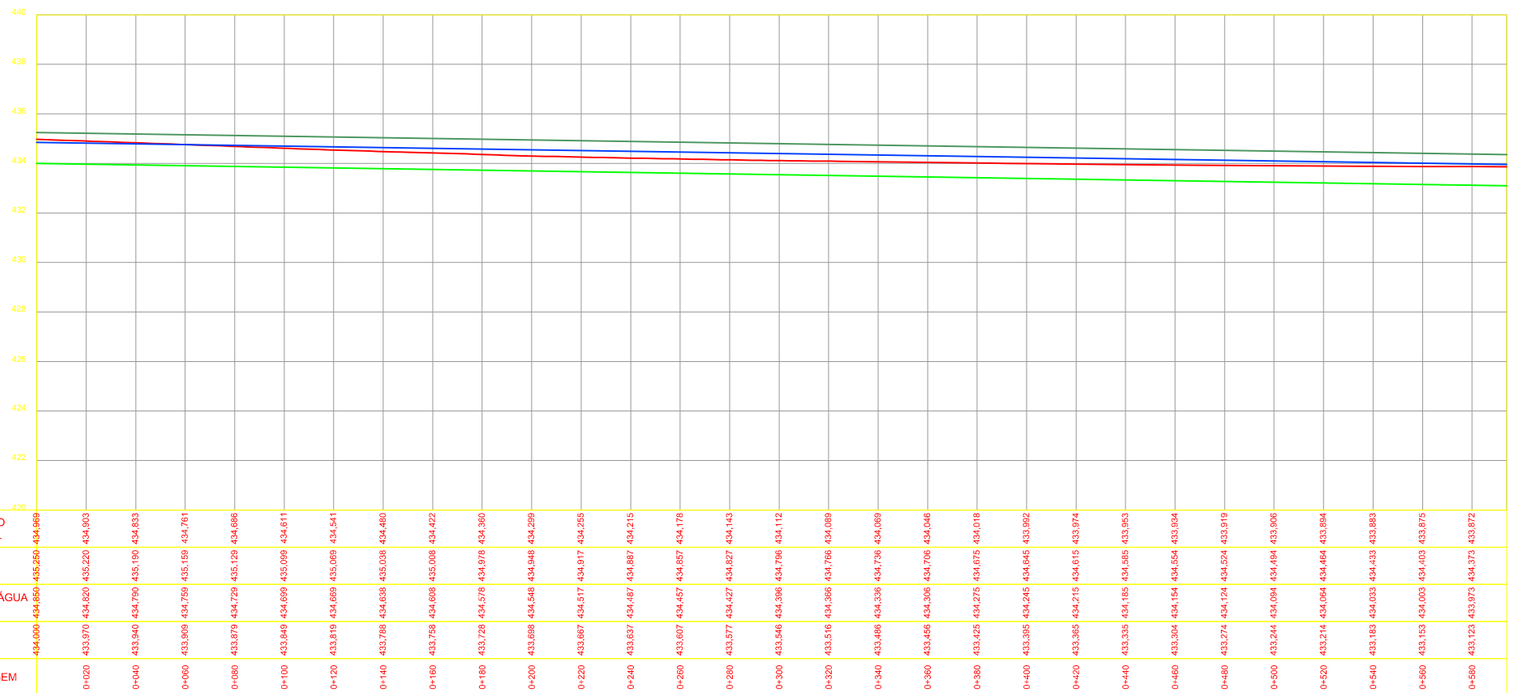
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA



TERRENO NATURAL	436,335	435,316	435,276	435,237	435,197	435,157	435,118	435,078	435,039	435,006	435,002	435,001
BERMA	436,699	436,583	436,551	436,519	436,486	436,454	436,422	436,390	436,358	436,326	436,294	436,282
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	436,199	436,183	436,151	436,119	436,086	436,054	436,022	435,990	435,958	435,926	435,894	435,862
FUNDO	436,367	435,351	435,319	435,286	435,254	435,222	435,190	435,158	435,126	435,094	435,062	435,030
QUILOMETRAGEM		2+980	3+000	3+020	3+040	3+060	3+080	3+100	3+120	3+140	3+160	3+180

PROJETO: TRECHO 1 – 590.2	Sheet 06/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

19.03.2007 thiagomod2.dwg



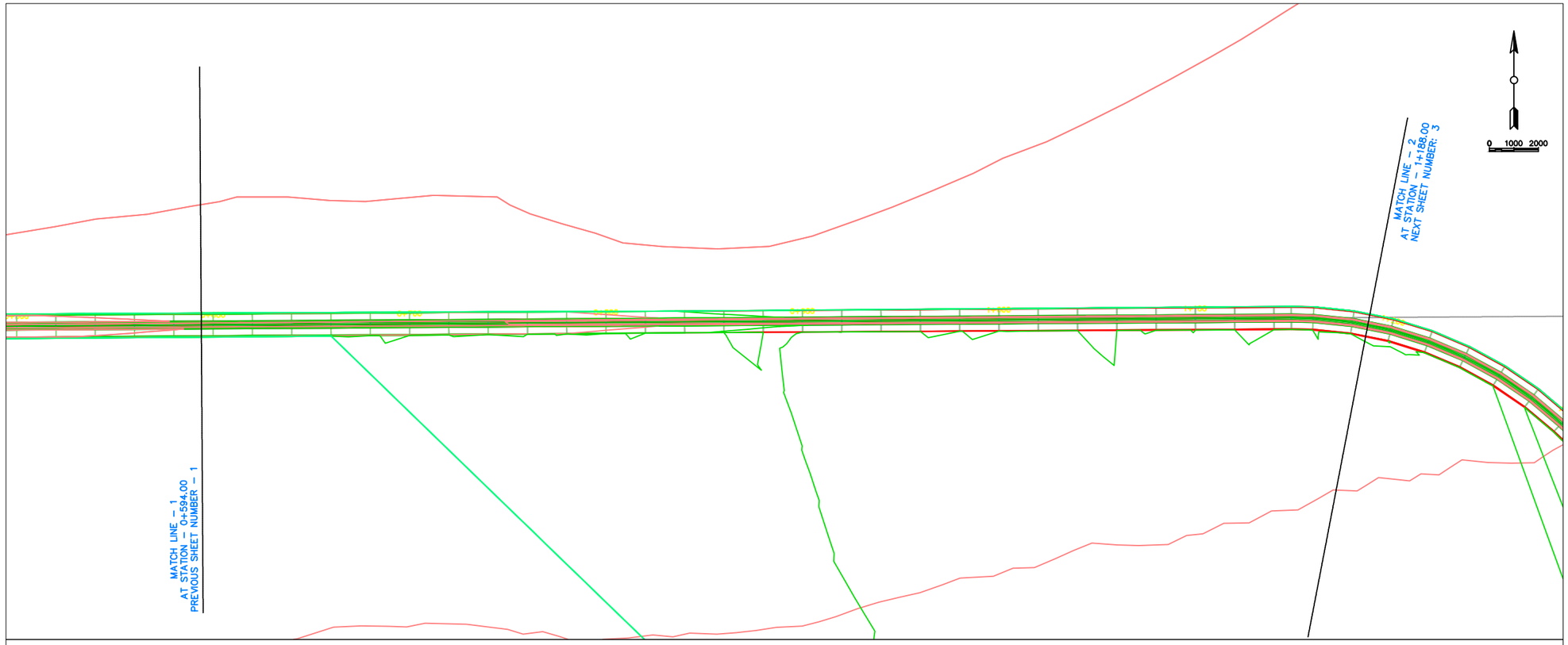
QUILOMETRAGEM	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580
TERRENO NATURAL	434,969	434,903	434,833	434,761	434,686	434,611	434,541	434,480	434,422	434,360	434,299	434,255	434,215	434,178	434,143	434,112	434,089	434,069	434,046	434,018	433,992	433,974	433,953	433,934	433,919	433,905	433,894	433,883	433,875	433,872
BERMA	435,259	435,220	435,190	435,159	435,129	435,099	435,069	435,038	435,008	434,978	434,948	434,917	434,887	434,857	434,827	434,796	434,766	434,736	434,706	434,675	434,645	434,615	434,585	434,554	434,524	434,494	434,464	434,433	434,403	434,373
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	434,950	434,820	434,790	434,759	434,729	434,699	434,669	434,638	434,608	434,578	434,548	434,517	434,487	434,457	434,427	434,396	434,366	434,336	434,306	434,275	434,245	434,215	434,185	434,154	434,124	434,094	434,064	434,033	434,003	433,973
FUNDO	434,000	433,970	433,940	433,909	433,879	433,849	433,819	433,788	433,759	433,728	433,698	433,667	433,637	433,607	433,577	433,546	433,516	433,486	433,456	433,425	433,395	433,365	433,335	433,304	433,274	433,244	433,214	433,183	433,153	433,123

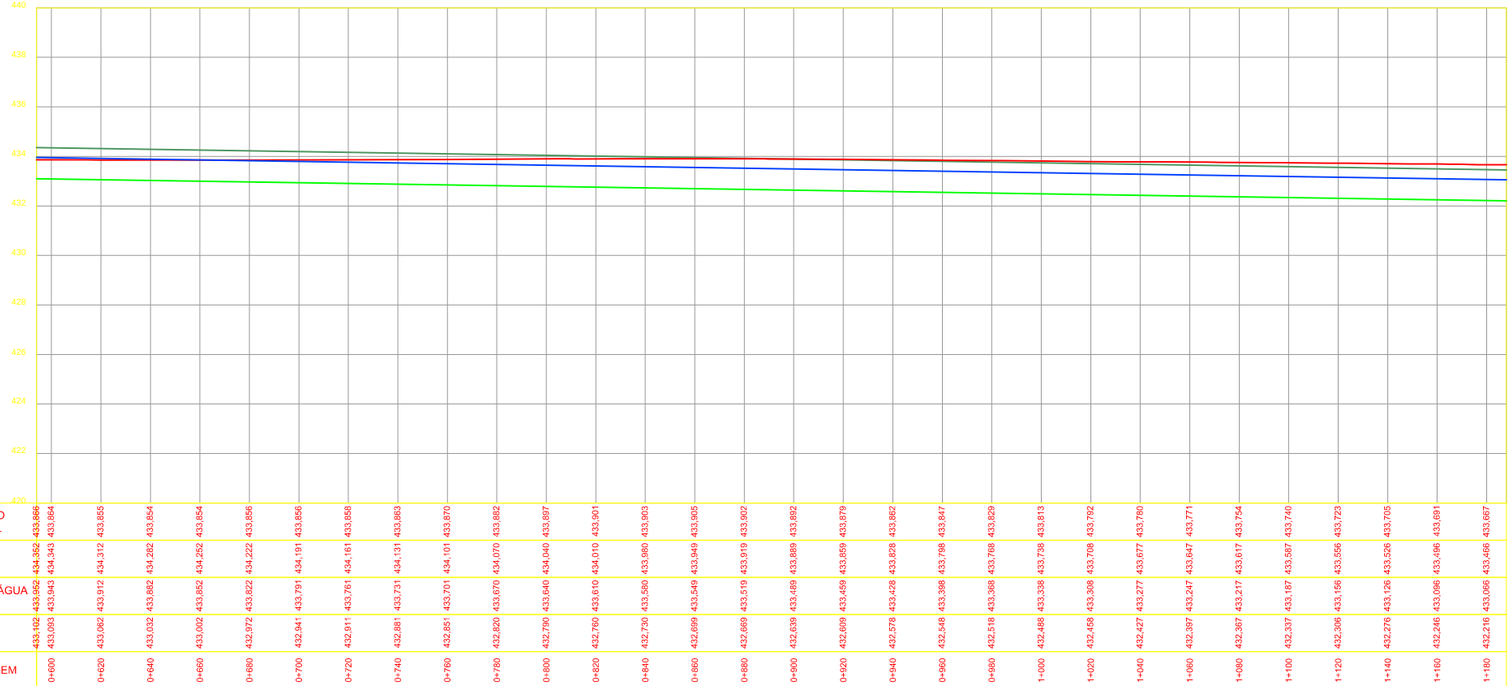
LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 2 – 590.2	Sheet 01/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

19.03.2007 thiagomod2.dwg





QUILOMETRAGEM	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000	1+020	1+040	1+060	1+080	1+100	1+120	1+140	1+160	1+180
TERRENO NATURAL	433,866	433,864	433,855	433,854	433,854	433,856	433,856	433,858	433,863	433,870	433,882	433,897	433,901	433,903	433,905	433,902	433,892	433,879	433,862	433,847	433,829	433,813	433,792	433,780	433,771	433,754	433,740	433,723	433,705	433,691
BERMA	434,352	434,343	434,312	434,282	434,252	434,222	434,191	434,161	434,131	434,101	434,070	434,040	434,010	433,980	433,949	433,919	433,889	433,859	433,828	433,798	433,768	433,738	433,708	433,677	433,647	433,617	433,587	433,556	433,526	433,496
NIVEL D'ÁGUA NORMAL	433,952	433,943	433,912	433,882	433,852	433,822	433,791	433,761	433,731	433,701	433,670	433,640	433,610	433,580	433,549	433,519	433,489	433,459	433,428	433,398	433,368	433,338	433,308	433,277	433,247	433,217	433,187	433,156	433,126	433,096
FUNDO	433,102	433,093	433,062	433,032	433,002	432,972	432,941	432,911	432,881	432,851	432,820	432,790	432,760	432,730	432,699	432,669	432,639	432,609	432,578	432,548	432,518	432,488	432,458	432,427	432,397	432,367	432,337	432,306	432,276	432,246

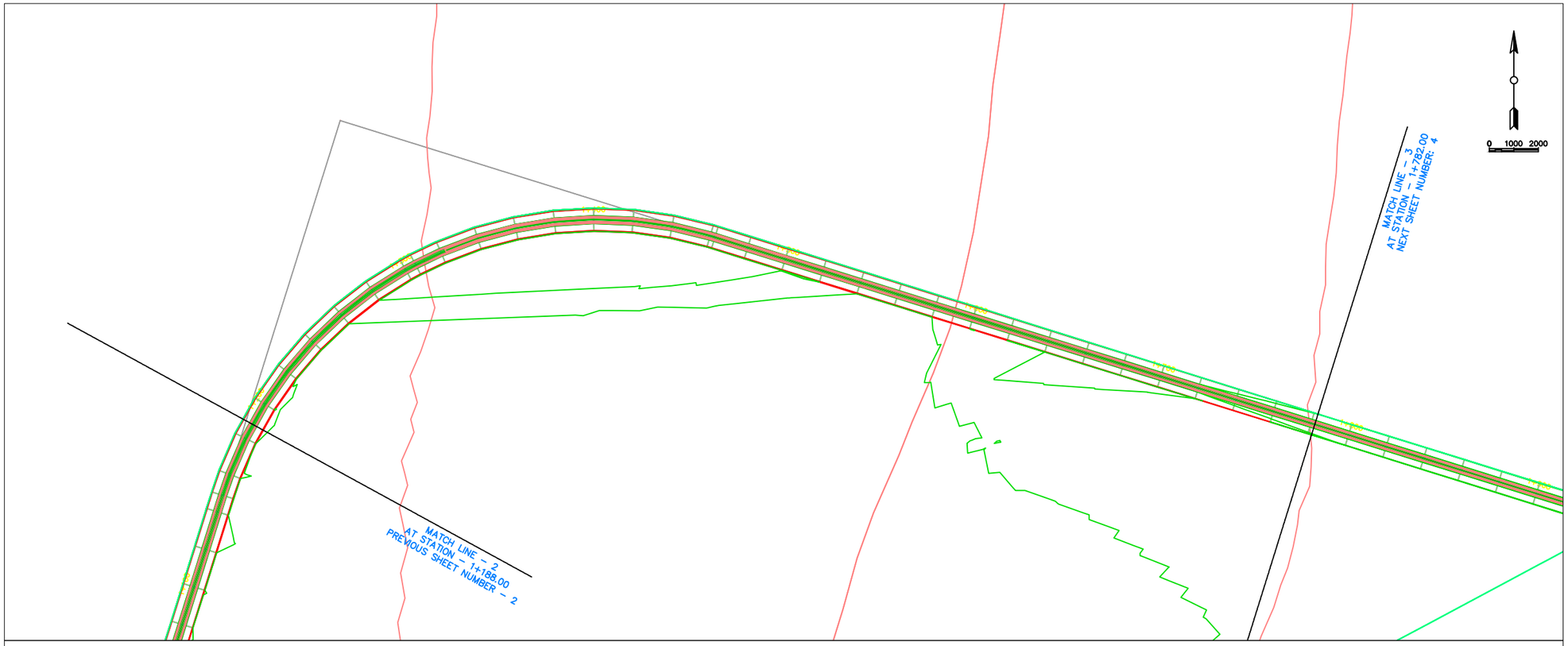
LEGENDA

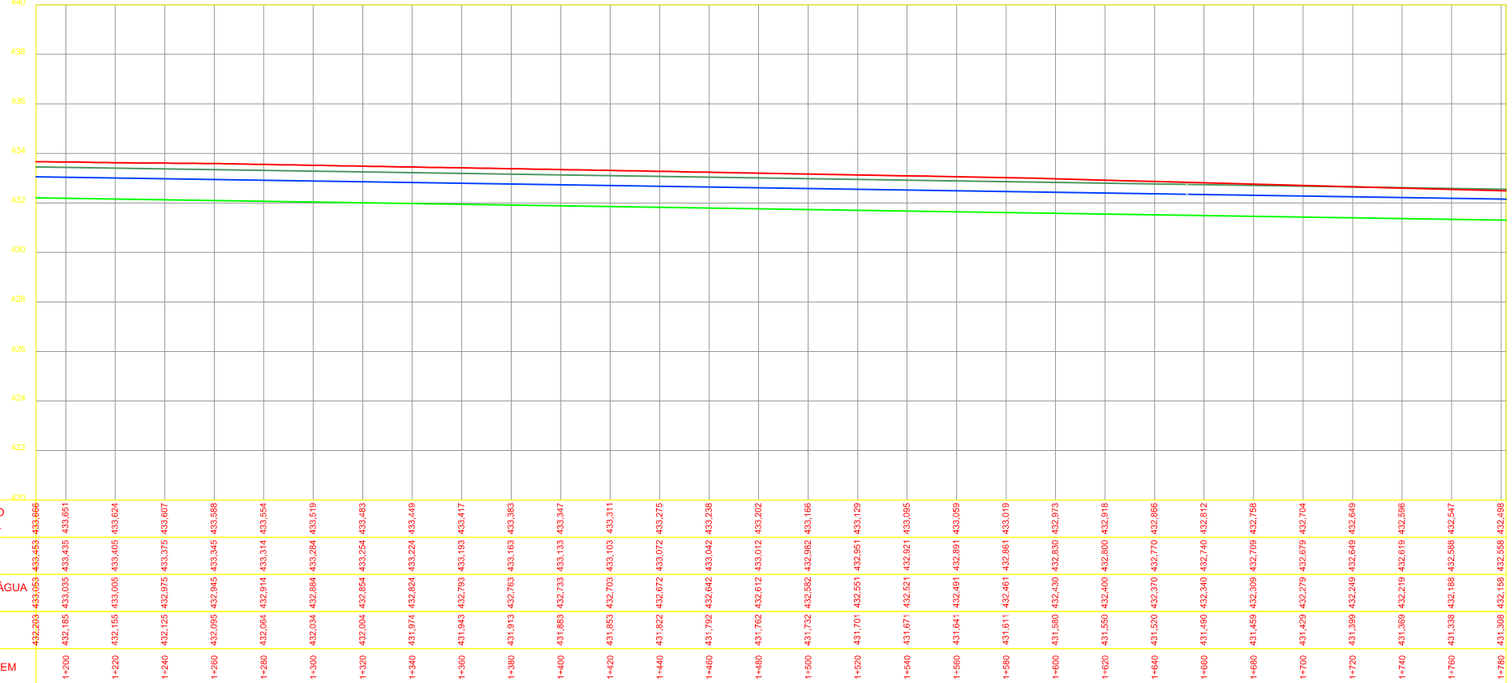
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 2 – 590.2	Sheet 02/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007





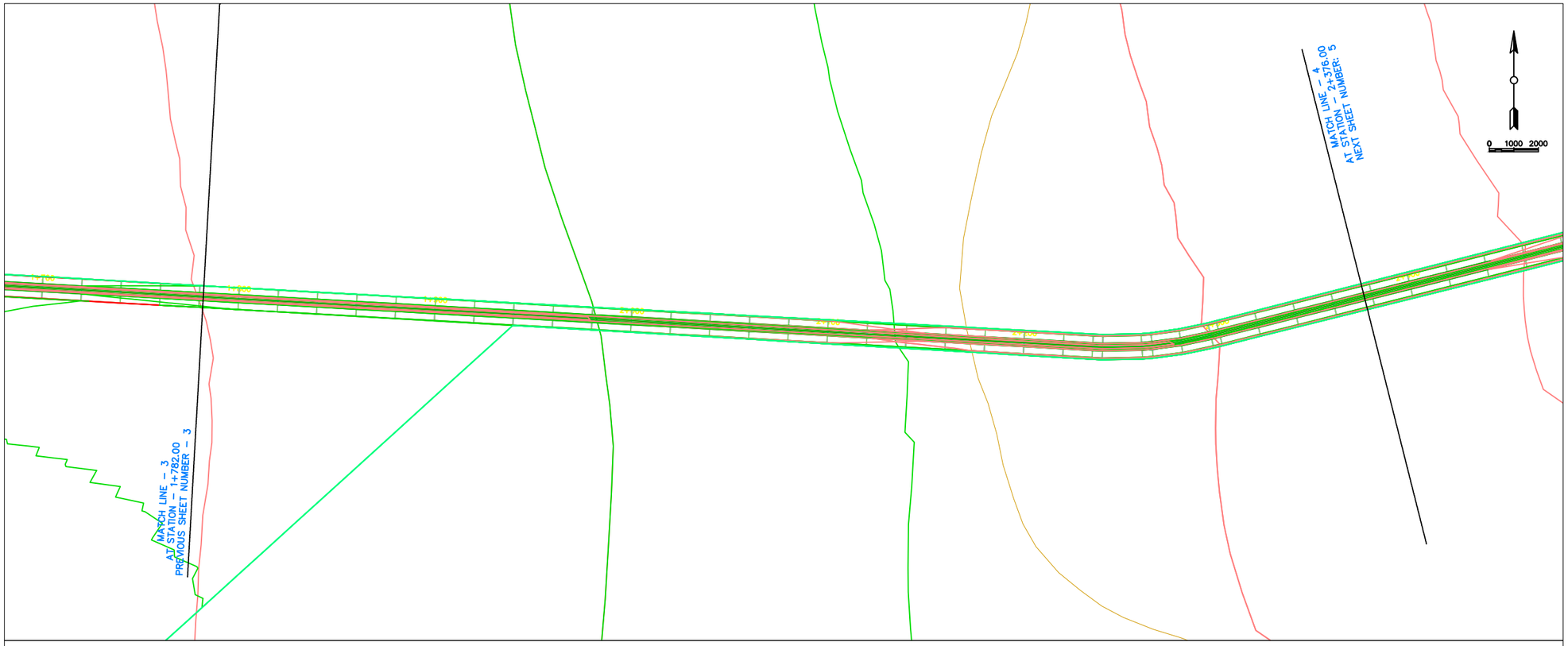
QUILOMETRAGEM	1+200	1+220	1+240	1+260	1+280	1+300	1+320	1+340	1+360	1+380	1+400	1+420	1+440	1+460	1+480	1+500	1+520	1+540	1+560	1+580	1+600	1+620	1+640	1+660	1+680	1+700	1+720	1+740	1+760	1+780
TERRENO NATURAL	433,666	433,651	433,624	433,607	433,588	433,554	433,519	433,483	433,449	433,417	433,383	433,347	433,311	433,275	433,238	433,202	433,166	433,129	433,095	433,059	433,019	432,973	432,918	432,866	432,812	432,758	432,704	432,649	432,596	432,547	432,498
BERMA	433,459	433,435	433,405	433,375	433,345	433,314	433,284	433,254	433,224	433,193	433,163	433,133	433,103	433,072	433,042	433,012	432,982	432,951	432,921	432,891	432,861	432,830	432,800	432,770	432,740	432,709	432,679	432,649	432,619	432,588	432,558
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	433,053	433,035	433,005	432,975	432,945	432,914	432,884	432,854	432,824	432,793	432,763	432,733	432,703	432,672	432,642	432,612	432,582	432,551	432,521	432,491	432,461	432,430	432,400	432,370	432,340	432,309	432,279	432,249	432,219	432,188	432,158
FUNDO	432,269	432,185	432,155	432,125	432,095	432,064	432,034	432,004	431,974	431,943	431,913	431,883	431,853	431,822	431,792	431,762	431,732	431,701	431,671	431,641	431,611	431,580	431,550	431,520	431,490	431,459	431,429	431,399	431,369	431,338	431,308

LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 2 – 590.2	Sheet 03/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

19.03.2007 thiagomod2.dwg



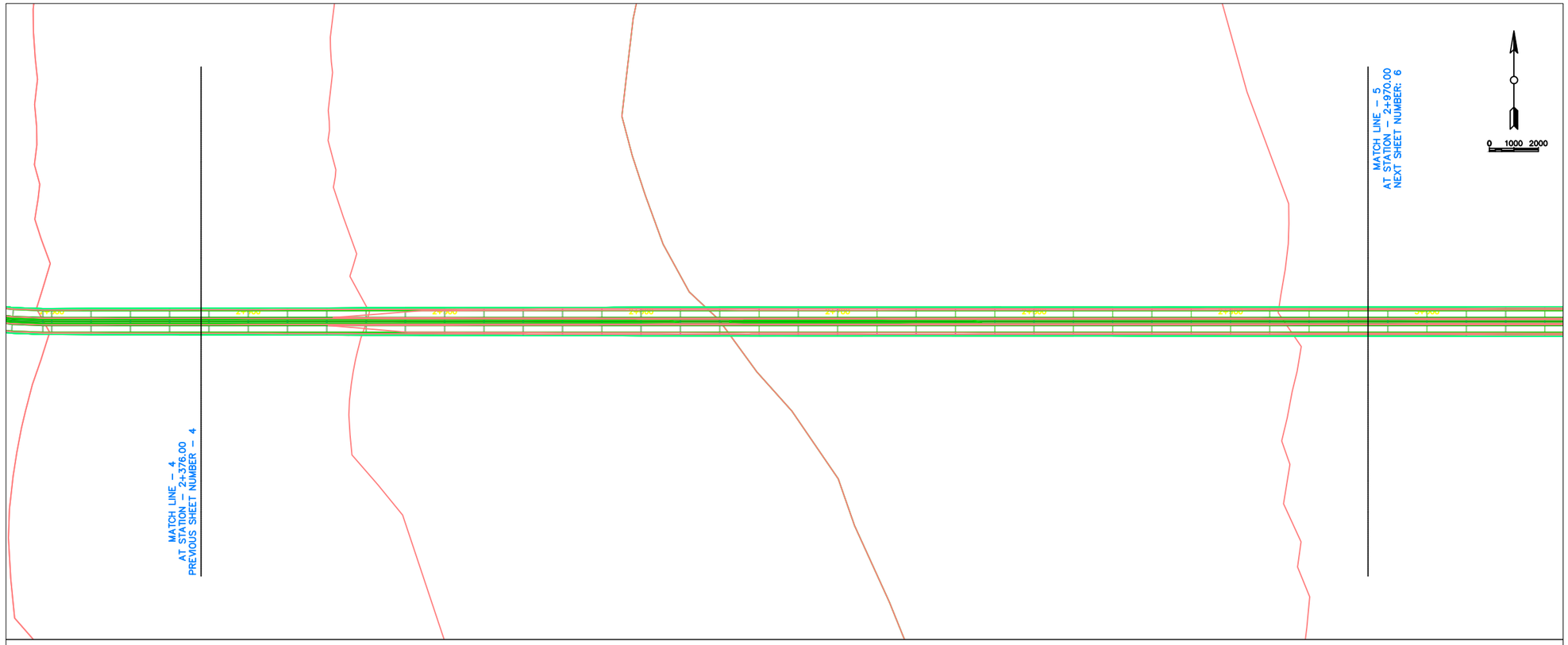
QUILOMETRAGEM	TERRENO NATURAL	BERMA	NIVEL D'ÁGUA NORMAL	FUNDO
1+800	432,493	432,555	432,155	431,305
1+820	432,449	432,528	432,128	431,278
1+840	432,400	432,498	432,098	431,248
1+860	432,351	432,467	432,067	431,217
1+880	432,302	432,437	432,037	431,187
1+900	432,253	432,407	432,007	431,157
1+920	432,203	432,377	431,977	431,127
1+940	432,154	432,346	431,946	431,096
1+960	432,104	432,316	431,916	431,066
1+980	432,054	432,286	431,886	431,036
2+000	432,004	432,256	431,856	431,006
2+020	431,943	432,225	431,826	430,976
2+040	431,878	432,195	431,795	430,945
2+060	431,811	432,165	431,765	430,915
2+080	431,744	432,135	431,735	430,885
2+100	431,681	432,105	431,705	430,855
2+120	431,615	432,074	431,674	430,824
2+140	431,548	432,044	431,644	430,794
2+160	431,481	432,014	431,614	430,764
2+180	431,425	431,984	431,584	430,734
2+200	431,371	431,953	431,553	430,703
2+220	431,303	431,923	431,523	430,673
2+240	431,286	431,893	431,493	430,643
2+260	431,168	431,863	431,463	430,613
2+280	431,101	431,832	431,432	430,582
2+300	431,046	431,802	431,402	430,552
2+320	430,988	431,772	431,372	430,522
2+340	430,928	431,742	431,342	430,492
2+360	430,869	431,711	431,311	430,461
	430,810	431,681	431,281	430,431

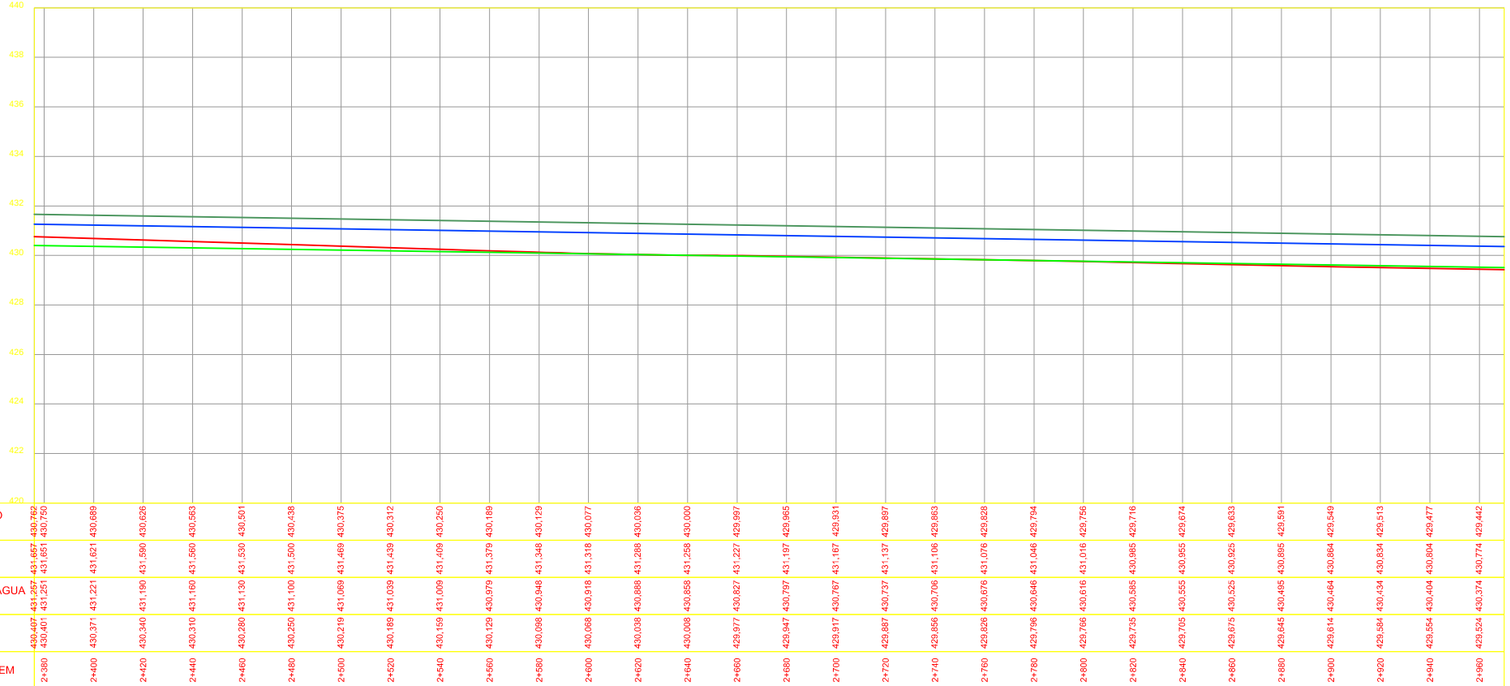
LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

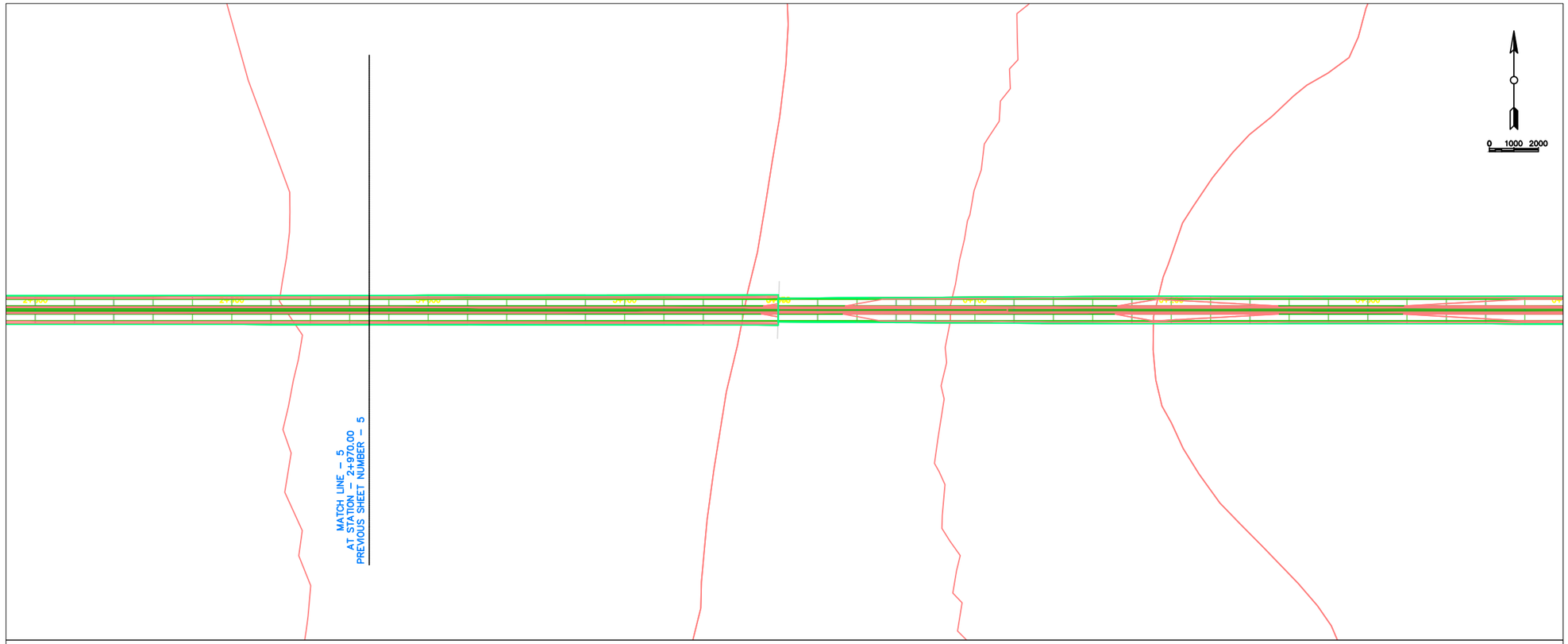
PROJETO: TRECHO 2 – 590.2	Sheet 04/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

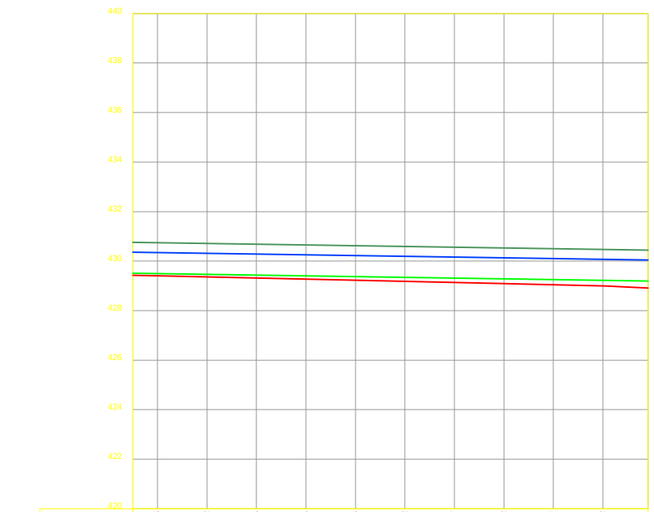
19.03.2007 thiagomod2.dwg


MATCH LINE – 4
AT STATION – 2+376.00
PREVIOUS SHEET NUMBER – 4
MATCH LINE – 5
AT STATION – 2+970.00
NEXT SHEET NUMBER: 6
0 1000 2000


440
438
436
434
432
430
428
426
424
422
420

| | | |





QUILOMETRAGEM	2+880	3+000	3+020	3+040	3+060	3+080	3+100	3+120	3+140	3+160
TERRENO NATURAL	429,609	429,494	429,463	429,433	429,403	429,373	429,342	429,312	429,282	429,252	429,221
BERMA	430,769	430,743	430,713	430,683	430,653	430,623	430,592	430,562	430,532	430,502	430,471
NIVEL D'ÁGUA NORMAL	430,359	430,344	430,313	430,283	430,253	430,223	430,192	430,162	430,132	430,102	430,071
FUNDO	429,424	429,406	429,362	429,318	429,273	429,228	429,182	429,137	429,092	429,047	429,002

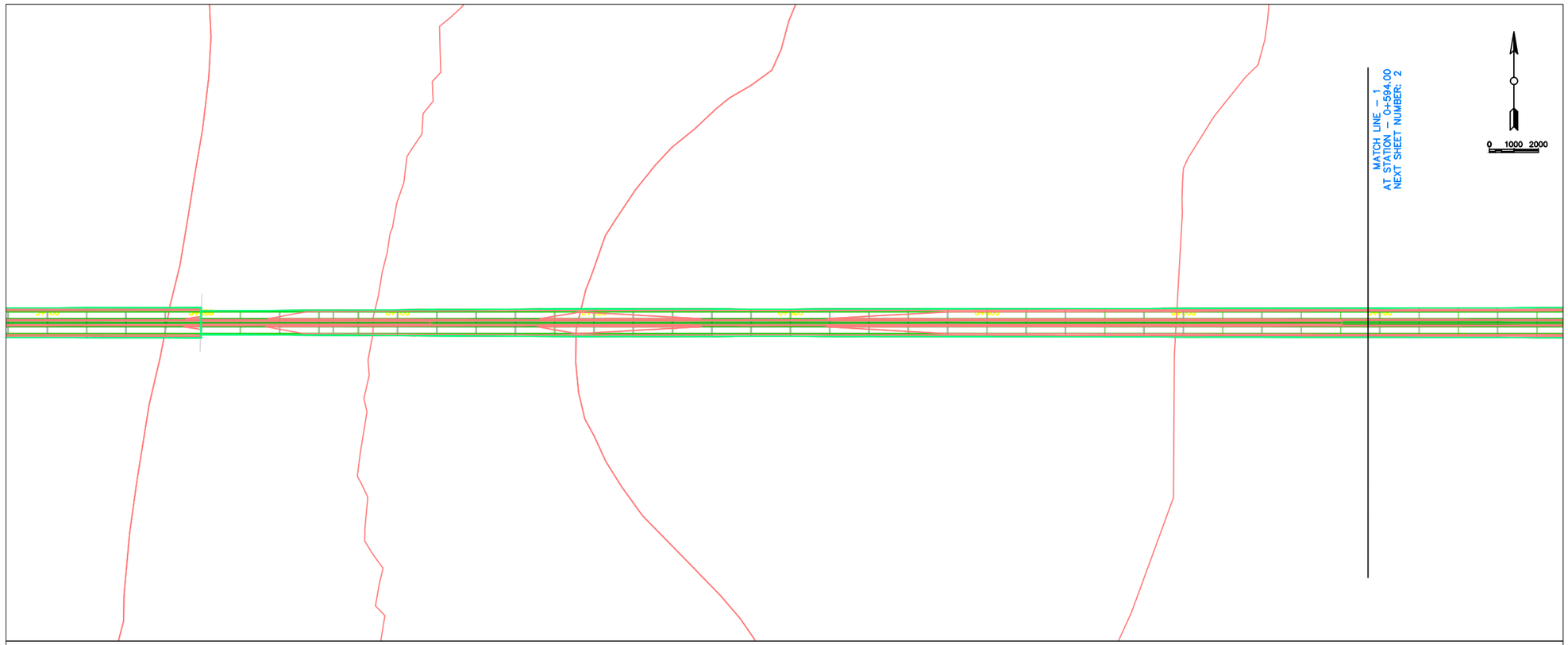
LEGENDA

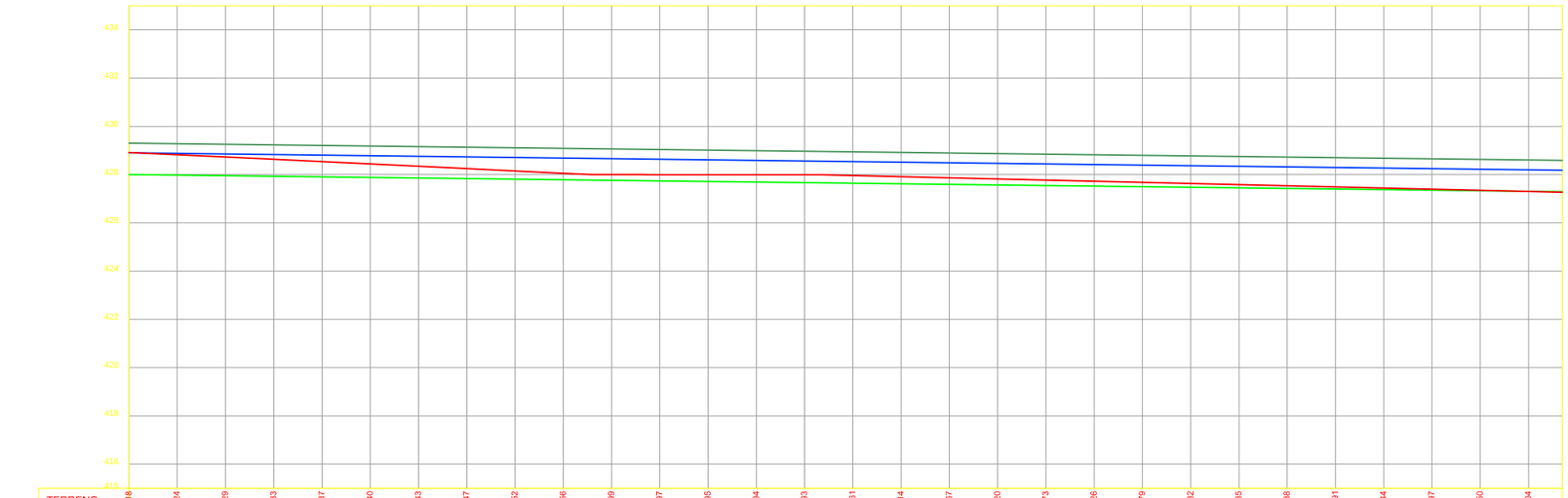
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 2 - 590.2	Sheet 06/06
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007





QUILOMETRAGEM	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580
TERRENO NATURAL	428,918	428,824	428,729	428,633	428,537	428,440	428,343	428,247	428,152	428,056	427,999	427,997	427,995	427,994	427,993	427,961	427,914	427,867	427,820	427,773	427,726	427,679	427,632	427,585	427,538	427,491	427,444	427,397	427,350	427,304
BERMA	429,300	429,276	429,252	429,228	429,204	429,180	429,156	429,132	429,108	429,084	429,060	429,036	429,012	428,988	428,963	428,939	428,915	428,891	428,867	428,843	428,819	428,795	428,771	428,747	428,723	428,699	428,675	428,651	428,627	428,603
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	428,900	428,876	428,852	428,828	428,804	428,780	428,755	428,731	428,707	428,683	428,659	428,635	428,611	428,587	428,563	428,539	428,515	428,490	428,466	428,442	428,418	428,394	428,370	428,346	428,322	428,298	428,274	428,250	428,225	428,201
FUNDO	428,000	427,976	427,952	427,928	427,904	427,880	427,855	427,831	427,807	427,783	427,759	427,735	427,711	427,687	427,663	427,639	427,615	427,590	427,566	427,542	427,518	427,494	427,470	427,446	427,422	427,398	427,374	427,350	427,325	427,301

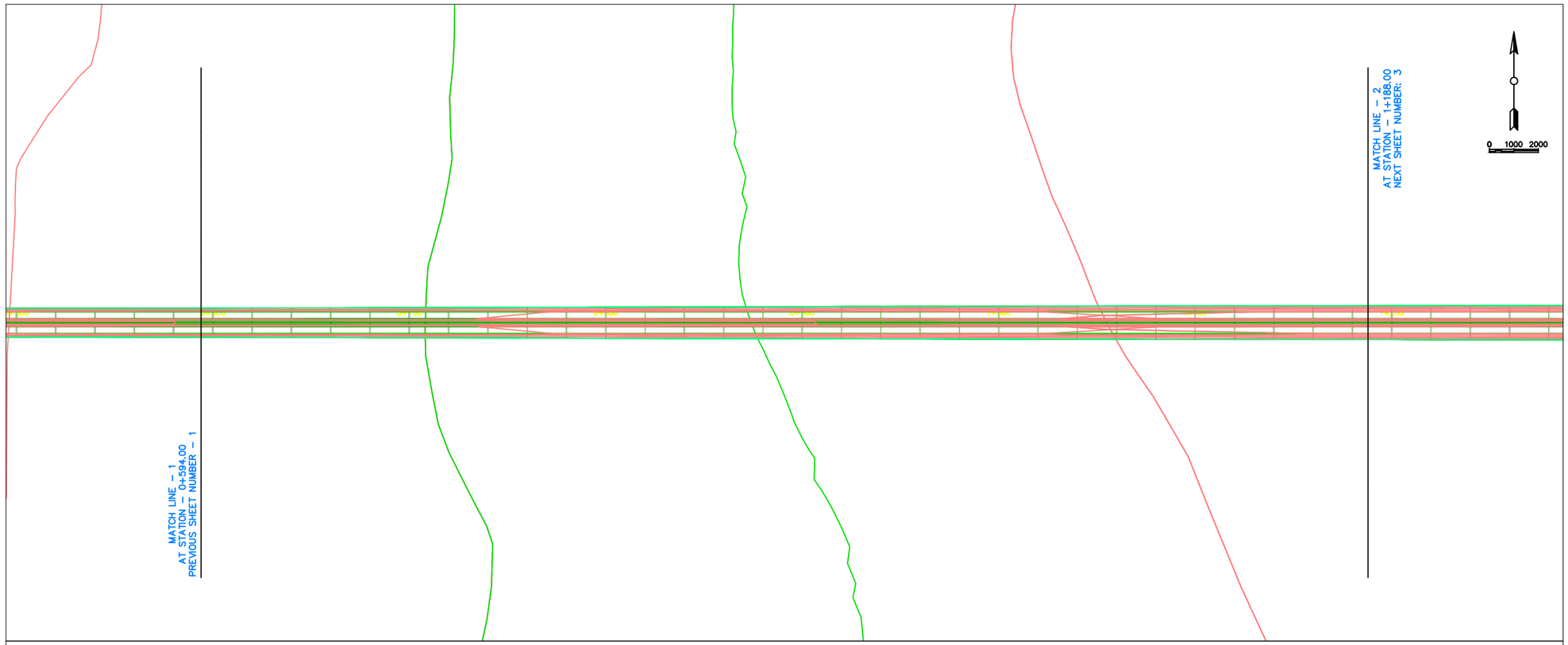
LEGENDA

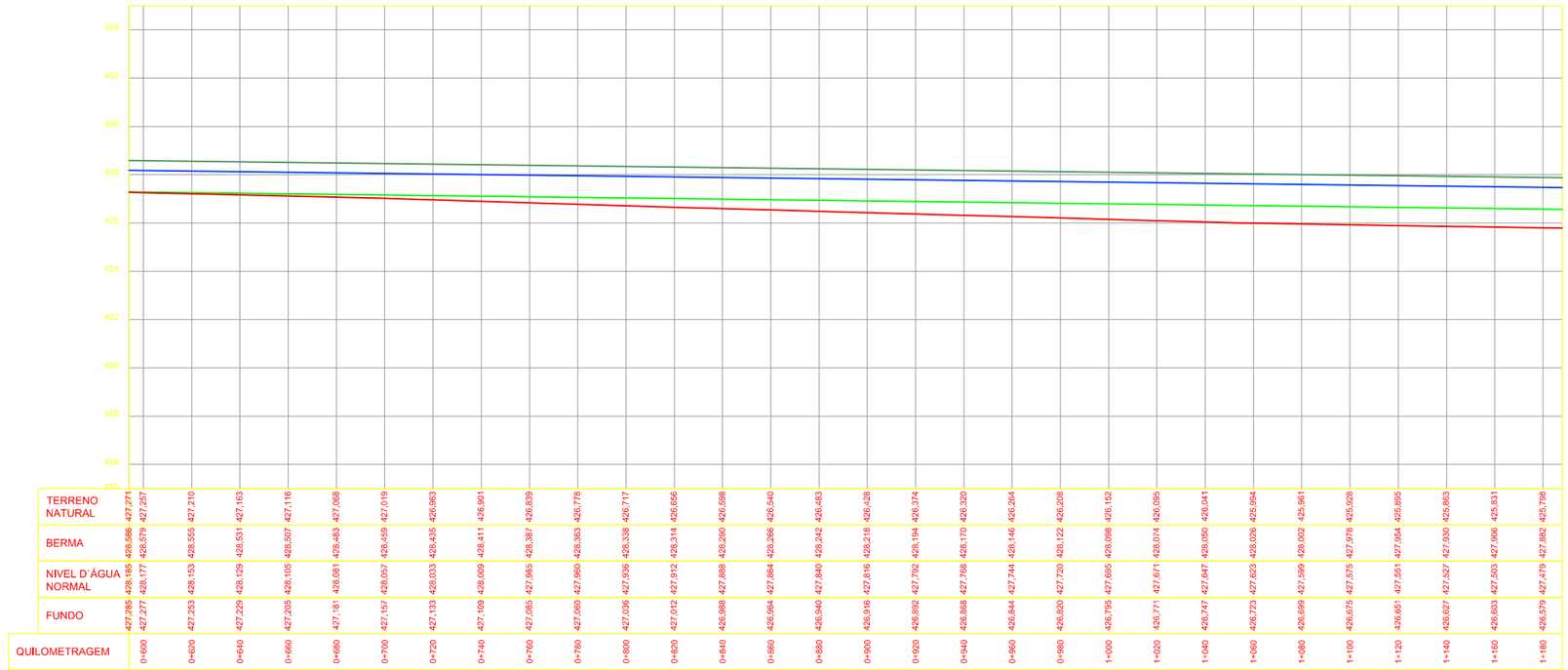
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 01/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007





QUILOMETRAGEM	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000	1+020	1+040	1+060	1+080	1+100	1+120	1+140	1+160	1+180
TERRENO NATURAL	427,271	427,257	427,210	427,163	427,116	427,068	427,019	426,963	426,901	426,839	426,778	426,717	426,656	426,598	426,540	426,483	426,428	426,374	426,320	426,264	426,208	426,152	426,095	426,041	425,984	425,961	425,928	425,895	425,863	425,831	425,798
BERMA	428,586	428,579	428,555	428,531	428,507	428,483	428,459	428,435	428,411	428,387	428,363	428,338	428,314	428,290	428,266	428,242	428,218	428,194	428,170	428,146	428,122	428,098	428,074	428,050	428,026	428,002	427,978	427,954	427,930	427,906	427,882
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	428,185	428,177	428,153	428,129	428,105	428,081	428,057	428,033	428,009	427,960	427,936	427,912	427,888	427,864	427,840	427,816	427,792	427,768	427,744	427,720	427,695	427,671	427,647	427,623	427,599	427,575	427,551	427,527	427,503	427,479	427,455
FUNDO	427,285	427,277	427,253	427,229	427,205	427,181	427,157	427,133	427,109	427,060	427,036	427,012	426,988	426,964	426,940	426,916	426,892	426,868	426,844	426,820	426,795	426,771	426,747	426,723	426,699	426,675	426,651	426,627	426,603	426,579	426,555

LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

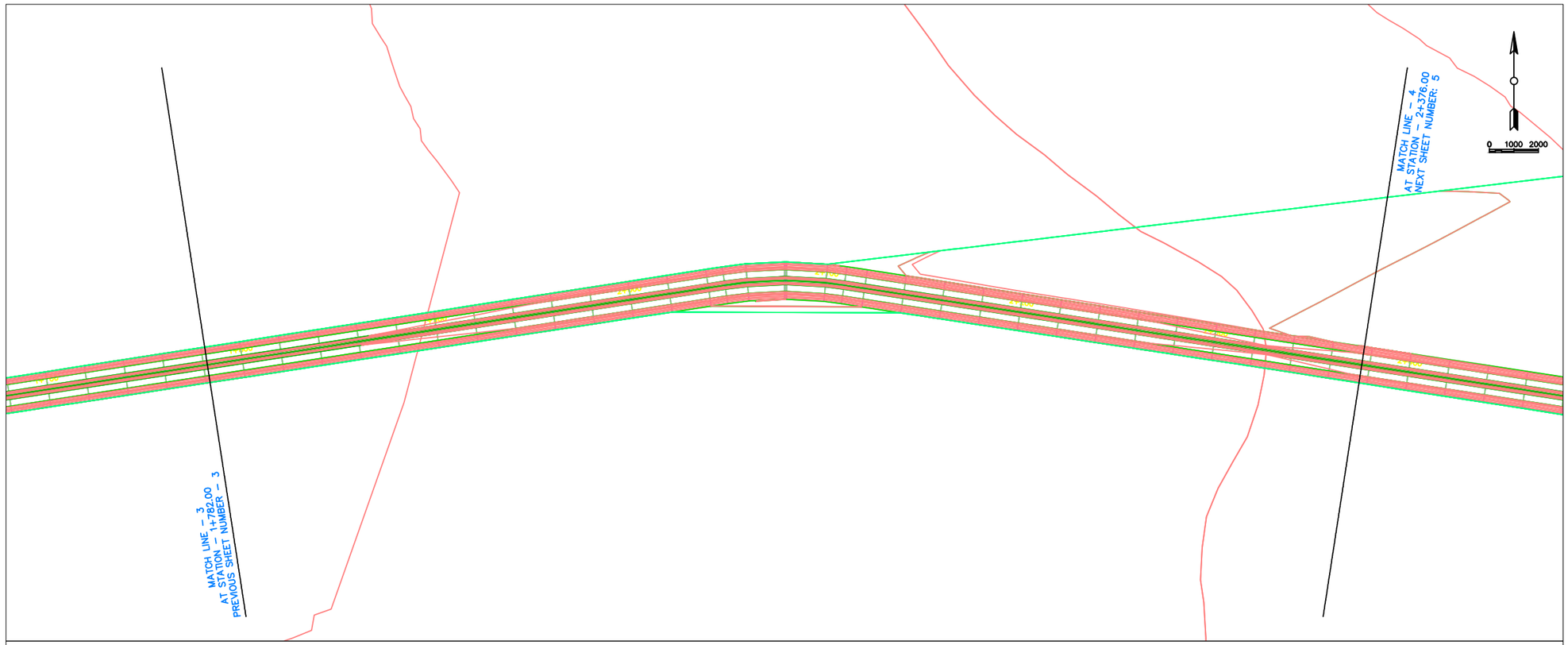
PROJETO:	Sheet
TRECHO 3 – 590.2	02/11
10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

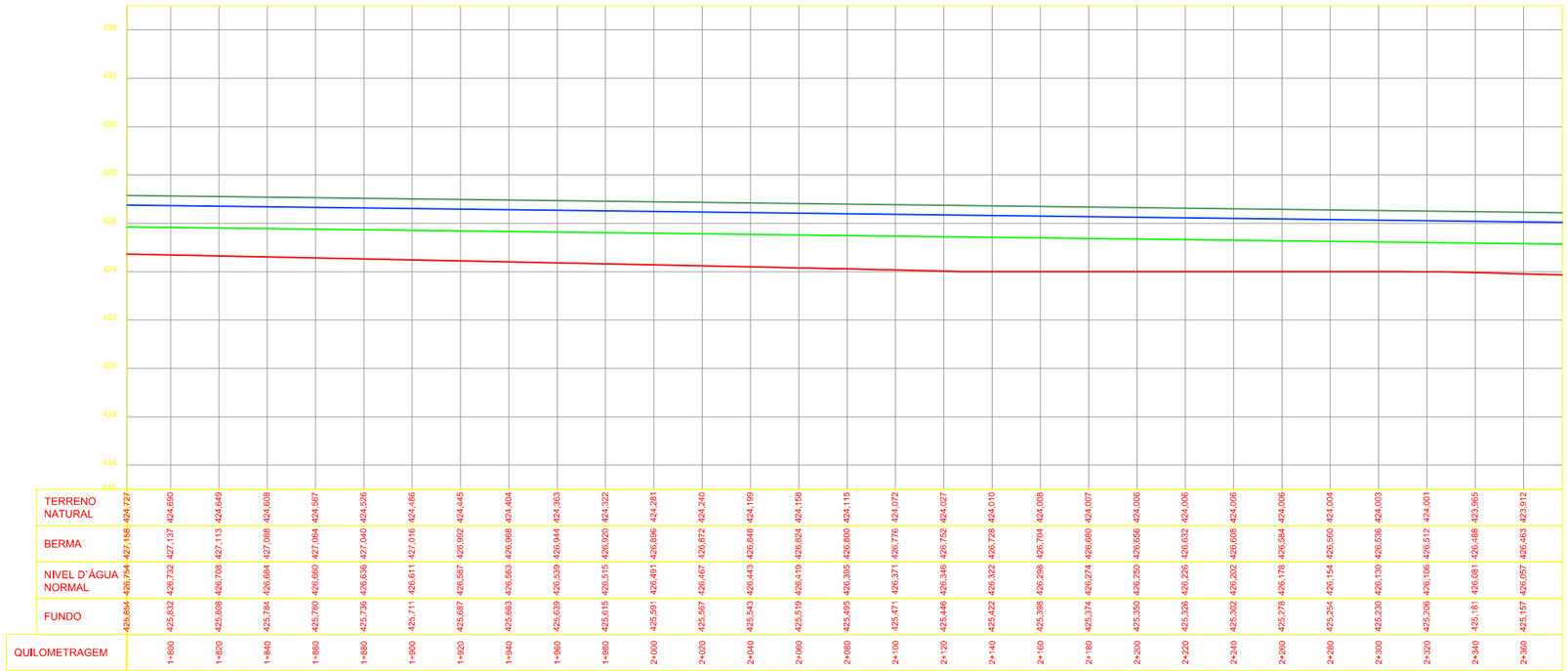
19.03.2007 thiagomod2.dwg

MATCH LINE – 2
AT STATION – 1+188.00
PREVIOUS SHEET NUMBER – 2
MATCH LINE – 3
AT STATION – 1+762.00
NEXT SHEET NUMBER: 4
0 1000 2000

434
432
430
428
426
424
422
420
418
416
414

| | | |





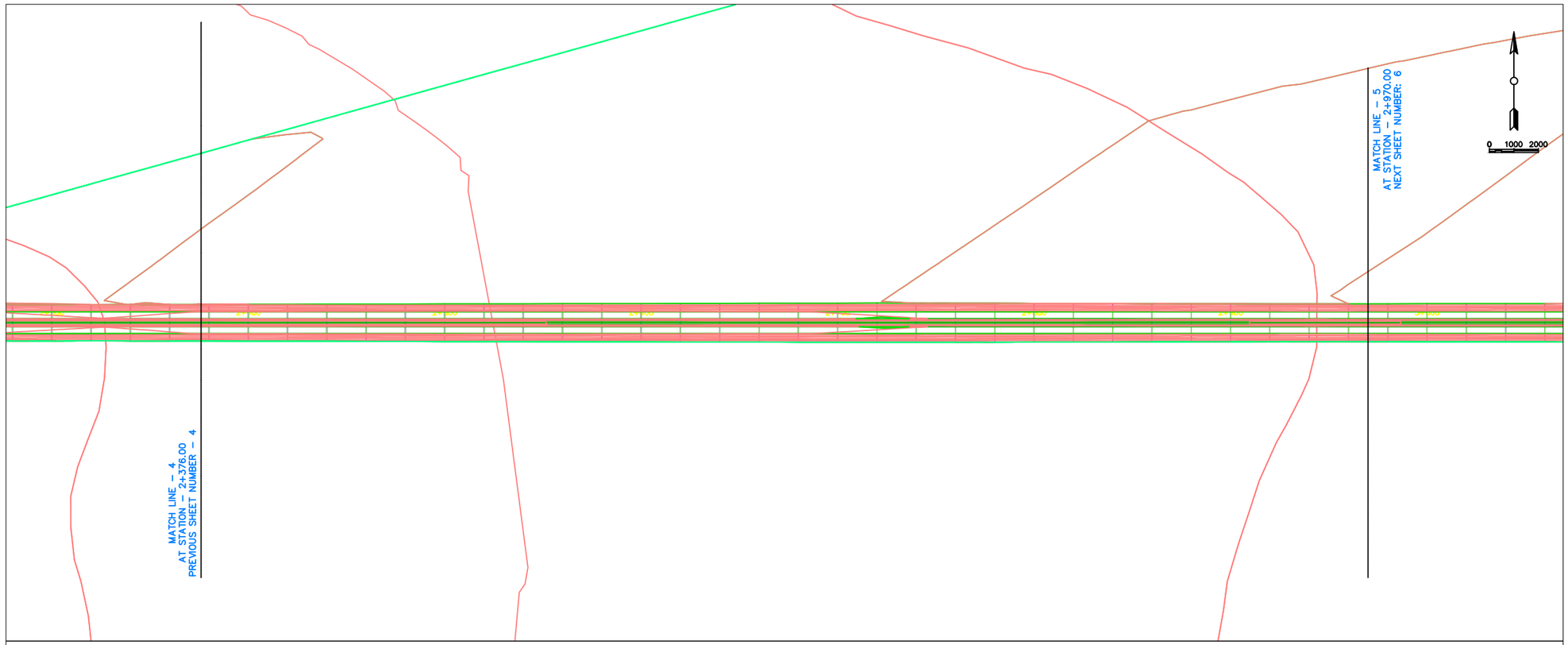
QUILOMETRAGEM	TERRENO NATURAL	BERMA	NIVEL D'ÁGUA NORMAL	FUNDO
1+800	424,727	427,158	426,764	425,864
1+820	424,690	427,137	426,732	425,832
1+840	424,649	427,113	426,708	425,808
1+860	424,608	427,088	426,684	425,784
1+880	424,567	427,064	426,660	425,760
1+900	424,526	427,040	426,636	425,736
1+920	424,486	427,016	426,611	425,711
1+940	424,445	426,992	426,587	425,687
1+960	424,404	426,968	426,563	425,663
1+980	424,363	426,944	426,539	425,639
2+000	424,322	426,920	426,515	425,615
2+020	424,281	426,896	426,491	425,591
2+040	424,240	426,872	426,467	425,567
2+060	424,199	426,848	426,443	425,543
2+080	424,158	426,824	426,419	425,519
2+100	424,115	426,800	426,395	425,495
2+120	424,072	426,776	426,371	425,471
2+140	424,027	426,752	426,346	425,446
2+160	424,010	426,728	426,322	425,422
2+180	424,008	426,704	426,298	425,398
2+200	424,007	426,680	426,274	425,374
2+220	424,006	426,656	426,250	425,350
2+240	424,006	426,632	426,226	425,326
2+260	424,006	426,608	426,202	425,302
2+280	424,006	426,584	426,178	425,278
2+300	424,004	426,560	426,154	425,254
2+320	424,003	426,536	426,130	425,230
2+340	424,001	426,512	426,106	425,206
2+360	423,965	426,488	426,081	425,181
	423,912	426,463	426,057	425,157

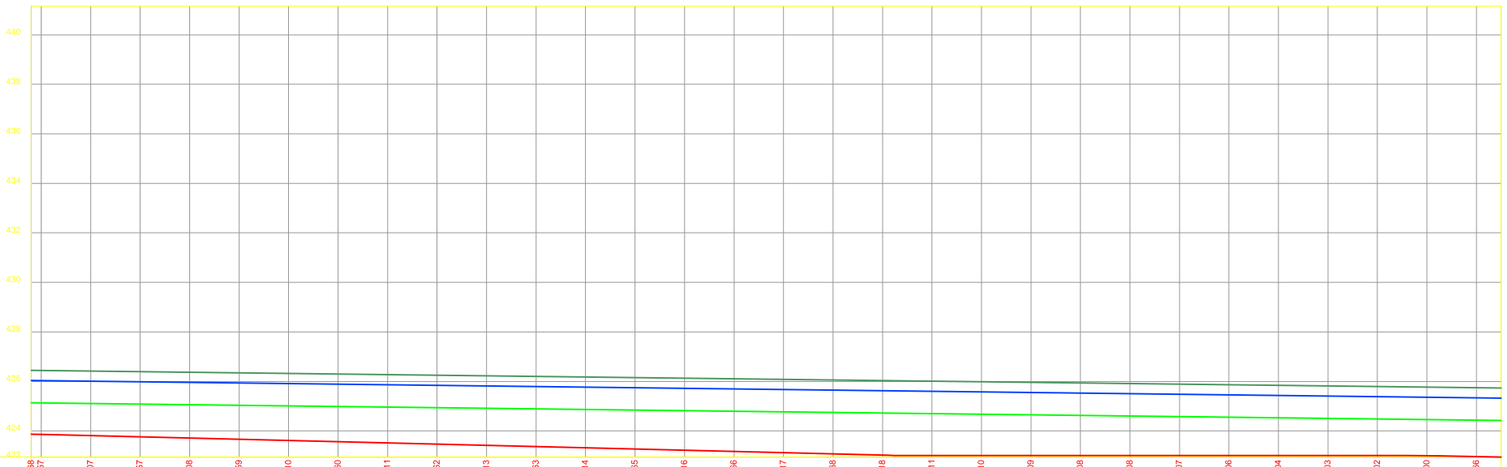
LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 04/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

19.03.2007 thiagomod2.dwg





QUILOMETRAGEM	2+380	2+400	2+420	2+440	2+460	2+480	2+500	2+520	2+540	2+560	2+580	2+600	2+620	2+640	2+660	2+680	2+700	2+720	2+740	2+760	2+780	2+800	2+820	2+840	2+860	2+880	2+900	2+920	2+940	2+960
TERRENO NATURAL	423,868	423,857	423,807	423,757	423,708	423,659	423,610	423,560	423,511	423,462	423,413	423,363	423,314	423,265	423,216	423,166	423,117	423,068	423,018	423,011	423,010	423,009	423,008	423,008	423,007	423,006	423,004	423,003	423,002	423,000
BERMA	426,444	426,439	426,415	426,391	426,367	426,343	426,319	426,295	426,271	426,247	426,223	426,199	426,175	426,151	426,127	426,103	426,079	426,055	426,031	426,007	425,983	425,959	425,935	425,911	425,887	425,863	425,839	425,814	425,790	425,766
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	426,038	426,033	426,009	425,985	425,961	425,937	425,913	425,889	425,865	425,841	425,816	425,792	425,768	425,744	425,720	425,696	425,672	425,648	425,624	425,600	425,576	425,551	425,527	425,503	425,479	425,455	425,431	425,407	425,383	425,359
FUNDO	425,138	425,133	425,109	425,085	425,061	425,037	425,013	424,989	424,965	424,941	424,916	424,892	424,868	424,844	424,820	424,796	424,772	424,748	424,724	424,700	424,676	424,651	424,627	424,603	424,579	424,555	424,531	424,507	424,483	424,459

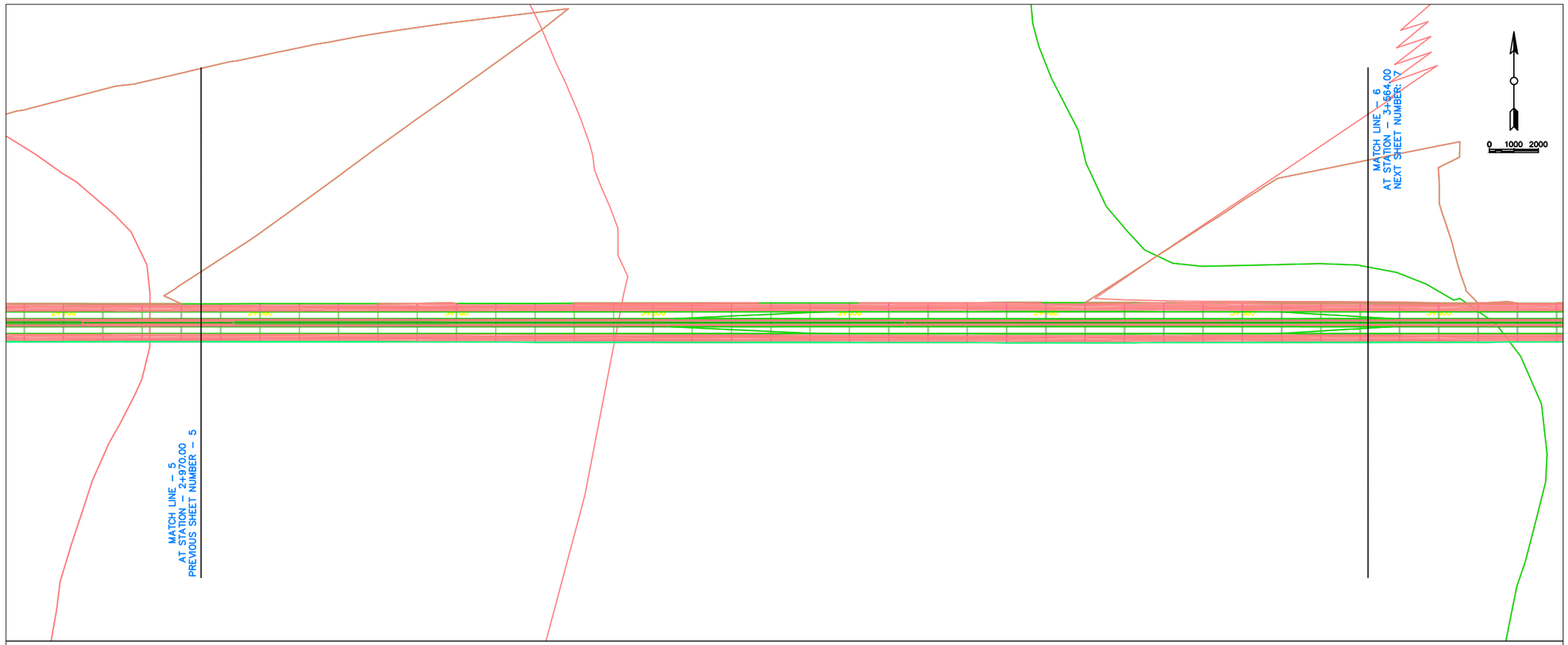
LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 05/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007



QUILOMETRAGEM	2+880	3+000	3+020	3+040	3+060	3+080	3+100	3+120	3+140	3+160	3+180	3+200	3+220	3+240	3+260	3+280	3+300	3+320	3+340	3+360	3+380	3+400	3+420	3+440	3+460	3+480	3+500	3+520	3+540	3+560
TERRENO NATURAL	422,945	422,924	422,882	422,843	422,802	422,759	422,716	422,674	422,632	422,589	422,547	422,505	422,463	422,420	422,378	422,336	422,294	422,252	422,209	422,167	422,125	422,083	422,041	422,004	422,003	422,002	422,002	422,002	422,002	422,001
BERMA	426,790	425,718	425,694	425,670	425,646	425,622	425,598	425,574	425,550	425,526	425,502	425,478	425,454	425,430	425,406	425,382	425,358	425,334	425,310	425,286	425,262	425,238	425,214	425,189	425,165	425,141	425,117	425,093	425,069	425,045
NIVEL D´ÁGUA NORMAL	426,323	425,311	425,286	425,262	425,238	425,214	425,190	425,166	425,142	425,118	425,094	425,070	425,046	425,021	424,997	424,973	424,949	424,925	424,901	424,877	424,853	424,829	424,805	424,781	424,756	424,732	424,708	424,684	424,660	424,636
FUNDO	424,403	424,411	424,386	424,362	424,338	424,314	424,290	424,266	424,242	424,218	424,194	424,170	424,146	424,121	424,097	424,073	424,049	424,025	424,001	423,977	423,953	423,929	423,905	423,881	423,856	423,832	423,808	423,784	423,760	423,736

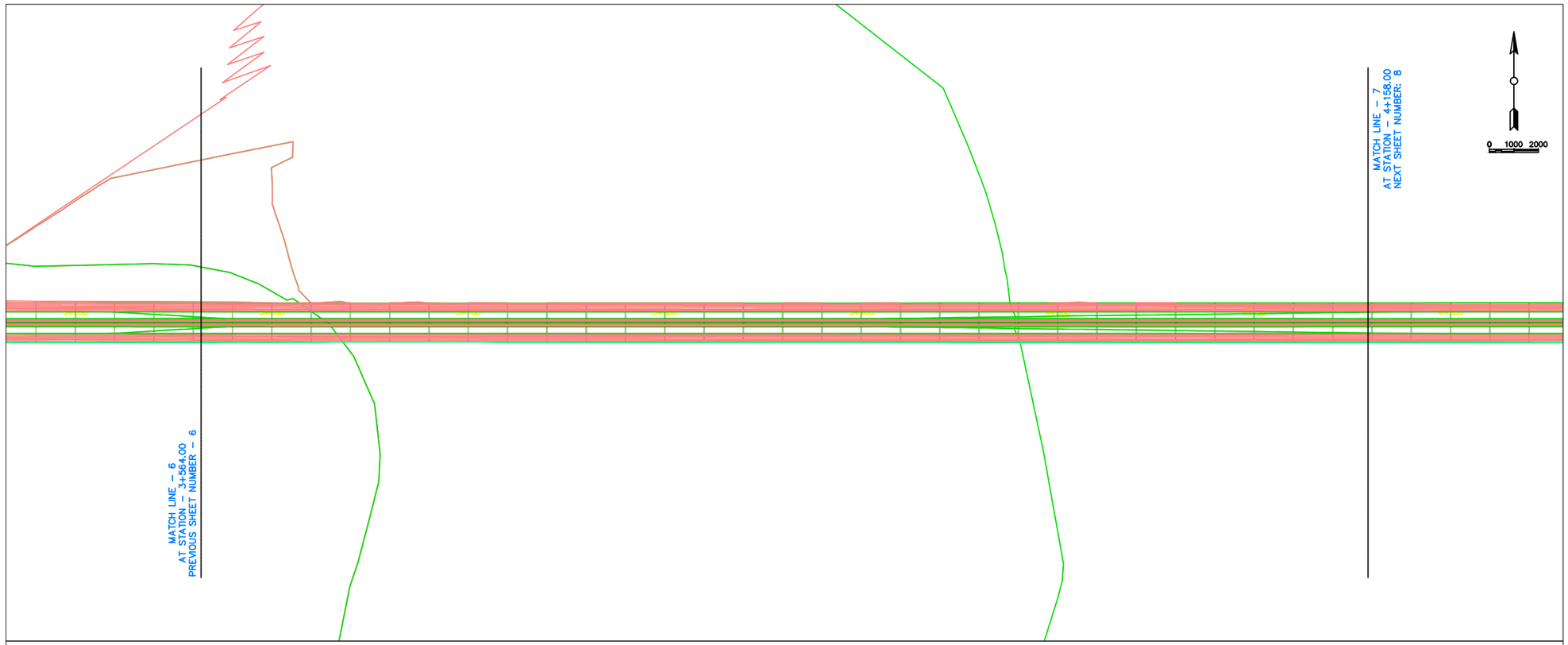
LEGENDA

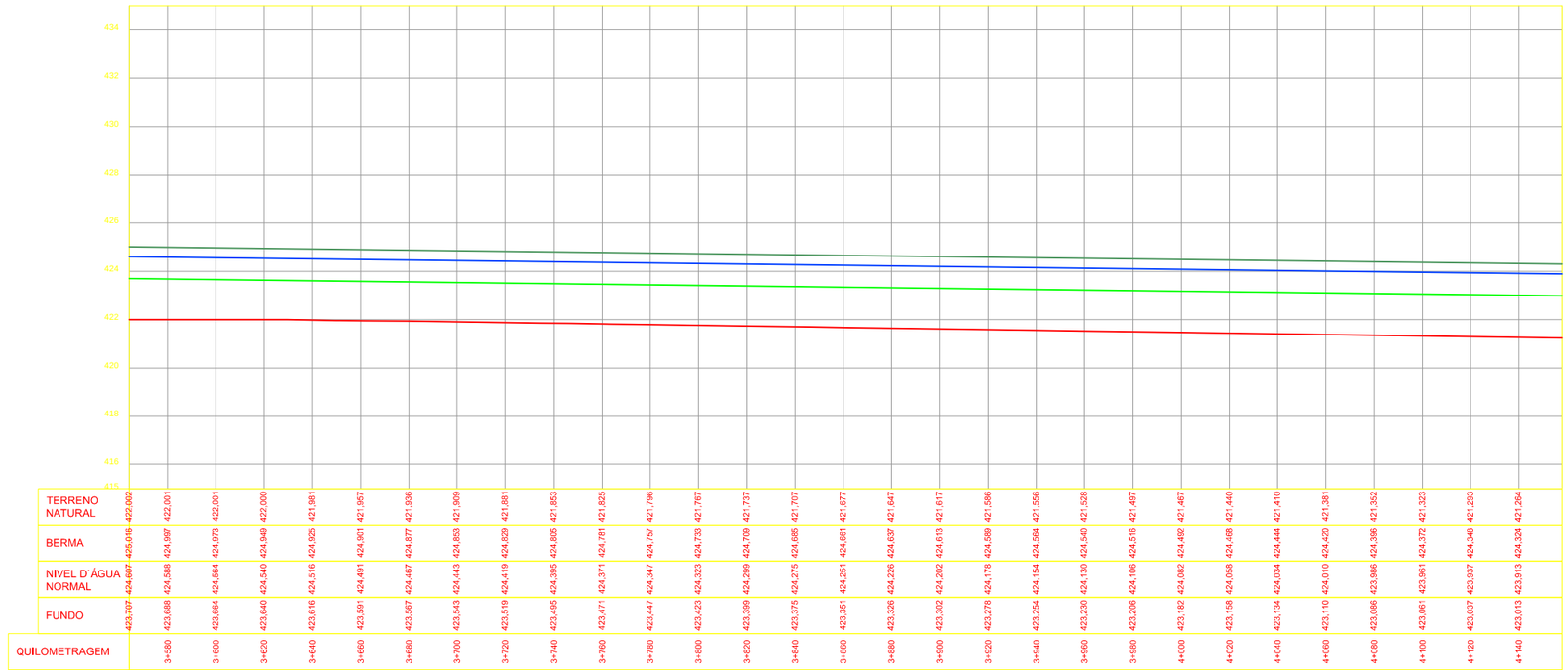
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 06/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007





QUILOMETRAGEM	TERRENO NATURAL	BERMA	NIVEL D´ÁGUA NORMAL	FUNDO
3+580	422,002	426,016	424,607	423,707
3+600	422,001	424,997	424,588	423,688
3+620	422,001	424,973	424,564	423,664
3+640	422,000	424,949	424,540	423,640
3+660	421,981	424,925	424,516	423,616
3+680	421,957	424,901	424,491	423,591
3+700	421,936	424,877	424,467	423,567
3+720	421,909	424,853	424,443	423,543
3+740	421,881	424,829	424,419	423,519
3+760	421,853	424,805	424,395	423,495
3+780	421,825	424,781	424,371	423,471
3+800	421,796	424,757	424,347	423,447
3+820	421,767	424,733	424,323	423,423
3+840	421,737	424,709	424,299	423,399
3+860	421,707	424,685	424,275	423,375
3+880	421,677	424,661	424,251	423,351
3+900	421,647	424,637	424,226	423,326
3+920	421,617	424,613	424,202	423,302
3+940	421,586	424,589	424,178	423,278
3+960	421,556	424,564	424,154	423,254
3+980	421,526	424,540	424,130	423,230
4+000	421,497	424,516	424,106	423,206
4+020	421,467	424,492	424,082	423,182
4+040	421,440	424,468	424,058	423,158
4+060	421,410	424,444	424,034	423,134
4+080	421,381	424,420	424,010	423,110
4+100	421,352	424,396	423,986	423,086
4+120	421,323	424,372	423,961	423,061
4+140	421,293	424,348	423,937	423,037
	421,264	424,324	423,913	423,013

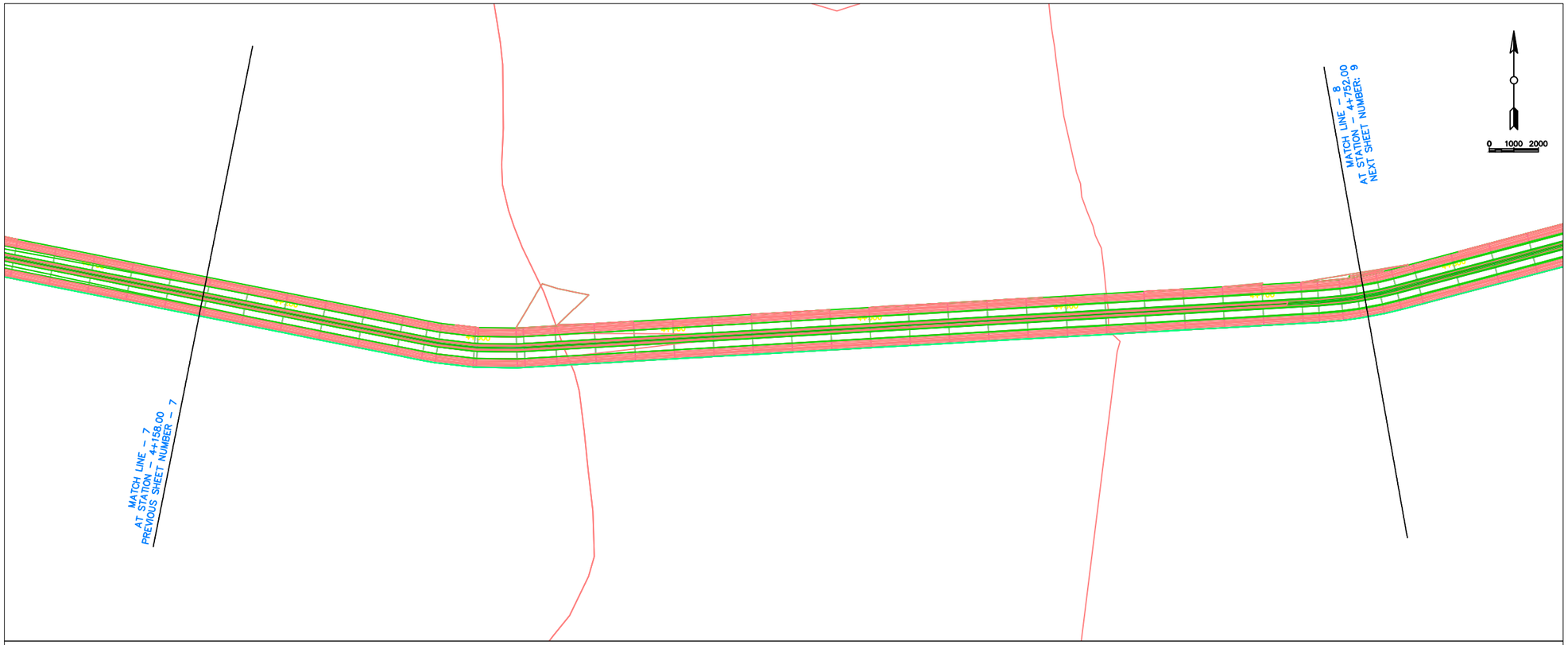
LEGENDA

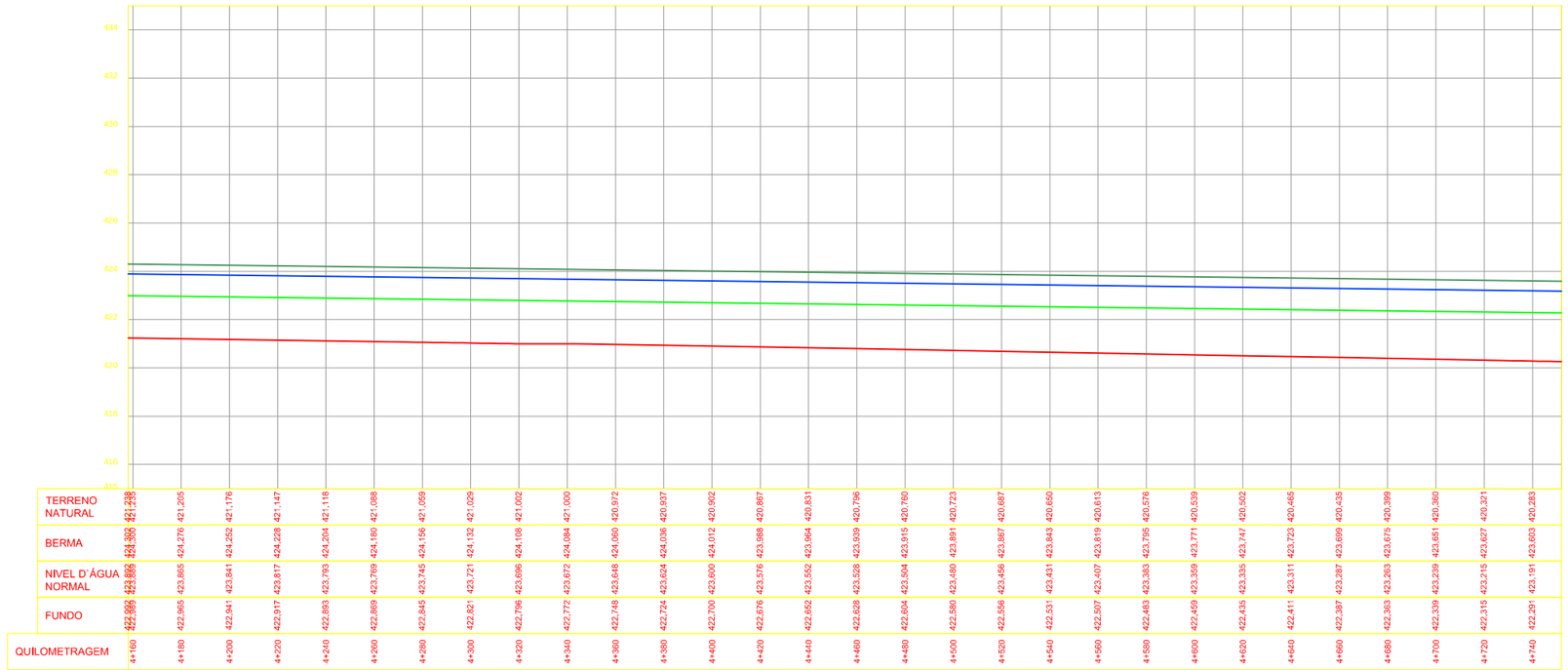
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 07/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007





QUILOMETRAGEM	TERRENO NATURAL	BERMA	NIVEL D'ÁGUA NORMAL	FUNDO
4+160	421,238	424,305	423,869	422,989
4+180	421,205	424,276	423,865	422,965
4+200	421,176	424,252	423,841	422,941
4+220	421,147	424,228	423,817	422,917
4+240	421,118	424,204	423,793	422,893
4+260	421,088	424,180	423,769	422,869
4+280	421,059	424,156	423,745	422,845
4+300	421,029	424,132	423,721	422,821
4+320	421,002	424,108	423,696	422,796
4+340	421,000	424,084	423,672	422,772
4+360	420,972	424,060	423,648	422,748
4+380	420,937	424,036	423,624	422,724
4+400	420,902	424,012	423,600	422,700
4+420	420,867	423,988	423,576	422,676
4+440	420,831	423,964	423,552	422,652
4+460	420,796	423,939	423,528	422,628
4+480	420,760	423,915	423,504	422,604
4+500	420,723	423,891	423,480	422,580
4+520	420,687	423,867	423,456	422,556
4+540	420,650	423,843	423,431	422,531
4+560	420,613	423,819	423,407	422,507
4+580	420,576	423,795	423,383	422,483
4+600	420,539	423,771	423,359	422,459
4+620	420,502	423,747	423,335	422,435
4+640	420,465	423,723	423,311	422,411
4+660	420,435	423,699	423,287	422,387
4+680	420,399	423,676	423,263	422,363
4+700	420,360	423,651	423,239	422,339
4+720	420,321	423,627	423,215	422,315
4+740	420,283	423,603	423,191	422,291

LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

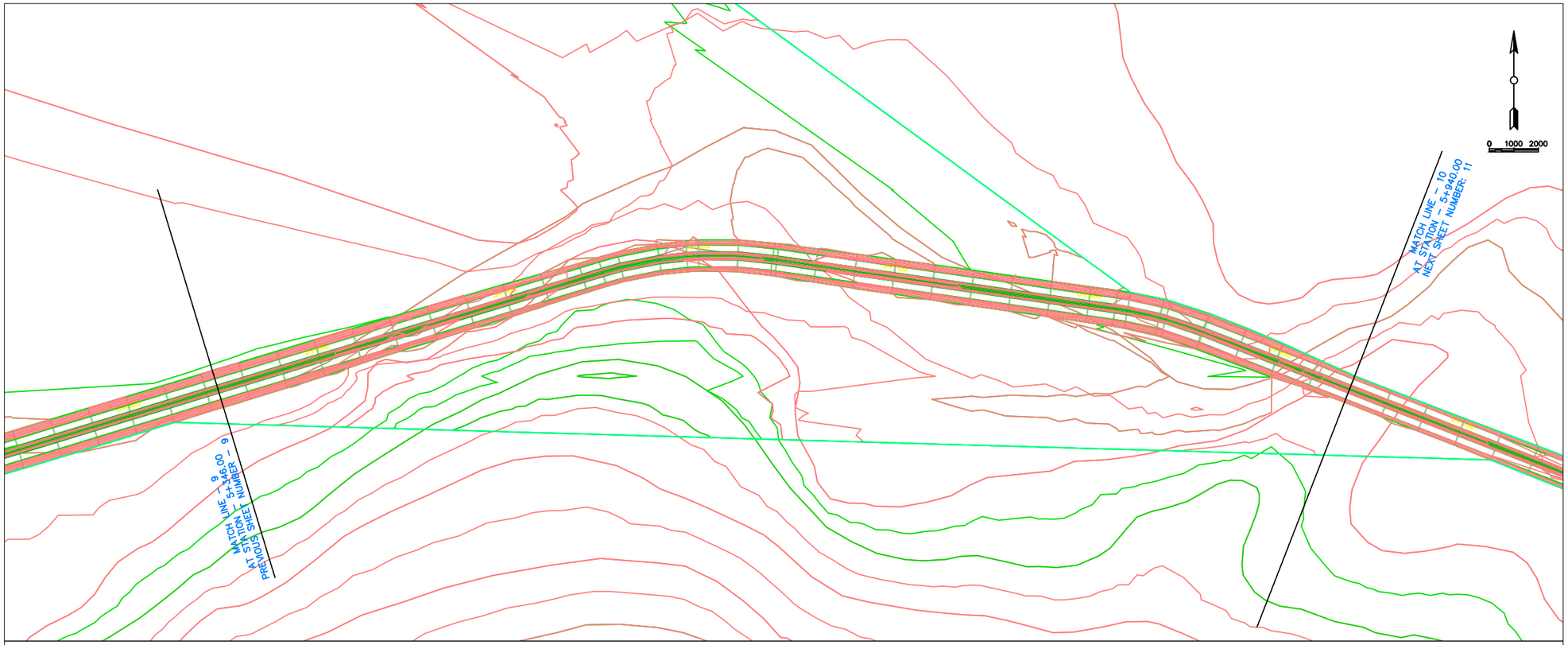
PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 08/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

19.03.2007 thiagomod2.dwg

LEGENDA

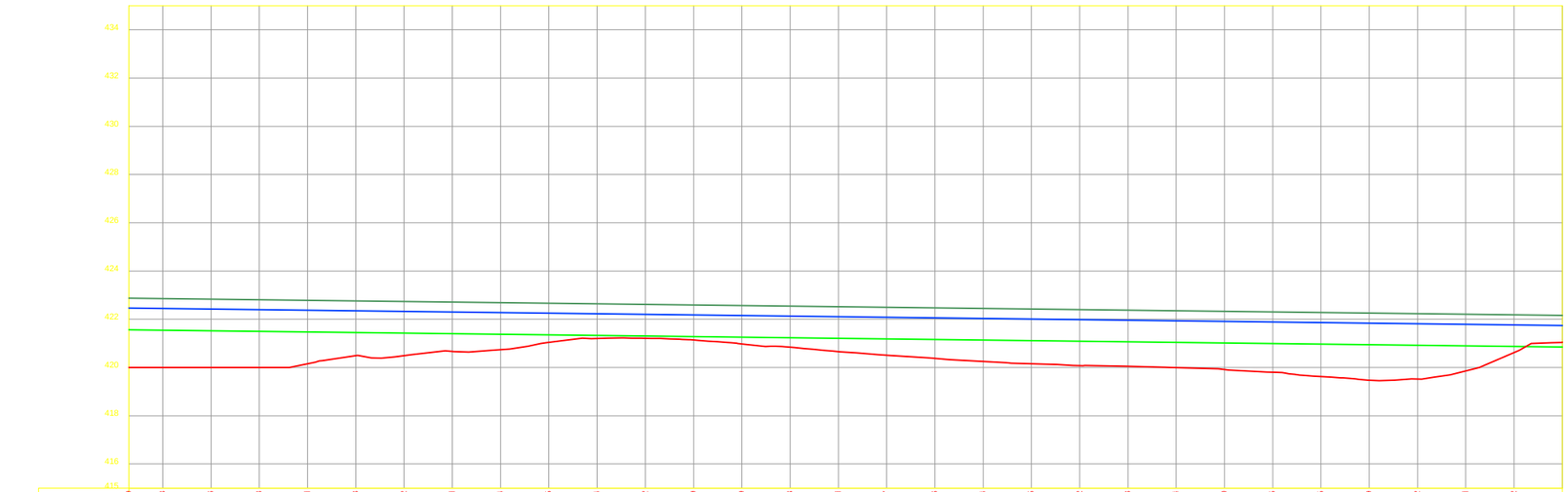
- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

| | | |

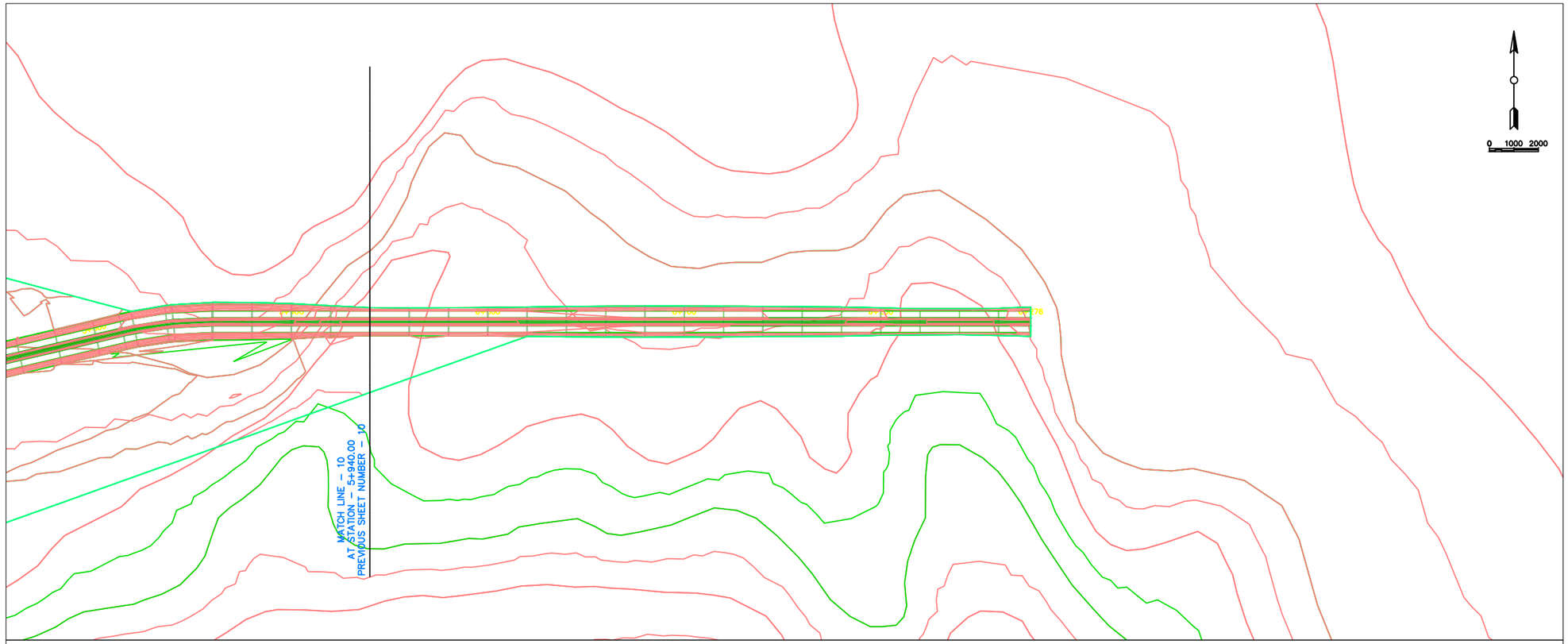


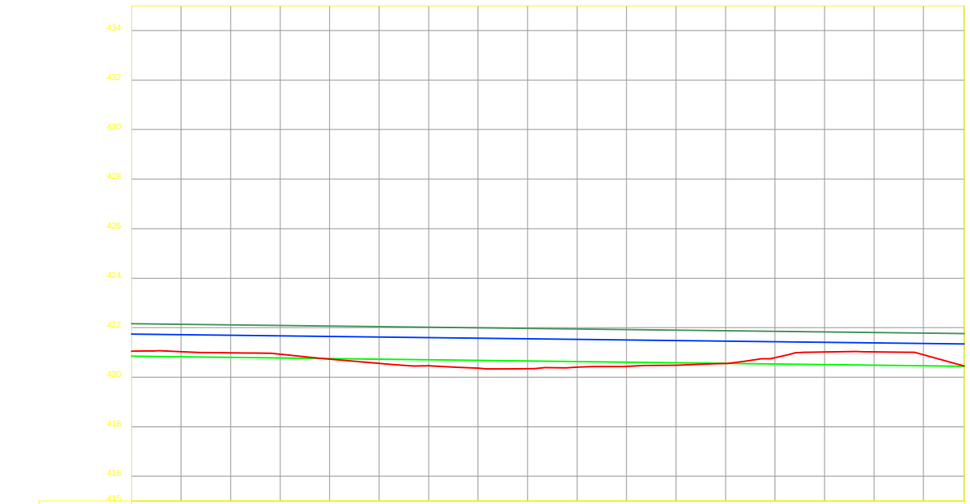
LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA



| | | |





QUILOMETRAGEM	TERRENO NATURAL	BERMA	NIVEL D'ÁGUA NORMAL	FUNDO
5+960	421,045	422,161	421,745	420,845
5+980	421,033	422,137	421,721	420,821
6+000	420,985	422,113	421,697	420,797
6+020	420,928	422,089	421,673	420,773
6+040	420,729	422,065	421,649	420,749
6+060	420,558	422,040	421,625	420,725
6+080	420,460	422,016	421,601	420,701
6+100	420,362	421,992	421,577	420,677
6+120	420,345	421,968	421,552	420,652
6+140	420,402	421,944	421,528	420,628
6+160	420,435	421,920	421,504	420,604
6+180	420,494	421,896	421,480	420,580
6+200	420,550	421,872	421,456	420,556
6+220	420,788	421,848	421,432	420,532
6+240	421,014	421,824	421,408	420,508
6+260	421,025	421,800	421,384	420,484
	420,907	421,776	421,360	420,460

LEGENDA

- TERRENO NATURAL
- FUNDO DO CANAL
- BERMA DO CANAL
- NÍVEL D'ÁGUA

PROJETO: TRECHO 3 – 590.2	Sheet 11/11
DATA: 10/12/2014	
ESCALA: 1:1250	

thiagomod2.dwg

19.03.2007