



Projeto Conceitual dos Sistemas de Tratamento Natural Off-Line – Trechos 6 a 9 do Rio Gualaxo do Norte

Preparado por:



Tabela de Conteúdo

1	Introdução e Objetivo	8
2	Conceito do STN – Sistema de Tratamento Natural	10
3	Regulamentação Ambiental Aplicável e Parâmetros de Estudo	15
3.1	Regulamentação sobre padrões de qualidade de águas	15
3.2	Estudos de Ecotoxicidade Existentes	16
4	Características Históricas e Atuais do rio Gualaxo do Norte	19
4.1	Vazões	19
4.2	Qualidade da Água	21
4.2.1	Pré-Evento - Turbidez	21
4.2.2	Pós-Evento - Qualidade da Água	24
5	Seleção dos Locais adequados para o Sistema de Tratamento Natural Off-line	28
5.1	Potenciais Locais para Implantação o STN off-line	28
5.2	Sites Recomendados para Implantação dos STN Off-line	35
6	Projeto Conceitual dos Sistemas de Tratamento Natural Off-line	38
6.1	Conceito e Critérios de Projeto	38
6.1.1	Diagrama de Blocos	38
6.1.2	Descrição do Processo de Tratamento	41
6.1.3	Critérios de Projeto	43
6.1.4	Teste Realizado em Campo	45
6.2	GN-STN km 14	47
6.2.1	Fluxograma de Processo	47
6.2.2	Layout	48
6.3	GN-STN km 48	48
6.3.1	Fluxograma de Processo	49
6.3.2	Layout	49
6.4	GN-STN km 59	50
6.4.1	Fluxograma de Processo	50
6.4.2	Layout	51
6.5	Memorial de Cálculo	52
6.6	Eficiência do Tratamento	53
6.6.1	Vazões Encaminhadas para Tratamento	53
6.6.2	Balço de Turbidez	58
6.7	Lavagem nos Eventos de Cheias	63
6.8	Procedimentos para o Comissionamento e Descomissionamento dos STN Off-line	64

6.9	Critérios de Seleção das Áreas de Disposição do Material Removido durante a implantação das STN.....	64
6.9.1	Análise de Viabilidade Logística	65
6.9.2	Capacidade de Recebimento e Avaliações Geotécnicas.....	69
6.9.3	Permissões	69
6.9.4	Licenciamento e Adequação das Áreas de Disposição	69
7	Próximos Passos	70
7.1	Teste de Bancada	70
7.2	Monitoramento da Qualidade da Água	70
7.3	Relatório Geotécnico	70
7.4	Topografia	71
7.5	Batimetria	71
7.6	Modelo Hidráulico e Análise de Transporte de Sedimentos	72
8	Cronograma de Implantação das Soluções Apresentadas	73
9	Conclusões e Recomendações	75
10	Referências	77
Apêndice A		78
Exemplos Internacionais de Implantação de STN Off-line		78
Utilização de <i>Wetlands</i> para Tratamento de Água no Brasil		79
Algumas Experiências Internacionais com <i>Wetlands</i>		80
Zeunor- Neuner Natural Treatment System – Roseburg, Oregon, Estados Unidos		80
Tratamento por <i>Wetlands</i> Construídos – Clayton, Geórgia.....		81
Talking Water Gardens – Albany, Oregon, Estados Unidos		83
Dixie Drain Water Quality Improvement – Boise, Idaho, Estados Unidos		84
Apêndice B.....		87
Projeto Conceitual das Áreas de Tratamento		87
Apêndice C.....		88
Modelo Hidráulico Simplificado no HEC-RAS do rio Gualaxo do Norte.....		88

Tabela de Figuras

Figura 1: Localização dos Trechos 6 a 9 do rio Gualaxo do Norte	9
Figura 2: Cascalho coletado de um tributário no rio no Km 48 GN-STN com algas e macroinvertebrados bentônicos na rocha.	9
Figura 3: Esquema do STN Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte.....	10
Figura 4: Exemplo do funcionamento do STN Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte.....	11

Figura 5: Seção transversal de uma <i>wetland</i> – Elevada densidade de vegetação que atuam como filtros.....	13
Figura 6: Localização da Estação 56337000 e bacia hidrográfica correspondente	20
Figura 7: Curva de Permanência da Estação 56337000.....	21
Figura 8: Vazões médias mensais da série histórica da estação 56337000.....	21
Figura 9: Dados de monitoramento histórico de turbidez no Rio do Carmo (RD009).....	22
Figura 10: Médias mensais dos dados de monitoramento histórico de turbidez no Rio do Carmo (RD009).....	23
Figura 11: Dados de monitoramento histórico de turbidez no Rio Doce (RD071)	23
Figura 12: Análise de frequência das medições de turbidez pré-evento entre outubro de 2008 e 2015.....	24
Figura 13: Estações de monitoramento automático de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte ..	24
Figura 14: Variação da Turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte – mediana mensal entre Abril de 2016 e Abril de 2017.....	25
Figura 15: Qualidade da Água na Estação RDC 124	26
Figura 16: Qualidade da Água na Estação RDC-24.....	27
Figura 17: Localização dos potenciais locais para implantação dos STN off-line	29
Figura 18: Potencial locação para o GN-STN km 2.....	30
Figura 19: Potencial locação para o GN-STN km 14.....	30
Figura 20: Potencial locação para o GN-STN km 33.....	31
Figura 21: Potencial locação para o GN-STN km 48.....	31
Figura 22: Potencial locação para o GN-STN km 58.....	32
Figura 23: Potencial locação para o GN-STN km 59.....	32
Figura 24: Potencial locação para o GN-STN km 63.....	33
Figura 25: Perfil de elevações do rio em potenciais locações para os STN off-line - Influência das estruturas de desvio de vazão.....	34
Figura 26: Proprietários das áreas identificadas para implantação dos STN km 48 e 14.....	37
Figura 27: Diagrama de blocos do Sistema de Tratamento Natural Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte	40
Figura 28: Resultados fotográficos dos testes realizados em campo para diferentes dosagens de Sulfato de Alumínio	46
Figura 29: Resultados de turbidez dos testes realizados em campo para diferentes dosagens de Sulfato de Alumínio	47
Figura 30: Fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 14.....	48

Figura 31: Ilustração do layout preparado para o projeto conceitual do site GN-STN km 14.....	48
Figura 32: Fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 48.....	49
Figura 33: Ilustração do layout preparado para o projeto conceitual do site GN-STN km 48.....	50
Figura 34: Fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 59.....	51
Figura 35: Ilustração do layout preparado para o projeto conceitual do site GN-STN km 14.....	51
Figura 36: Localização da estação 56337000 e dos STNs	54
Figura 37: Curva de Permanência do ponto GN-STN Km 59.....	55
Figura 38: Vazões médias mensais da série histórica no ponto GN-STN Km 59.....	55
Figura 39: Curva de Permanência do ponto GN-STN Km 48.....	56
Figura 40: Vazões médias mensais da série histórica no ponto GN-STN Km 48.....	56
Figura 41: Curva de Permanência do ponto GN-STN Km 14.....	57
Figura 42: Vazões médias mensais da série histórica no ponto GN-STN Km 14.....	58
Figura 43: Exemplo com Q50 e Turbidez Baixa: rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.	59
Figura 44: Exemplo com Q50 e Turbidez Média: rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.	60
Figura 45: Exemplo com Q10 e Turbidez Elevada (650 NTU): rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14. .	61
Figura 46: Exemplo com Q10 e Turbidez Muito Elevada (1000 NTU): rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.	62
Figura 47: Distância e Acesso entre GN – STN km 14 e Áreas de Disposição Preferencial.....	66
Figura 48: Distância e Acesso entre GN – STN km 48 e Áreas de Disposição Preferencial.....	67
Figura 49: Distância e Acessos entre GN – STN km 59 e Áreas de Disposição Preferencial	68
Figura 50: Cronograma de elaboração do Projeto Executivo e Construção dos STN off-line.....	74

Tabela de Tabelas

Tabela 1: Resumo dos dados sobre os produtos químicos estudados e respectiva ecotoxicidade aguda	17
Tabela 2: Resultados dos ensaios crônicos de ecotoxicidade na barragem de Santarém.....	17
Tabela 3: Dados da Estação Fluviométrica	19
Tabela 4: Vazões observadas nos últimos 30 anos na estação 56337000.....	20
Tabela 5: Características dos sites para cada Potencial site do Sistema de Tratamento Natural Off-line	35

Tabela 6: Critérios de projeto para elaboração do projeto conceitual do STN OFF-LINE.....	43
Tabela 7: Memorial de cálculo para o canal de alimentação e as bacias de sedimentação.....	52
Tabela 8: Vazões médias calculadas nos STN off-line	54
Tabela 9: Análise de diluição do alumínio presente no lodo sedimentado em um evento de cheia do rio	63
Tabela 10: Área total estimada para a implantação das STN Off-Line	64
Tabela 11: Volume total Gerado produto dos trabalhos para a implantação das STN Off-Line	65

Apêndices

Apêndice A – Exemplos Internacionais de Implantação de STN Off-line

Apêndice B – Projeto Conceitual das Áreas de Tratamento

Apêndice C – Modelo Hidráulico Simplificado no HEC-RAS do rio Gualaxo do Norte

1 Introdução e Objetivo

Foi elaborado o relatório denominado “**Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito – Trecho 6 a 9**”, cujo objetivo foi apresentar a aplicação do Plano de Manejo de Rejeito, para 4 trechos específicos que tratam especificamente do Rio Gualaxo do Norte. Esse documento relatou o passo a passo do processo de tomada de decisão, no intuito de buscar a alternativa de manejo tecnicamente mais adequada e que gere menor impacto socioambiental. Após o processo de triagem, definição dos contextos e dos objetivos específicos, a metodologia de tomada de decisão definiu o contexto “C - Água do Rio Gualaxo”. Para o referido contexto foi identificada a necessidade de redução da turbidez nos Trechos 6 a 9 do Rio Gualaxo do Norte (Figura 1), necessidade a qual se tornou o principal objetivo específico deste contexto, juntamente com a restauração da biodiversidade aquática e a restauração do uso da água.

Considerando que a turbidez e cor das águas nos trechos referidos se devem à ressuspensão das frações finas do material detrítico, que constitui o denominado “Depósito Indiscriminado de Calha”, devido ao constante movimento de remobilização pelo fluxo normal das águas do rio Gualaxo do Norte, conclui-se que enquanto o material detrítico que forma este depósito não for totalmente remobilizado pelas águas do rio, o que pode ser denominado como um processo de “lavagem” dos finos, o rio Gualaxo do Norte continuará sendo a principal fonte de turbidez e cor aparente dessas águas. Desta maneira, no citado relatório foram avaliadas alternativas viáveis de tratamento da água, concluindo que a implantação de Sistemas de Tratamento Natural (STN) Off-line fornece maiores vantagens quando comparado com outras alternativas.

A redução dos níveis de turbidez no Rio Gualaxo do Norte será um primeiro passo na restauração da vida aquática no rio. Nos atuais níveis elevados de turbidez, a penetração da luz é reduzida a ponto de suprimir ou impedir significativamente o crescimento de vegetação e algas aquáticas submersas. Em um sistema saudável, a vegetação e as algas submersas se fazem presentes contribuindo para maiores níveis de oxigênio dissolvido na coluna de água oriundo da respiração das plantas e fornecendo a fonte fundamental de alimentos para organismos aquáticos. Uma pesquisa realizada evidenciou que níveis elevados de turbidez, mesmo quando abaixo do padrão de qualidade de água de 100 NTU para este rio, têm um impacto direto e mensurável na redução da produtividade primária e da densidade de macroinvertebrados que servem como principal fonte de alimento para peixes (ODEQ, 2010). Consequentemente, um dos principais objetivos deste projeto deve ser o progresso na redução dos níveis de turbidez no Rio Gualaxo do Norte abaixo do padrão de qualidade da água (100 NTU máximo durante época de seca).



Figura 1: Localização dos Trechos 6 a 9 do rio Gualaxo do Norte

Enquanto os altos níveis de turbidez no rio ainda impedem o retorno da vida aquática, os tributários que desaguam no Rio Gualaxo do Norte levam ao mesmo a vida aquática. A Figura 2 mostra algas e macroinvertebrados bentônicos em cascalhos observados em um afluente no rio Gualaxo do Norte, além de pequenos peixes que foram observados em outros pequenos afluentes. Uma vez que os níveis de turbidez sejam substancialmente reduzidos, os tributários irão ajudar a retomar a vida aquática e o restabelecimento do rio.



Figura 2: Cascalho coletado de um tributário no rio no Km 48 GN-STN com algas e macroinvertebrados bentônicos na rocha.

Como indicado anteriormente, visando promover a redução de turbidez na zona de impacto de forma acelerada, a solução técnica identificada como a mais apropriada para os trechos 6 até 9 no rio Gualaxo do Norte é a implantação sequencial de Sistemas de Tratamento Natural (STN) *off-line*. Esta tecnologia fornecerá uma melhora na qualidade da água com relação à turbidez, além de mitigar e evitar a propagação dos sedimentos e seu consequente aporte no reservatório UHE Risoleta Neves (Candongá).

2 Conceito do STN – Sistema de Tratamento Natural

Com relação aos **STN off-line**, existem dois tipos de alternativas para o tratamento de sedimentos suspensos. A primeira caracteriza-se por elevados tempos de detenção em grandes reservatórios, sendo que a segunda alternativa, por meio de adição de floculantes e coagulantes, possibilita a diminuição dos tempos de detenção e, como consequência, permite a implantação de reservatórios de pequenas dimensões. Considerando a geomorfologia do terreno, observou-se a impossibilidade de implantar grandes reservatórios ao longo do rio Gualaxo do Norte, optando-se pela segunda alternativa. Este tipo de tecnologia permite um trabalho em série com wetlands, as quais realizam o polimento final da água, melhorando a qualidade da mesma antes de ser vertida nos corpos hídricos. Esta alternativa é considerada amplamente viável e tem sido implementada com sucesso em diversas partes do mundo para tratamento da água, conforme apresentado no Apêndice A.

Na Figura 3, é apresentado um esquema do STN Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte, sendo que maiores detalhes do funcionamento do mesmo serão fornecidos na Seção 6.



Figura 3: Esquema do STN Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte

Os STN off-line, visam a continuidade da vida aquática, dessa forma, uma parte da vazão do rio será desviada para o tratamento e parte não será desviada para o processo de tratamento. Dentre a parcela encaminhada para tratamento, uma pequena porção será tratada com processos naturais nas wetlands, e a porção restante será tratada com coagulantes e floculantes, e posteriormente filtrada nas wetlands a fim de remover a turbidez. A vazão combinada da água tratada apenas nas wetlands, quando misturada com a vazão tratada nas bacias de sedimentação com adição de coagulantes e floculantes e nas wetlands, alcançará uma turbidez consideravelmente inferior a 100 NTU. Desta maneira, quando a água combinada e tratada é misturada com a água que permanece no rio, a turbidez total da mistura será menor que 100 NTU.

Exemplificando, se a turbidez do rio for de 300 NTU e a vazão de 6 m³/s, podem ser encaminhados pela estrutura de desvio 5 m³/s ao sistema de tratamento e permitir que 1 m³/s permaneça no rio com o intuito de dar continuidade à vida aquática a jusante do processo de tratamento. Dos 5 m³/s que são desviados para tratamento, apenas 1 m³/s poderá ser encaminhado através das wetlands e rapidamente retornado ao rio, tendo mínimo contato com baixos níveis de químicos residuais que estão nas wetlands. As concentrações remanescentes de coagulantes e floculantes estarão abaixo das concentrações de toxicidade aguda e crônica admissíveis para a vida aquática, de modo que a vida na água que flui através das wetlands não será afetada. A redução da turbidez nas wetlands será na

ordem de 300 NTU a 200 NTU para a parcela de 1 m³/s do rio. Os 4 m³/s restantes serão tratados com coagulantes e floculantes, passarão pelas bacias de sedimentação e serão então descarregados nas wetlands para polimento final. A turbidez dos 4 m³/s será reduzida de 300 NTU para aproximadamente 25 NTU. Desta maneira, a turbidez nas wetlands, considerando a mistura dos 4 m³/s de água totalmente tratada e a parcela de 1 m³/s de vazão que será tratada apenas pelas wetlands, estará na ordem de 70 NTU. Finalmente, os 5 m³/s já combinados, que fluem das wetlands para o rio, serão misturados com 1 m³/s de água que permanece no rio e resultará na turbidez do rio de 100 NTU.

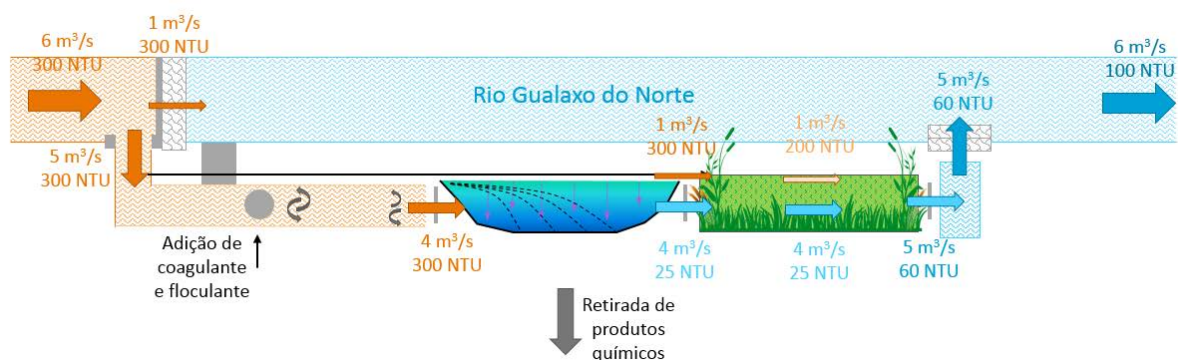


Figura 4: Exemplo do funcionamento do STN Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte

Uma vantagem significativa deste processo de tratamento que divide a vazão em parcelas e realiza o tratamento off-line, é que 1/6 do rio nunca é desviado para tratamento, 1/6 do rio é tratado nas wetlands sem nenhum tipo de adição química, desta maneira 1/3 da vazão total do rio permanece com uma pureza que pode suportar a vida aquática sem preocupação com a toxicidade que ocorre quando produtos químicos são adicionados à totalidade da vazão do rio. Além disso, as wetlands amortecem ainda mais os efeitos da ecotoxicidade da água tratada quimicamente, fornecendo um viveiro para a vida aquática que se reproduz e cresce nas wetlands antes de retornar ao rio. O objetivo é que a parcela da água, que é tratada quimicamente, recupere a vida ao passar pelas wetlands. Desta maneira, o impacto ambiental que produz o tratamento mediante utilização de concentrações de produtos químicos, é minimizado por meio da utilização de um sistema que divide as vazões em parcelas, adicionalmente o tratamento químico é realizado off-line.

As parcelas de água, aquela que não é desviada para tratamento, a parcela que só recebe tratamento nas wetlands, e a porção que recebe tratamento completo com coagulantes e floculantes mais wetlands, mudarão continuamente com base nos níveis de turbidez do rio e na vazão. Durante a estação seca, quando as vazões e a turbidez são menores, o uso total de produtos químicos passa ser reduzido, isso porque as parcelas da vazão total do rio que ultrapassa o tratamento sem ser desviada e a parcela do rio que só recebe tratamento nas wetlands poderão aumentar. Portanto, a porcentagem do rio que se encontra exposta a concentrações de coagulantes e floculantes será minimizada a todo momento, para atingir os níveis de turbidez alvo com maior uso do tratamento natural nas wetlands e o um mínimo uso do tratamento químico.

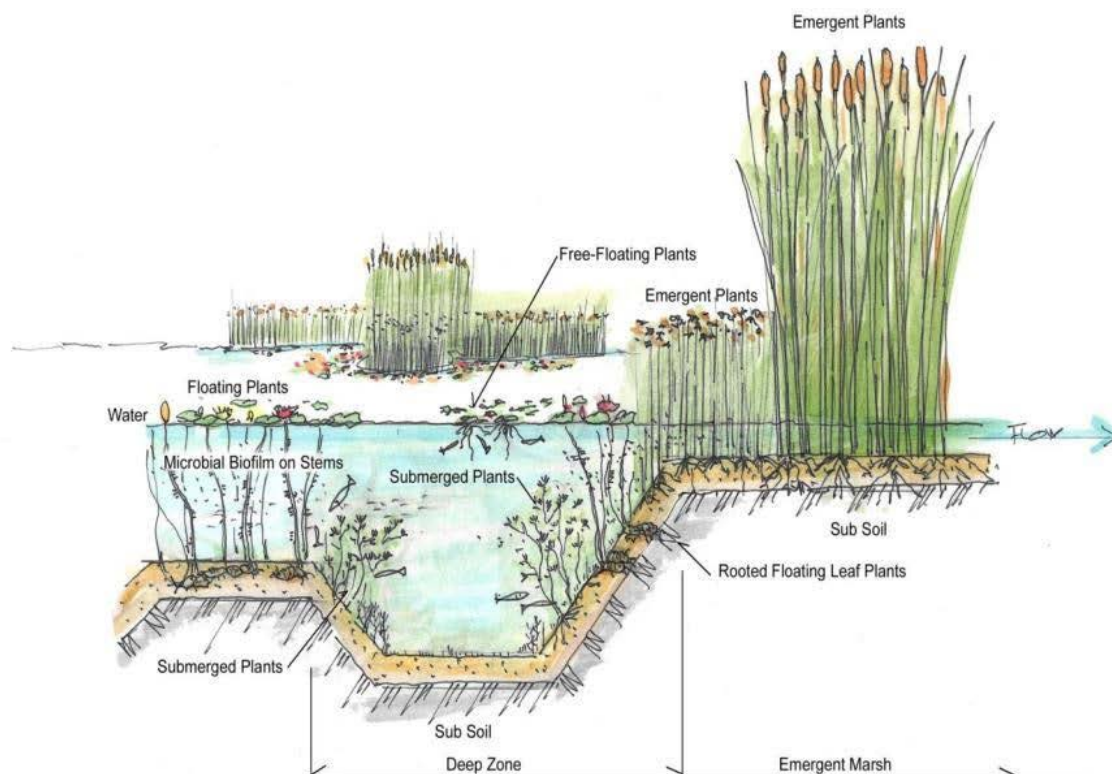
Durante as visitas a campo, foram identificadas 7 áreas de planície aluvionar que demonstram ser adequadas para a implantação dos locais de STN off-line. Quanto maior o número de sites que forem implantados, menor será a parcela de vazão que deve ser desviada e tratada com produtos químicos em cada um deles. Com a implantação do maior número possível de sites, o alvo da turbidez poderia ser atingido em uma maior faixa de vazões e níveis de turbidez, e como consequência, a maior parte do rio não exigiria tratamento com produtos químicos. Em decorrência disso, ocorreria a preservação da vida aquática de forma a restaurar rapidamente a saúde do rio e retorno da biota.

A construção de pelo menos 3 locais de STN off-line, um deles localizado a montante, outro na porção central e um terceiro próximo da confluência com o Rio Carmo, garante o tratamento ao longo do rio. O tratamento do rio em 3 pontos distintos, permite que cada local atinja metas de turbidez e a restauração ocorra mais rapidamente.

Resumidamente, a parcela de vazão com tratamento com produtos químicos no STN off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte será encaminhada a um processo composto por três fases principais nas quais será realizado o procedimento de redução da turbidez até os valores admissíveis e esperados. A primeira fase será no canal de alimentação, onde será realizada a dosagem de químicos, para favorecer o processo de sedimentação por meio do adensamento das partículas. Os floculantes possuem a particularidade de conseguir remover argila, matéria orgânica e cor em até algumas horas. A esta mistura de produtos químicos pode ser adicionada alcalinidade, isto dependerá do pH da água do rio.

Após o processo de mistura no canal de alimentação, a água será transferida para a segunda fase nas bacias de sedimentação, onde acontecerá a sedimentação dos flocos formados no processo de coagulação e floculação. A área disponível para a bacia de sedimentação é um dos fatores que condiciona a vazão total a ser tratada, sendo assim, foi selecionada a maior área disponível, a fim de tratar a maior vazão possível. Além da área disponível, a taxa de escoamento superficial ou velocidade de sedimentação é um outro fator essencial na hora de determinar a vazão que poderá ser tratada. Os sólidos sedimentados, os quais carregam os químicos adicionados, são removidos de forma direta nessas bacias, evitando assim o descarte nos rios.

Finalmente, a última fase de polimento e tratamento da água que acontecerá nas wetlands, as quais contarão com espécies de plantas aquáticas nativas. Estas atuam como filtros finais, aderindo nas plantas e sedimentando nas zonas rasas, as partículas não sedimentadas previamente.



Detailed Section

Figura 5: Seção transversal de uma *wetland* – Elevada densidade de vegetação que atuam como filtros.

De forma resumida, pode-se concluir que os STN off-line propostos possuem as seguintes vantagens:

- **Tratamento distribuído ao longo do rio** - A implementação de diferentes STN resulta em uma diminuição da turbidez ao longo do rio e não apenas num ponto a jusante. Além disso, fornece a possibilidade de tratamento em áreas a montante onde pode ser tratada a vazão em tempo seco e chuvoso. Um benefício adicional de implantar STN em série, é a mitigação do impacto ambiental ocasionado por ações de remediação a montante de cada uma delas, evitando a propagação do impacto a jusante. Outra vantagem de possuir diversos locais de tratamento, é que permite diminuir a parcela do rio direcionada para tratamento químico, desta maneira, o impacto da ecotoxicidade pode ser distribuído em pequenas doses, permitindo a recuperação da vida ao longo do rio de forma mais acelerada.
- **Pequenas áreas de represamento a montante da estrutura de desvio** - As estruturas são localizadas a jusante de áreas com grandes declividades ou gargantas naturais, evitando grandes represamentos e mantendo a geomorfologia natural do rio. O tratamento será localizado nas planícies aluvionares e *wetlands* naturais históricas nas margens do rio. As *wetlands* serão projetadas para serem inundadas em grandes eventos com tempos de retorno de 5 anos ou mais, de modo que a capacidade de transporte de vazão do rio não seja diminuída e nem impactada pela implantação das unidades de tratamento. No futuro, com o rio recuperado e o tratamento não sendo mais necessário, as *wetlands* podem permanecer para restaurar de forma acelerada a vida aquática aos níveis que existiam anteriormente.
- **Tratamento off-line** - O descarte de produto químico nas *wetlands* e no rio é praticamente nulo e inofensivo para a vida aquática, visto que os mesmos são retirados nas bacias de sedimentação. No caso, de algum residual ser transferido às *wetlands*, essas áreas irão filtrar o excedente evitando o descarte no rio. O tratamento off-line também reduz o impacto ambiental gerado durante a construção, já que apenas a estrutura de desvio é construída no rio, sendo as demais estruturas construídas nas planícies de inundação.
- **Funcionamento por gravidade** - As estruturas de desvio serão localizadas em áreas elevadas a montante das planícies de inundação evitando a inclusão de sistemas de bombeamento, minimizando os custos de operação, manutenção e o impacto durante a construção.
- **Custo reduzidos de construção, operação e demanda de energia** – Os custos de construção são reduzidos devido à pequena infraestrutura de concreto a ser implantada, e como consequência redução no custo operacional, sendo possível a implementação de soluções sustentáveis que possam ser incorporadas como um benefício adicional ao proprietário. Em função desses aspectos, o tempo de implementação é reduzido, possibilitando o comissionamento em 4 meses.
- **Reprodução de ambientes naturais** - As *wetlands* trabalham como filtros e atuam como viveiros para plantas nativas e vida aquática, as quais são liberadas para o rio em conjunto com a água tratada.
- **Processo de descomissionamento simples** - Devido ao processo de construção ser simples e com poucas estruturas de concreto, maximizando o aproveitamento da geomorfologia natural, o processo de descomissionamento é considerado simples, existindo a possibilidade de reutilização das estruturas e bacias por parte dos proprietários para serem utilizadas como sistemas de irrigação, cultura de peixes, entre outros.

No presente relatório é apresentado do Projeto Conceitual de três STN off-line identificados como viáveis ao longo do rio Gualaxo do Norte. O design apresentado deverá ser aprimorado durante a

etapa de projeto executivo, o qual fornecerá as informações necessárias para a construção dos mesmos.

3 Regulamentação Ambiental Aplicável e Parâmetros de Estudo

3.1 Regulamentação sobre padrões de qualidade de águas

Para a esta etapa de concepção dos STN off-line de água propostos, limitou-se o levantamento de regulamentação ambiental aplicável apenas à qualidade de águas superficiais. Desta forma, foram identificados dois instrumentos legais:

- **Resolução CONAMA Nº357, de 17 de Março de 2005**

“Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.”

- **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008**

“Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.”

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1/2008 é aplicada no âmbito do Estado de Minas Gerais e corresponde à Resolução CONAMA Nº357/2005, esta última de âmbito federal. De acordo com esses documentos, a classificação das águas deve ser avaliada por condições e padrões específicos, de forma a assegurar níveis de qualidade e usos preponderantes e o enquadramento dos corpos de água, um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, deve “estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade” (Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1/2008).

Quanto ao enquadramento dos trechos do rio, escopo deste trabalho, de acordo com o “Relatório Técnico – Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce Após o Rompimento da Barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG”, de 1 de Fevereiro de 2016, publicado pelo IGAM: “as águas do Rio Doce não possuem proposta de enquadramento aprovada”. Conforme estabelecido tanto pelo artigo 42º da Resolução CONAMA nº 357/05 e artigo 37º da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08: “Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2”. Portanto, para as premissas deste projeto, as águas do rio Gualaxo do Norte, afluente da bacia do Rio Doce, pertencem a águas doces de Classe 2.

Ambos os instrumentos legais citados definem águas doces como “águas com salinidade igual ou superior a 0,5 ‰”. Para as águas doces de Classe 2, os parâmetros relacionados à concepção dos sistemas de tratamento deste projeto e seus respectivos limites são:

- i. Turbidez: até 100 UNT;
- ii. Sólidos em suspensão totais: 100 mg/L;
- iii. Sólidos dissolvidos totais: 500 mg/L;
- iv. Cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;
- v. Sulfato total: 250 mg/L SO₄;

vi. Alumínio dissolvido: 0,1 mg/L de Al.

Dentre os parâmetros citados acima, ressalta-se que a turbidez seria o parâmetro diretamente relevante para o objetivo da concepção proposta, sendo que os outros importam de forma indireta no tratamento e descarte.

Entretanto, segundo o Termo de Transição e de Ajustamento de Conduta, assinado em 2 de março de 2016, sobre o evento do rompimento da barragem do Fundão ocorrido em 5 de novembro de 2015, dispõe sobre o limite de turbidez:

“CLÁUSULA 157: As medidas descritas nos PROGRAMAS terão por objetivo reduzir gradativamente a turbidez dos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, até a UHE Risoleta Neves, para níveis máximos de 100 (cem) NTU na estação seca, no prazo definido de acordo com os estudos estabelecidos na CLÁUSULA 150, observado o prazo máximo de 3 (três) anos.”

3.2 Estudos de Ecotoxicidade Existentes

Quanto à toxicidade de substâncias químicas adicionadas às águas para tratamento da turbidez, de acordo com o relatório da APLYSIA Soluções Ambientais preparado para Samarco denominado “Avaliação dos Possíveis Efeitos do Uso Contínuo de Floculantes e Coagulantes no Ambiente - Relatório Final - Relatório Técnico nº 836/2017 - Revisão 00”, o qual se encontra no momento de realização do presente projeto em processo de revisão interna por parte da Fundação Renova, foram estudados possíveis agentes coagulantes ou floculantes, e a combinação dos mesmos, que seriam aplicáveis nas soluções propostas neste projeto conceitual. Mesmo sendo o referido estudo realizado com uma outra finalidade, os resultados obtidos servem como base e ponto de partida para entendimento do impacto na ecotoxicidade dos diferentes floculantes e coagulantes avaliados. Testes de bancada deverão ser elaborados na etapa de projeto executivo para determinar a combinação de concentrações ótimas e o remanescente na água tratada a fim de evitar agregar toxicidade ao ambiente.

Segundo o Guia Técnico do Manual de Produtos Químicos da CETESB¹: “A ecotoxicologia preocupa-se com o estudo das ações e efeitos nocivos de agentes físicos e químicos presentes no meio ambiente sobre os constituintes vivos dos ecossistemas, tendo como principal finalidade avaliar o risco resultante da presença de tais agentes”.

No meio aquático, para a avaliação da toxicidade de agentes ou da mistura de agentes tóxicos, geralmente se utiliza uma população homogênea, como organismo-teste, para a determinação da concentração responsável por um efeito tóxico. Usualmente, por motivos técnicos e econômicos, são escolhidas espécies representativas de diferentes níveis tróficos (como algas, crustáceos, moluscos e peixes).

O Guia Técnico da CETESB lista alguns parâmetros comumente usados para exprimir toxicidade, entre eles a “Concentração Efetiva – CE”, definida como:

“CE₅₀ – Concentração Efetiva 50: exprime a toxicidade a curto prazo de uma substância que por inalação em condições bem definidas afeta 50% de um grupo de seres vivos em teste, mencionando-se também a duração da exposição ao agente tóxico.”

¹ Manual de Produtos Químicos da CETESB. O manual é composto de um Guia Técnico e 879 Fichas de Informação de Produto Químico. Disponível em: <http://emergenciasquimicas.cetesb.sp.gov.br/manual-de-produtos-quimicos/>

O estudo da APYSIA (2017) teve como objetivo geral determinar se a utilização de floculantes e coagulantes combinados é causador potencial de efeitos crônicos, a longo prazo, em organismos aquáticos. Este estudo teve três etapas: avaliação da ecotoxicidade individual de cada produto, avaliação dos produtos combinados e ensaios na Barragem Santarém, *in situ*, dos produtos selecionados. O estudo ressalta a ausência de informações referentes aos efeitos crônicos em organismos aquáticos. A Tabela 1 mostra o levantamento da ecotoxicidade aguda de 10 produtos selecionados pelo estudo.

Tabela 1: Resumo dos dados sobre os produtos químicos estudados e respectiva ecotoxicidade aguda

Categoria	Identificação	Características	Ecotoxicidade Aguda (CE ₅₀)
Coagulante	Flonex 4540	Líquido incolor levemente amarelado	10 – 100 mg/L
	Superfloc C577	Líquido amarelo viscoso	10 – 100 mg/L
	Sulfato de Alumínio Ferroso	Sólido granulado marrom/ cinza	Não disponível
	Policloreto de Alumínio PAC12	Líquido âmbar pouco viscoso	282,8 mg/L
	Policloreto de Alumínio PAC18	Líquido âmbar pouco viscoso	282,8 mg/L
	Tanfloc SG	Líquido castanho escuro	13,2 mg/L
Floculante	Flonex 934 VHM	Sólido branco granulado	>100 mg/L
	Flonex 920 SHR	Sólido granular	>100 mg/L
	Superfloc A100S	Sólido creme	>100 mg/L
	Superfloc N100	Sólido branco	>100 mg/L

Fonte: APLYSIA, 2017.

Em relação à ecotoxicidade crônica, o relatório aponta os seguintes resultados para organismos de 3 níveis tróficos, de acordo com ensaios realizados na Barragem Santarém. Contudo, o estudo sugere que as concentrações reportadas não são compreendidas como a dose máxima de aplicação, mas que sejam consideradas como referência de carga residual dos produtos no ambiente, ou seja, que poderiam interagir com a biota aquática.

Os resultados abaixo correspondem à concentração que causa efeito em 10% dos organismos (CE₁₀) ou ao valor crônico estimado (VC), calculado sob a CE₁₅ gerada em ensaio de avaliação da mortalidade dos peixes.

Tabela 2: Resultados dos ensaios crônicos de ecotoxicidade na barragem de Santarém

Categoria	Produto	Ecotoxicidade Crônica		
		<i>Danio rerio</i> VC	<i>Ceriodaphnia dubia</i> CE ₁₀	<i>P. subcapitata</i> CE ₁₀
Coagulante	Flonex 4540	0,048 mg/L	0,32 mg/L	0,078 mg/L
	Superfloc C577	0,032 mg/L	0,15 mg/L	0,33 mg/L
	Tanfloc	1,72 mg/L	5,76 mg/L	1,6 mg/L
	Sulfato de Alumínio Ferroso	3,45 mg/L	10,66 mg/L	5,61 mg/L
	Policloreto de Alumínio – PAC12	138 mg/L	124 mg/L	8,13 mg/L

Categoria	Produto	Ecotoxicidade Crônica		
		<i>Danio rerio</i> VC	<i>Ceriodaphnia dubia</i> CE ₁₀	<i>P. subcapitata</i> CE ₁₀
	Policloreto de Alumínio – PAC18	34,5 mg/L	25,92 mg/L	2,34 mg/L
Floculante	Flonex 920 SHR	17,25 mg/L	33,73 mg/L	98,49 mg/L
	Flonex 934 VHM	17,25 mg/L	0,36 mg/L	166,56 mg/L
	Superfloc A100S	17,25 mg/L	6,89 mg/L	38,28 mg/L
	Superfloc A100S	862,5 mg/L	343,3 mg/L	75,2 mg/L

Fonte: APLYSIA, 2017.

Para a avaliação de produtos combinados, estudou-se um ponto a montante da UHE Candonga, compreendida no Rio Doce, concluindo-se que:

- Isoladamente os coagulantes (ecotoxicidade crônica entre 0,032 e 138 mg/L) apresentam maior potencial tóxico quando comparados com floculantes (0,36 a 862,5 mg/L).
- O Policloreto de alumínio – PAC12 – foi o coagulante com menor potencial tóxico e, em geral, os coagulantes constituídos por sais de alumínio foram os relativamente menos tóxicos.
- O Superfloc N100 foi o floculante com menor ecotoxicidade crônica.
- A combinação Superfloc C577 com o Superfloc A100S apresentou o menor risco ecológico.
- A combinação de Policloreto de alumínio (PAC12) 10 mg/L + Superfloc N100 25 mg/L não apresentou toxicidade para nenhum dos organismos expostos.
- A efetivação dos impactos sobre a biota depende da fração residual dos compostos, nesse sentido, os resultados obtidos na avaliação com amostras do ambiente indicaram que o uso não provocou incremento na ecotoxicidade frente as condições atuais do curso hídrico.
- Sugere-se que sejam realizados estudos/monitoramentos *in situ* durante a aplicação visando confirmar se a utilização da combinação de coagulante e floculante para a região não está agregando toxicidade ao ambiente.

4 Características Históricas e Atuais do rio Gualaxo do Norte

4.1 Vazões

Através do levantamento de estações fluviométricas disponíveis com histórico de dados registrados e ainda de acordo com outros relatórios de estudos hidrológicos foi identificada apenas uma estação de monitoramento com dados históricos, cuja bacia compreende o rio Gualaxo do Norte e, conseqüentemente, o trecho de interesse desse projeto de concepção. Os dados foram obtidos através do portal Hidroweb da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br>).

Os dados da estação fluviométrica considerada são os seguintes:

Tabela 3: Dados da Estação Fluviométrica

Código	56337000
Nome	FAZENDA OCIDENTE
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO LESTE (5)
Sub-bacia	RIO DOCE (56)
Rio	RIO GUALAXO DO NORTE
Estado	MINAS GERAIS
Município	BARRA LONGA
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-20:16:2
Longitude	-43:6:3
Altitude (m)	549
Área de Drenagem (km ²)	529

A área da bacia hidrográfica correspondente à Estação Fluviométrica 56337000 denominada como FAZENDA OCIDENTE, é apresentada na Figura 6.

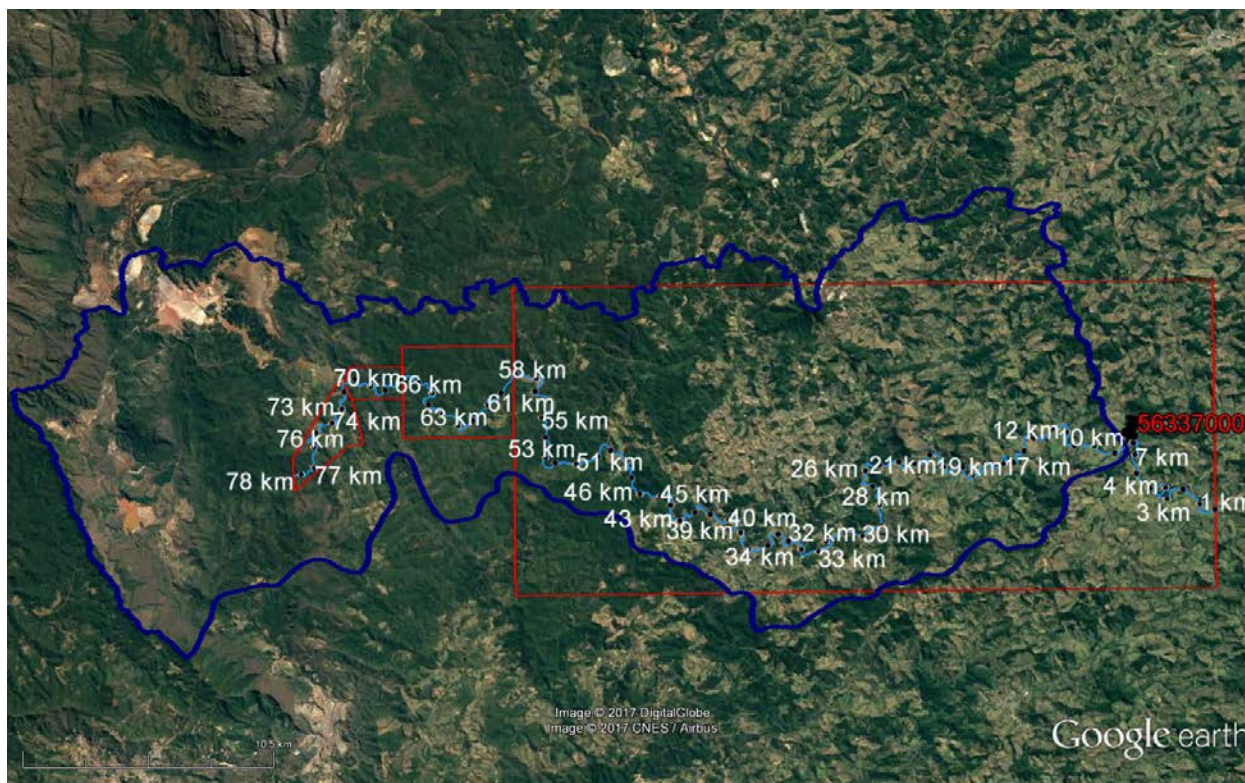


Figura 6: Localização da Estação 56337000 e bacia hidrográfica correspondente

Esta estação 56337000 compreende dados brutos de vazão de 1938 a 2005 e dados consistidos de 2008 a Abril de 2015. A vazão média da série histórica da estação é de 12,8 m³/s, enquanto que a vazão com 50% de frequência é de 9,7 m³/s. A partir da curva de permanência calculada em função dos últimos 30 anos de vazões disponíveis, Figura 7, observa-se que aproximadamente 70% das vazões ocorrem abaixo da média.

Na Tabela 4 estão apresentadas as estatísticas de vazões, enquanto na Figura 8 estão apresentadas as médias anuais calculadas para os últimos 30 anos na estação 56337000. Nessa figura, observou-se que o período de vazões baixas começa no mês de abril, estendendo-se até o mês de setembro, sendo que os meses com maiores vazões são dezembro e janeiro.

Tabela 4: Vazões observadas nos últimos 30 anos na estação 56337000

Série de vazões (m ³ /s)	
Média	12,8
Máxima	540,0
Mínima	2,2
Mediana	9,7
Q _{7,10}	4,8

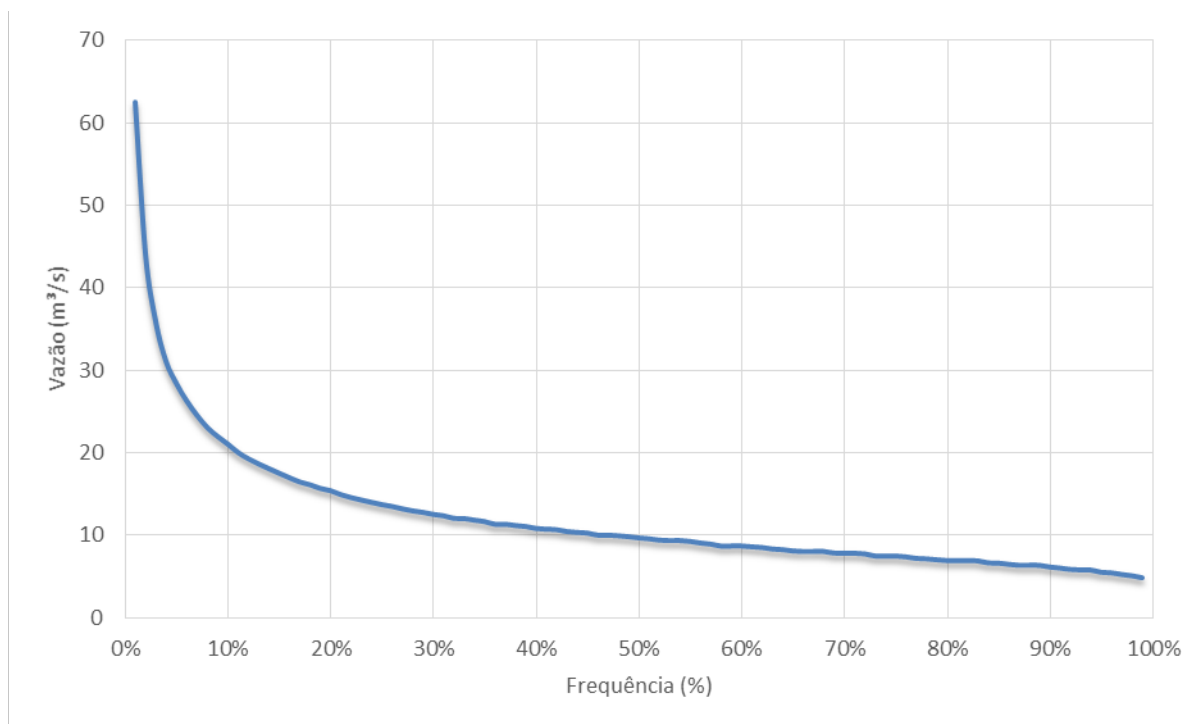


Figura 7: Curva de Permanência da Estação 56337000

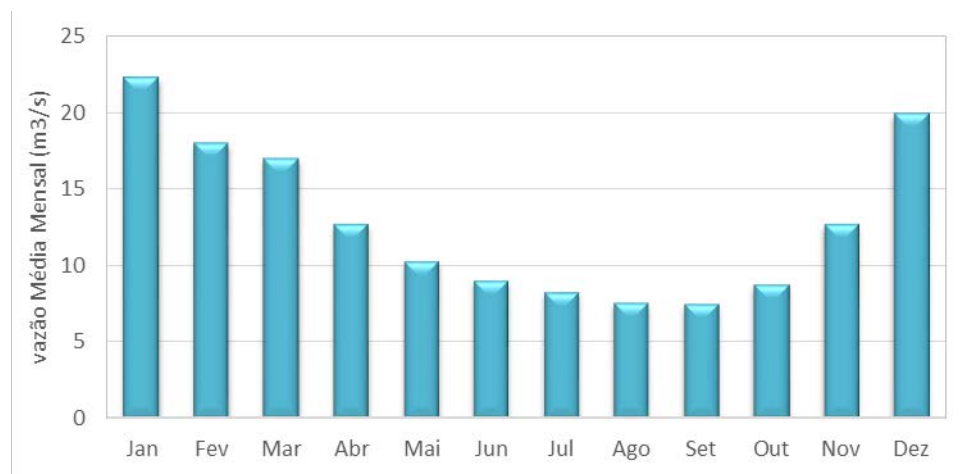


Figura 8: Vazões médias mensais da série histórica da estação 56337000

4.2 Qualidade da Água

A qualidade da água do rio Gualaxo do Norte foi dividida entre período pré-evento e pós-evento, considerando o impacto nas características da água superficial causado pelo rompimento da barragem de Fundão. Esta informação serve como base para entendimento das condições pré-evento (ou linha de base), principalmente para entender a ordem de grandeza da turbidez e a sua variação sazonal, e também das condições da qualidade da água pós-evento, ligadas ao entendimento da variação dos diferentes parâmetros de interesse de qualidade da água afluente aos STN off-line.

4.2.1 Pré-Evento - Turbidez

Os dados para análise das características de linha de base da bacia hidrográfica avaliada foram coletados do banco de dados do monitoramento da qualidade de água realizado pelo Instituto Mineiro

de Gestão das Águas – IGAM. Estes dados foram obtidos através do Portal InfoHidro do IGAM (<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/serie-historica>) e as estações de monitoramento relevantes para este estudo são:

- RD009 – estação de monitoramento a montante da confluência do rio Gualaxo do Norte e Rio Carmo
- RD071 – estação de monitoramento a jusante da confluência do rio Gualaxo do Norte e Rio Carmo

A seguir são apresentados os registros históricos disponíveis de turbidez na estação RD009 na Figura 9 entre os períodos de Julho de 1997 e Junho de 2016 (frequência mensal ou bimestral), ou seja, antes e depois do evento de rompimento da Barragem do Fundão. Observou-se que os valores médios estão na ordem de 50 NTU, sendo que o máximo observado atinge aproximadamente 420 NTU (Fevereiro de 2002). Em função disso, foram obtidas as médias mensais, conforme apresentado na Figura 10, onde observou-se que no mês de Fevereiro, época de chuvas, ocorreram os valores mais elevados de turbidez.

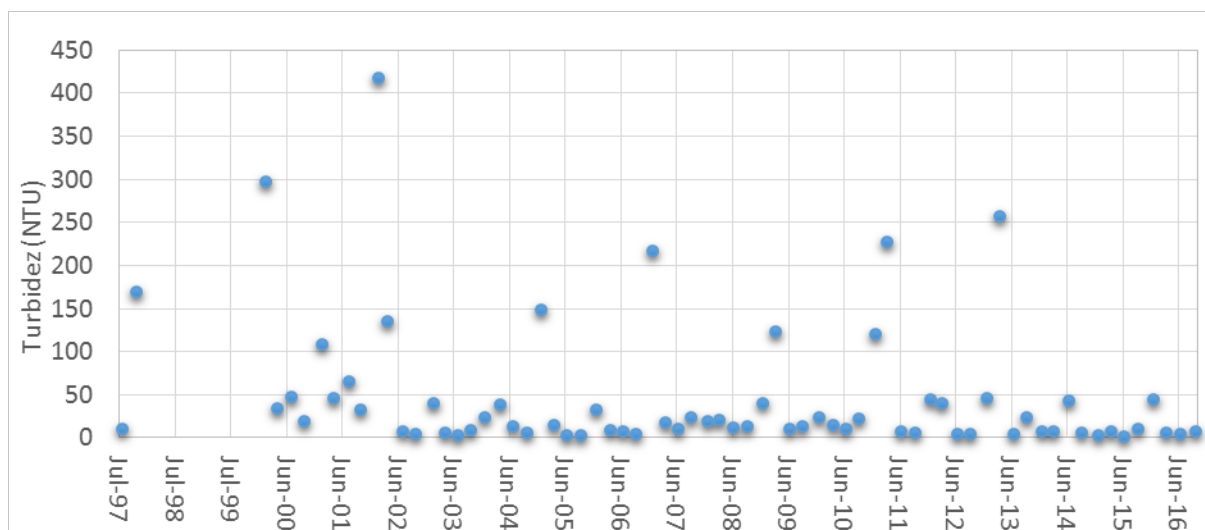


Figura 9: Dados de monitoramento histórico de turbidez no Rio do Carmo (RD009)

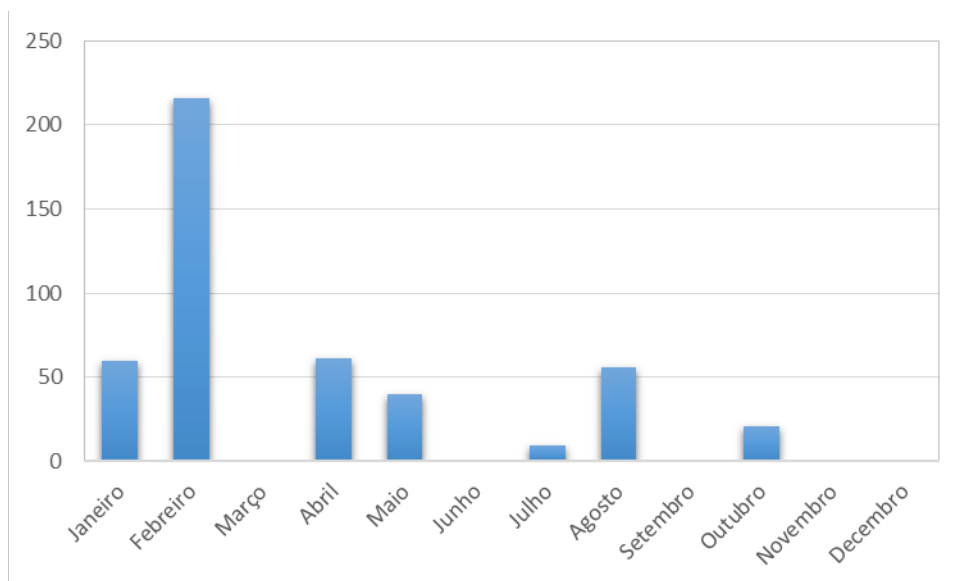


Figura 10: Médias mensais dos dados de monitoramento histórico de turbidez no Rio do Carmo (RD009)

Na Figura 11 são apresentados os registros históricos disponíveis de turbidez na estação RD072 no rio Doce entre o mês de junho de 2008 e o mês do acontecimento do evento, em novembro de 2015.

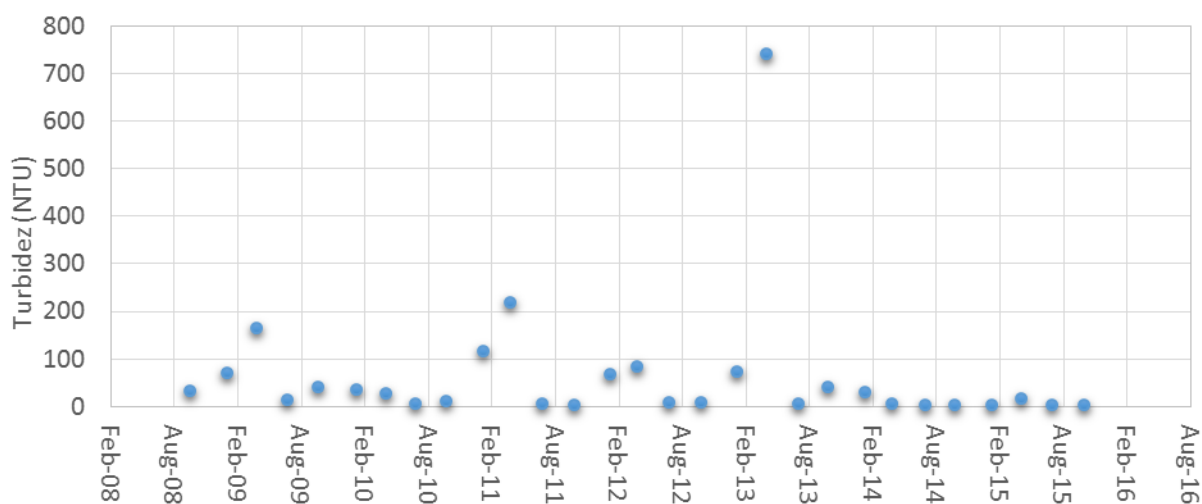


Figura 11: Dados de monitoramento histórico de turbidez no Rio Doce (RD071)

Em seguida, na Figura 12, foi calculada a frequência dos dados de turbidez nas estações para o mesmo período quando foram medidos valores abaixo de 100 NTU em aproximadamente 85% do tempo e, conseqüentemente, 15% das medições históricas estavam acima do limite legal de 100 NTU.

Foi observado que historicamente em período antes do evento de rompimento da barragem, o Rio Doce apresentou maiores valores de turbidez que o Rio do Carmo. Considerando as vazões dos dois principais tributários, entende-se que o rio Gualaxo do Norte pode ter apresentado maior turbidez.

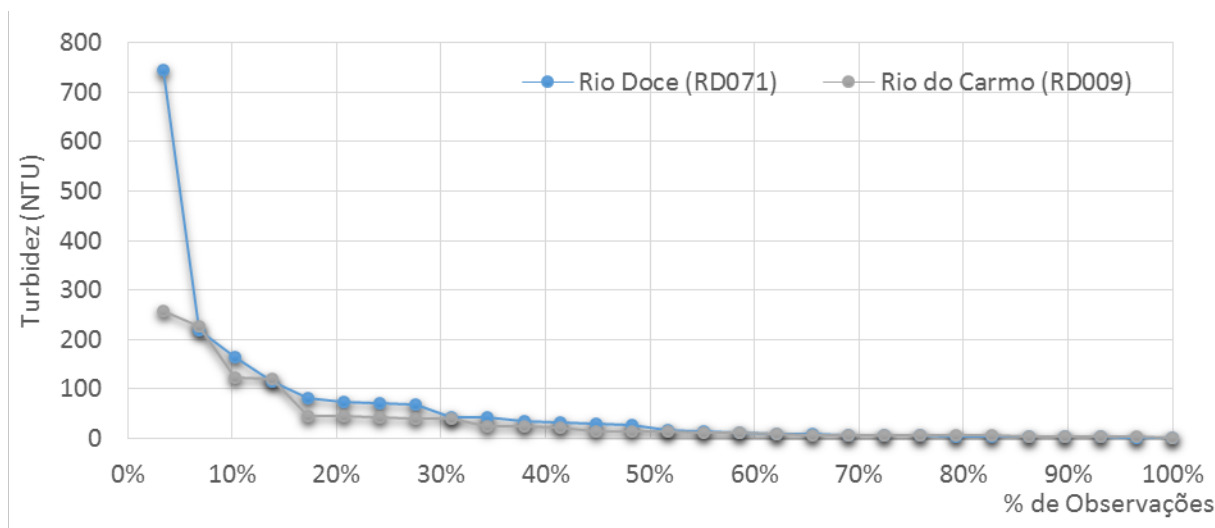


Figura 12: Análise de frequência das medições de turbidez pré-evento entre outubro de 2008 e 2015

4.2.2 Pós-Evento - Qualidade da Água

A turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte é monitorada por 6 estações automáticas de monitoramento gerenciadas pela Fundação RENOVA, sendo a localização das mesmas apresentada na Figura 13. A Figura 14 apresenta as medianas mensais por estação de abril/2016 a março/2017, onde verifica-se que os maiores valores de turbidez em todo o rio ocorreram no período chuvoso na região, sendo outubro e novembro os meses que apresentaram os picos de turbidez em todas as estações de monitoramento. Para presente caso foram consideradas as medianas, já que as médias forneciam valores distorcidos em função dos picos de turbidez observados no período chuvoso.



Figura 13: Estações de monitoramento automático de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte

Outro ponto de destaque são as medições na estação Ponte do Bucão, uma vez que esta estação registrou as medianas mais altas na maioria dos meses avaliados em comparação às outras estações. Em consequência, considera-se que existem contribuições de turbidez ao longo do rio, já que os valores de turbidez aumentam mesmo com a contribuição de tributários até a Ponte do Bucão, sendo que a jusante na estação rio Gualaxo do Norte os valores diminuem.

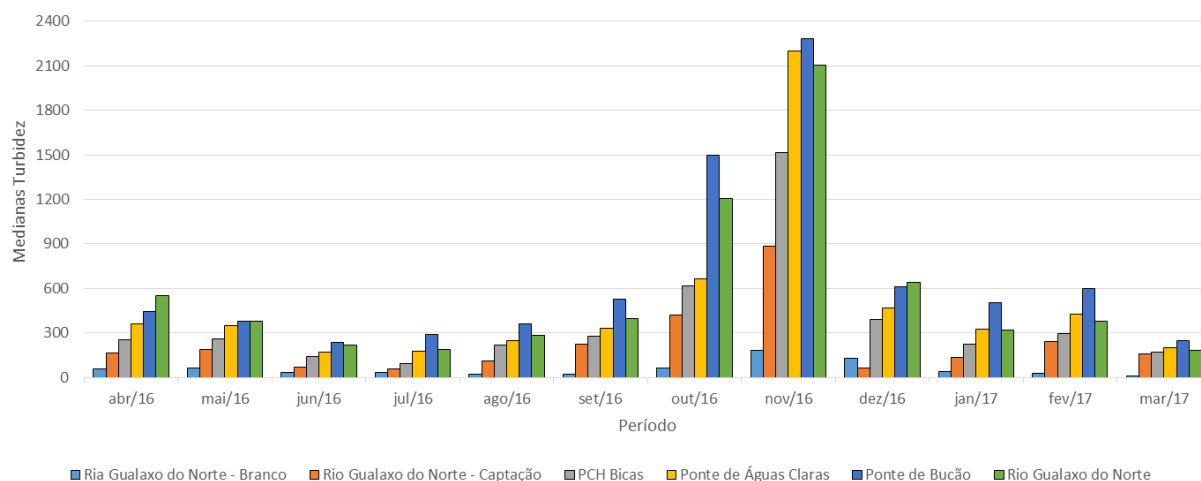


Figura 14: Variação da Turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte – mediana mensal entre Abril de 2016 e Abril de 2017

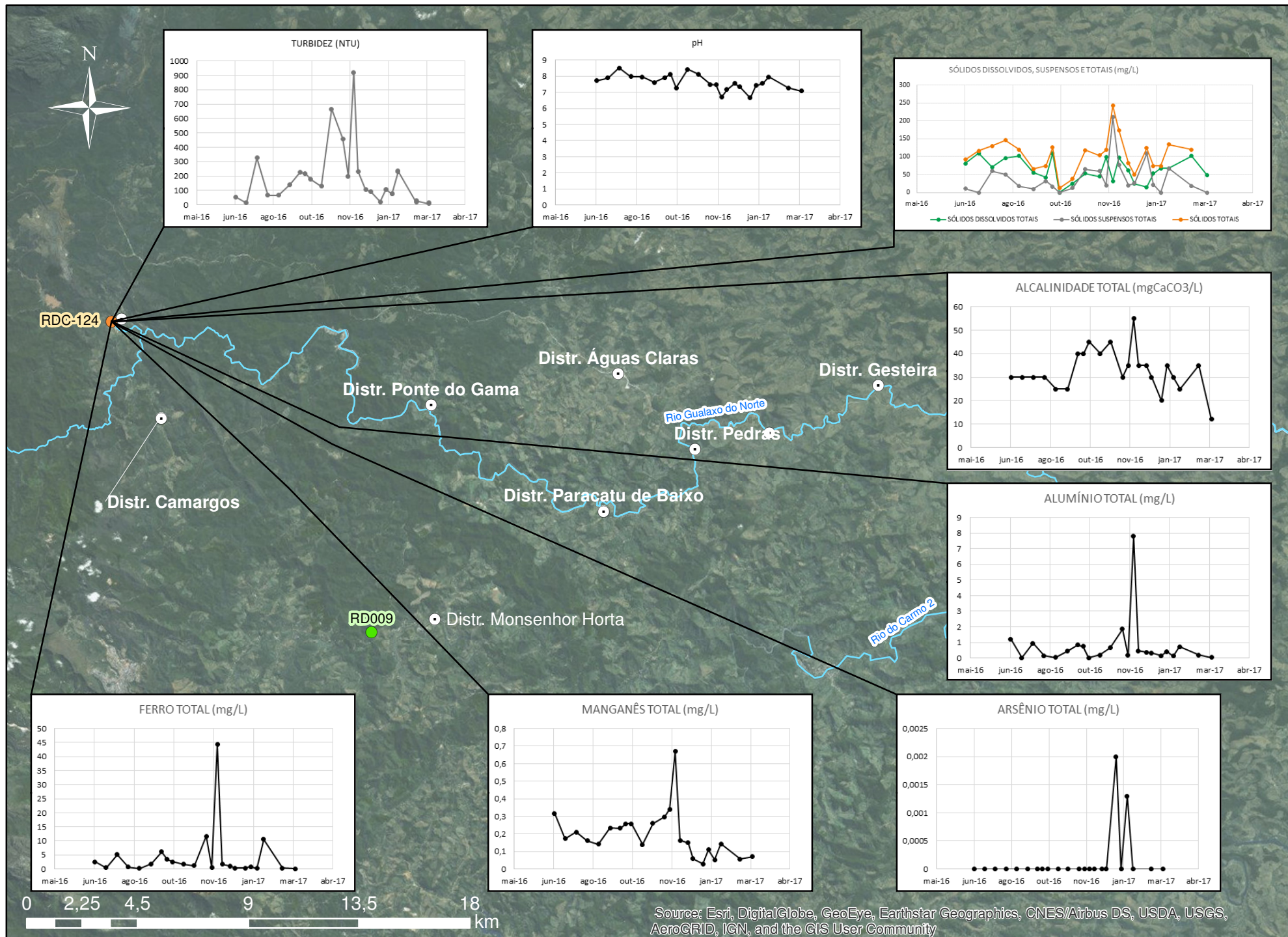
Além destas estações de monitoramento de turbidez, a qualidade de água foi analisada em diversos pontos pela SAMARCO desde o rompimento da barreira de rejeitos. Para o presente estudo foram selecionados os seguintes pontos:

- RDC-124 – localizado no rio Gualaxo do Norte próximo ao município de Bento Rodrigues a montante dos sites avaliados.
- RDC-24 – localizado no rio Gualaxo do Norte, a montante da confluência com o rio do Carmo 2.

Os parâmetros de interesse de qualidade de água superficial são:

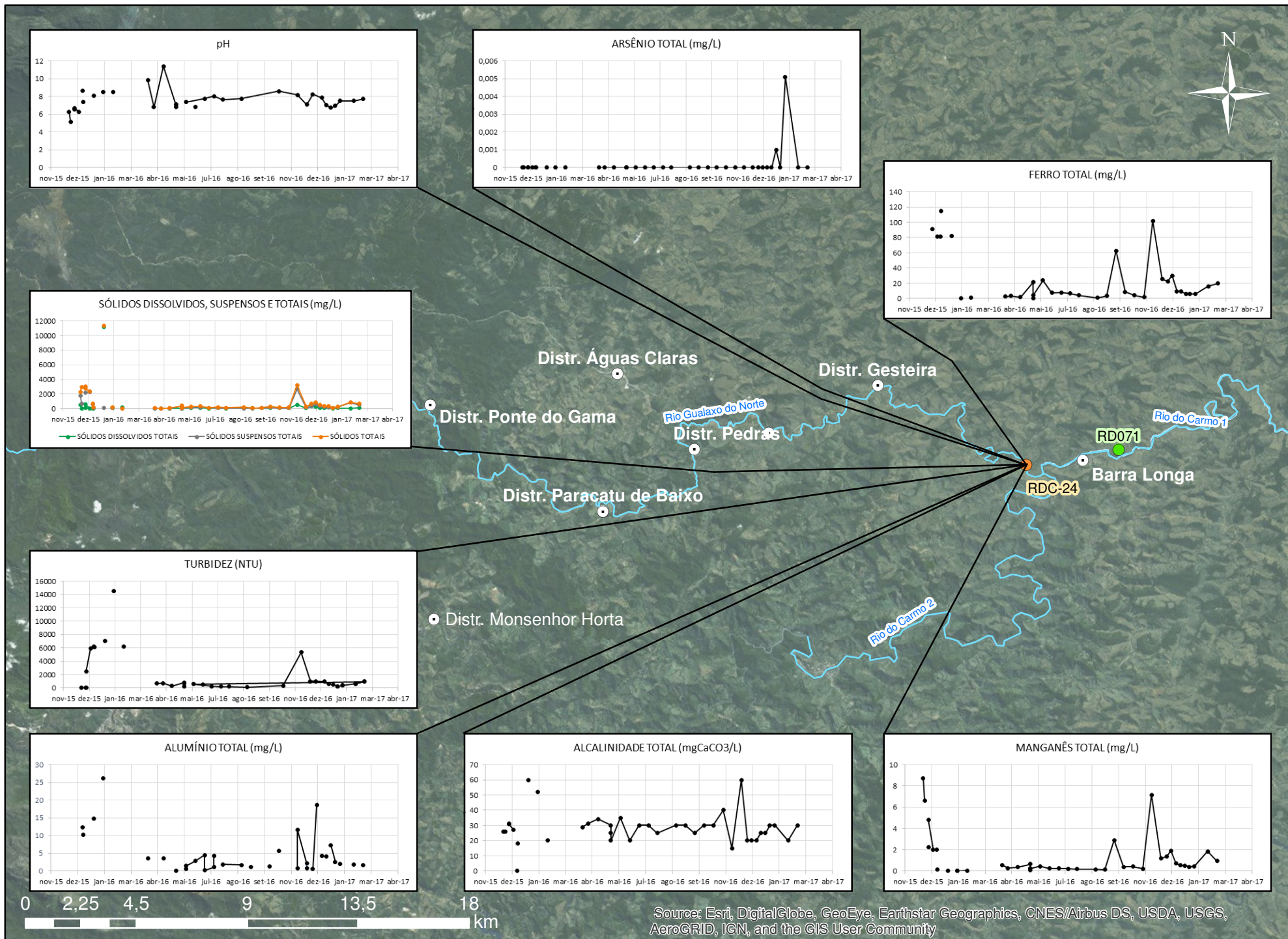
- Turbidez
- pH
- Alcalinidade
- Sólidos Totais
- Sólidos Totais Suspensos
- Sólidos Totais Dissolvidos
- Metais
- Ferro
- Manganês
- Alumínio
- Arsênio

A Figura 15 e a Figura 16 apresentam os resultados do monitoramento disponíveis entre o período de novembro de 2015 a fevereiro de 2017 para os pontos mencionados.



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 15: Qualidade da Água na Estação RDC 124



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 16: Qualidade da Água na Estação RDC 24

5 Seleção dos Locais adequados para o Sistema de Tratamento Natural Off-line

O conceito de Sistemas de Tratamento Natural (STN) off-line para reduzir os níveis de turbidez no rio Gualaxo do Norte envolve o desvio da água do rio para bacias de sedimentação e *wetlands* artificiais. Para que este conceito seja viável, deve haver uma área relativamente plana adjacente à calha do rio e o mesmo deverá estar disponível para a construção de bacias e *wetlands*. A sua vez, este terreno deve estar a uma certa elevação que permita o desvio por gravidade da água do rio para o STN off-line.

Esta seção apresenta a descrição do processo que foi feito na identificação e seleção de sites propícios para a implantação dos STN off-line.

5.1 Potenciais Locais para Implantação o STN off-line

Nos 78 km de comprimento do rio Gualaxo do Norte nos Trechos 6, 7, 8 e 9, a bacia hidrográfica é caracterizada por uma geomorfologia de íngremes montanhas e vales e um rio que possui um elevado gradiente. A declividade média do rio dentro destes trechos estudados está na ordem de 0,4% (0,004 m/m). Várias quedas ocorrem na região em que o canal está limitado por íngremes afloramentos rochosos. Nos trechos do rio com menor gradiente, em consequência do canal do rio ser pouco limitado pelas colinas adjacentes, surgem as planícies aluvionares, as quais na maioria dos casos possuem pequenas dimensões (menores de 1 ha de tamanho). Desta maneira, devido à topografia local, existem apenas alguns locais de planícies ao longo do rio que possuem tamanho suficiente para a implantação dos STN off-line.

Para o presente estudo, imagens aéreas e dados topográficos foram primeiramente avaliados, a fim de identificar potenciais locais para implantação dos STN off-line. Todos os locais identificados que eram acessíveis por estrada foram visitados, para verificar principalmente, se as condições dos mesmos eram favoráveis para as instalações dos STN off-line.

A Figura 17 apresenta um mapa geral dos sete (7) locais que foram selecionados e considerados como potenciais locais para implantação dos STN off-line. Estes locais encontram-se distribuídos ao longo dos Trechos 8 e 9 do rio Gualaxo do Norte. Os mapas de cada local mostram, a área potencial disponível para as instalações do STN off-line e a localização das estruturas de desvio de vazão (Figura 18 a Figura 24). Adicionalmente, perfis longitudinais do rio, ao longo dos trechos atingidos em cada local são apresentados na Figura 25.

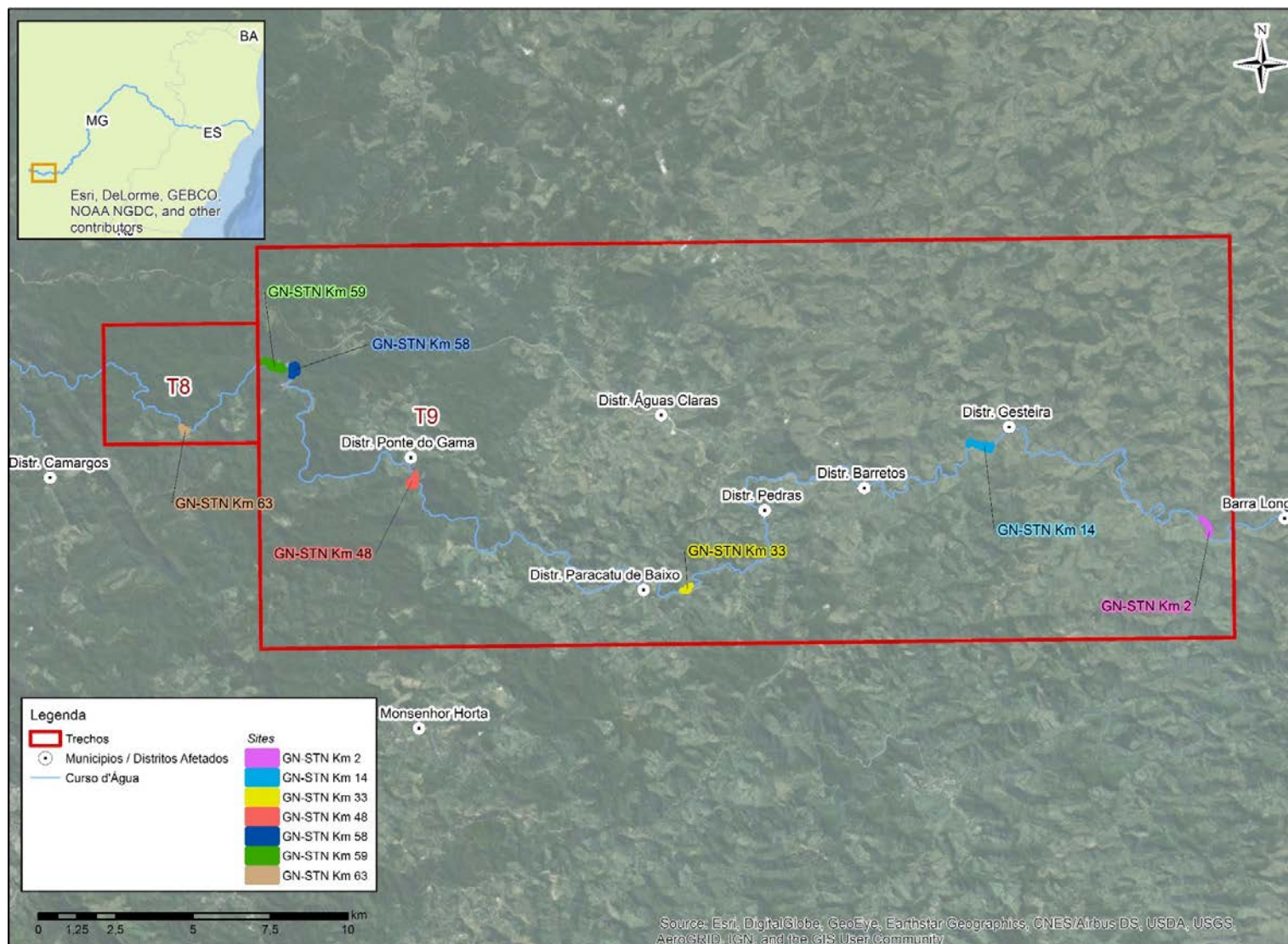


Figura 17: Localização dos potenciais locais para implantação dos STN off-line

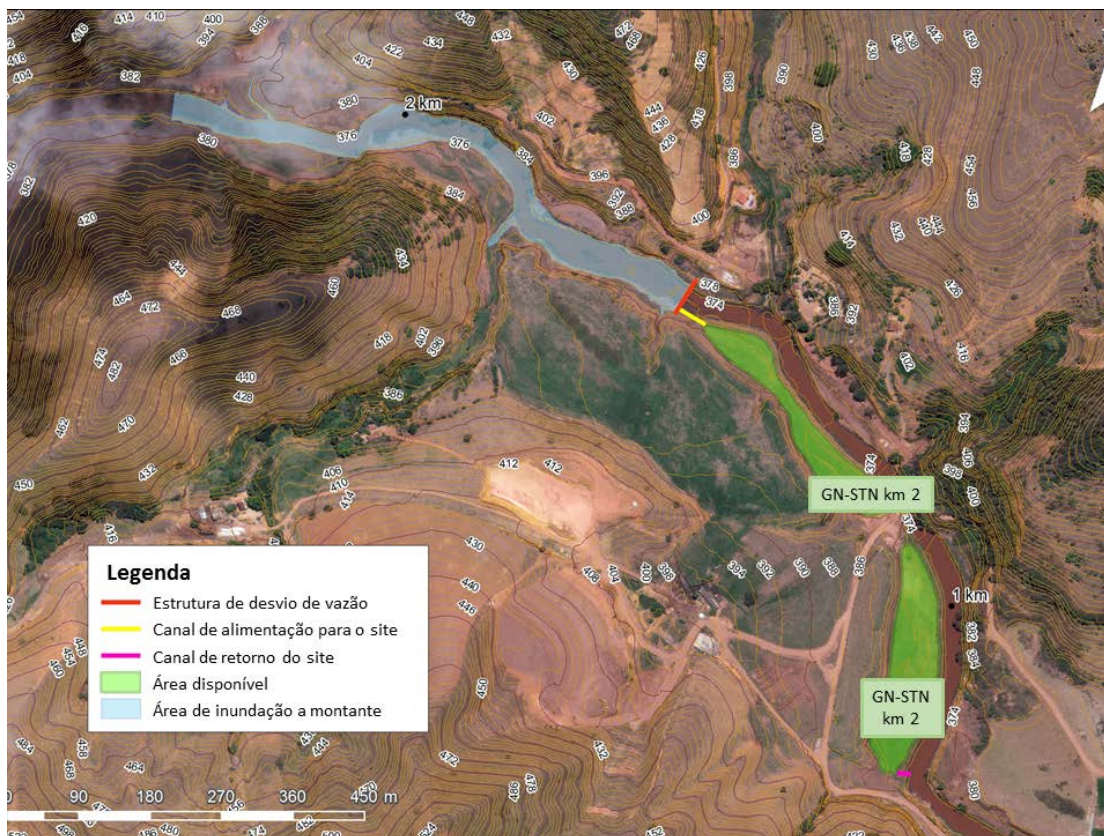


Figura 18: Potencial localização para o GN-STN km 2



Figura 19: Potencial localização para o GN-STN km 14

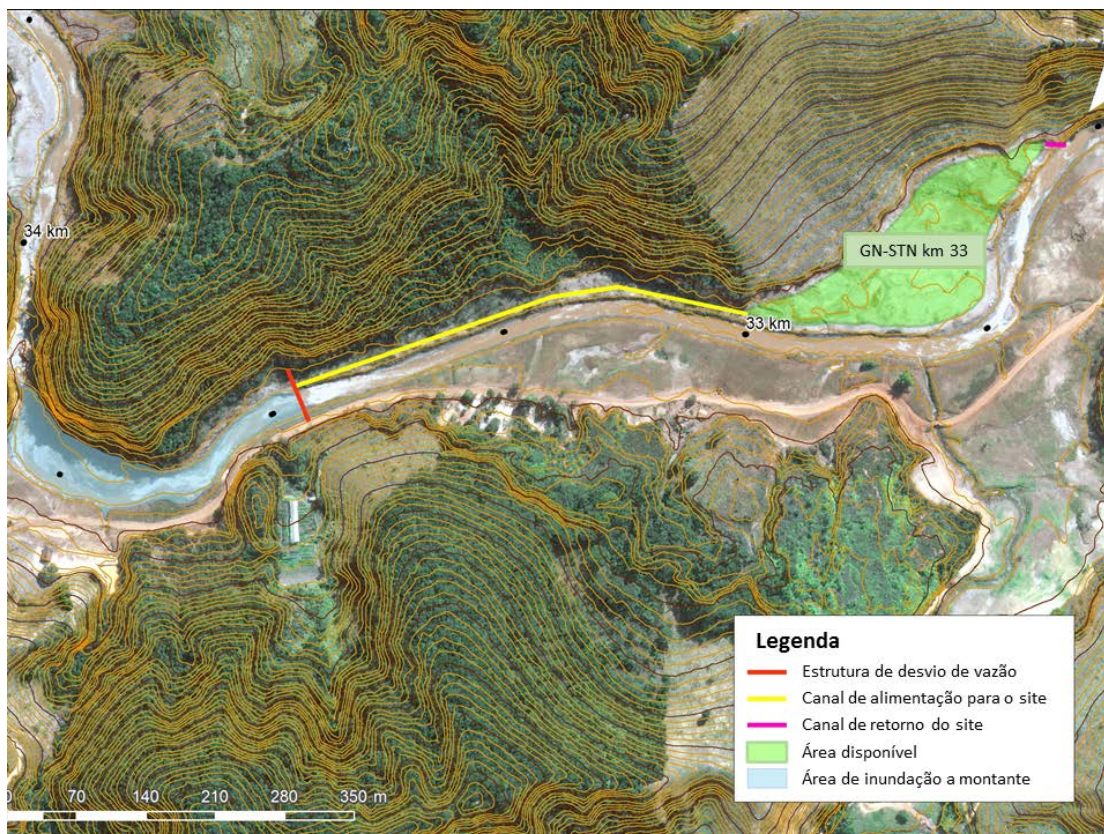


Figura 20: Potencial localização para o GN-STN km 33



Figura 21: Potencial localização para o GN-STN km 48

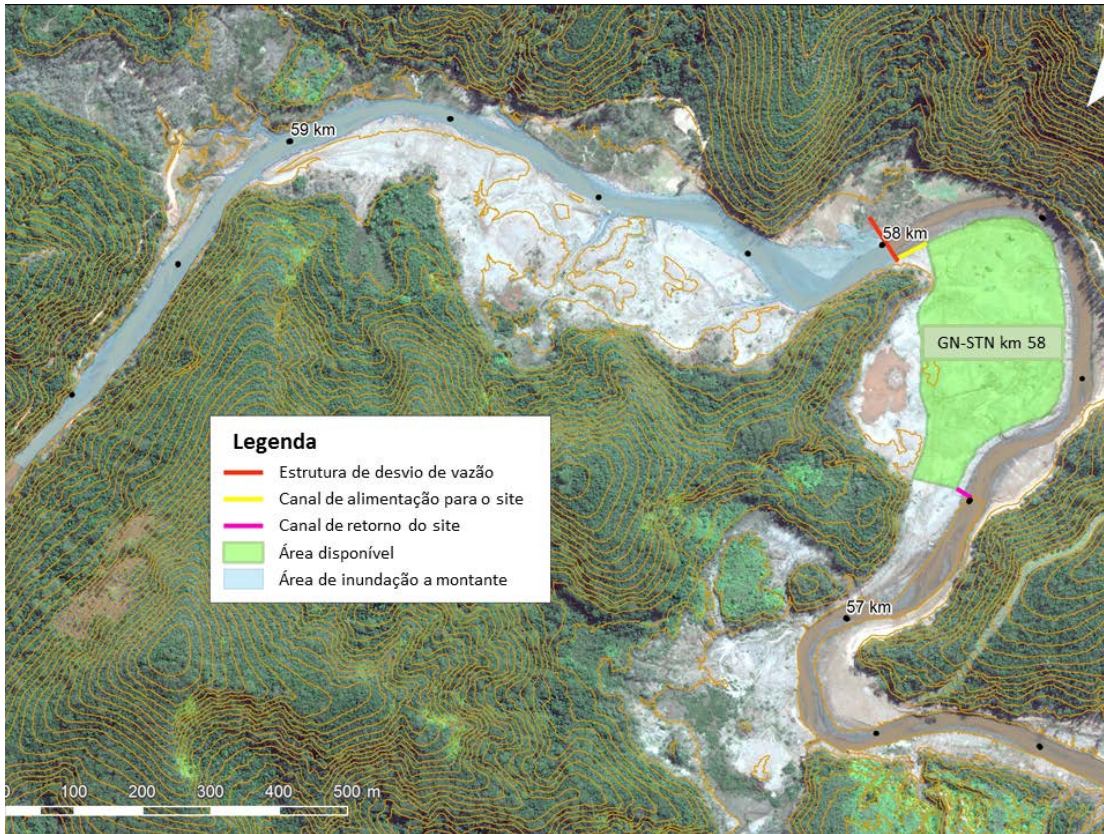


Figura 22: Potencial localização para o GN-STN km 58

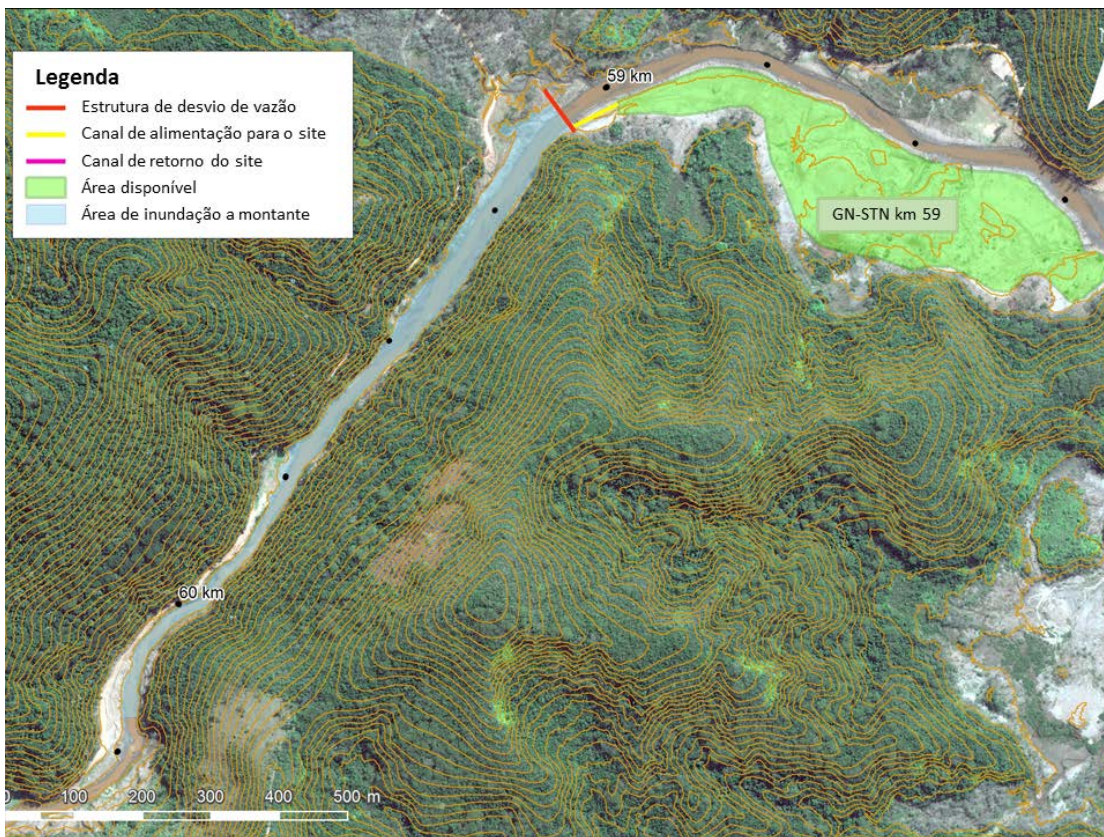


Figura 23: Potencial localização para o GN-STN km 59

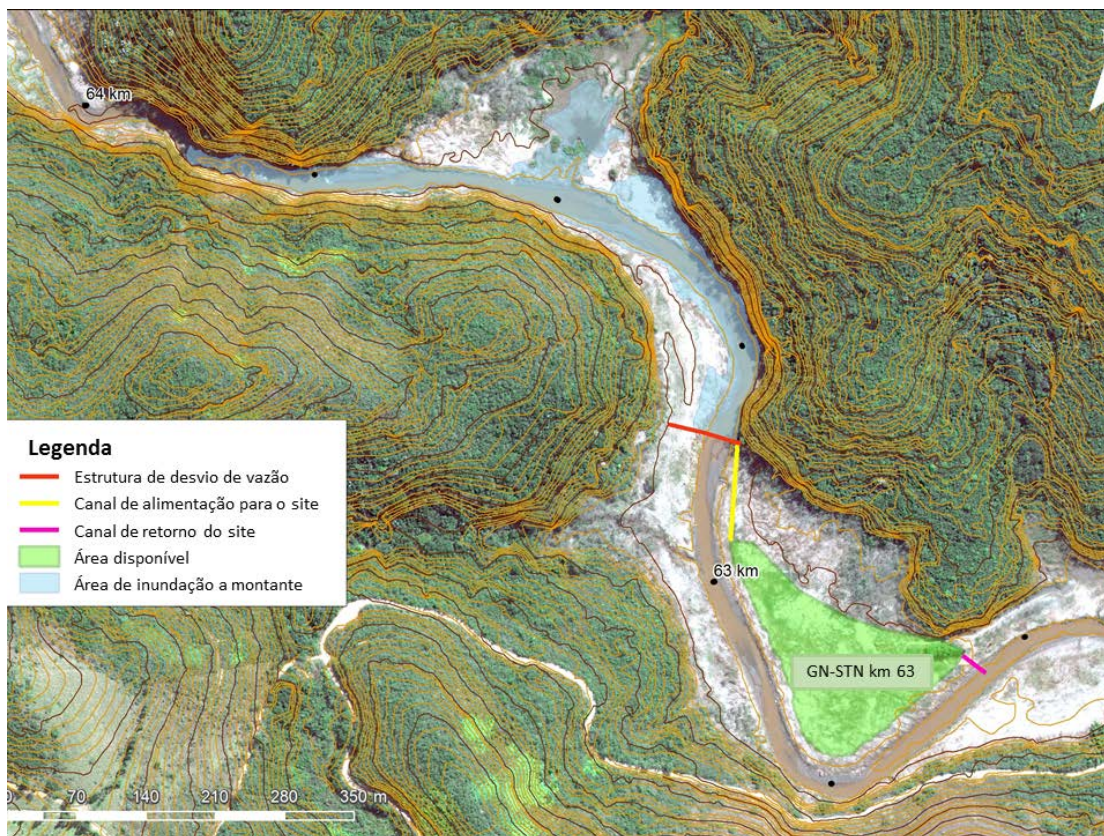
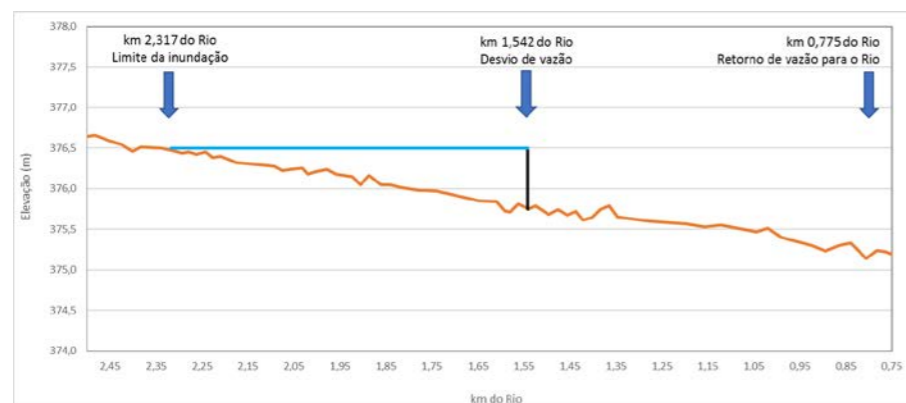
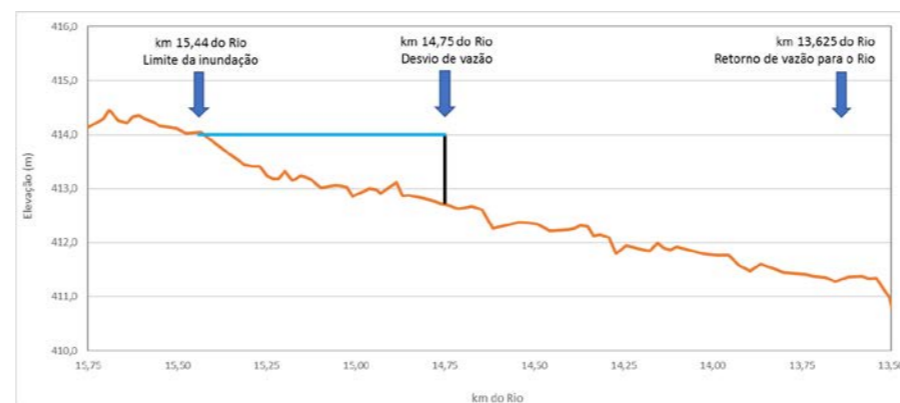


Figura 24: Potencial localização para o GN-STN km 63

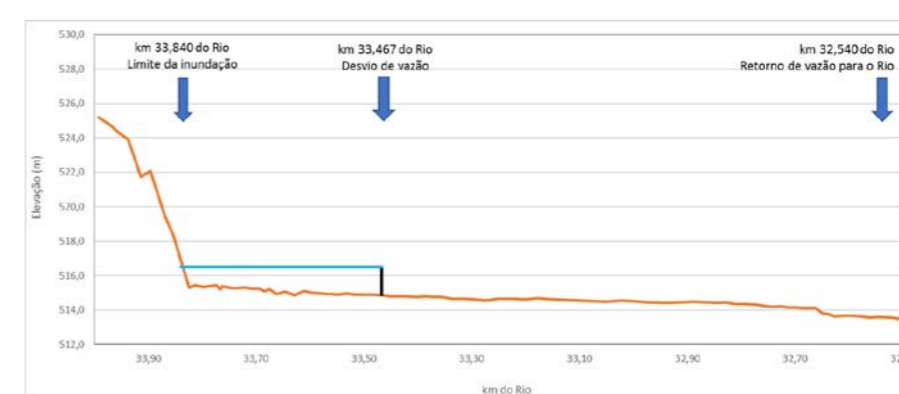
5 – SELEÇÃO DOS LOCAIS ADEQUADOS PARA O SISTEMA DE TRATAMENTO NATURAL OFF-LINE



GN-STN km 2



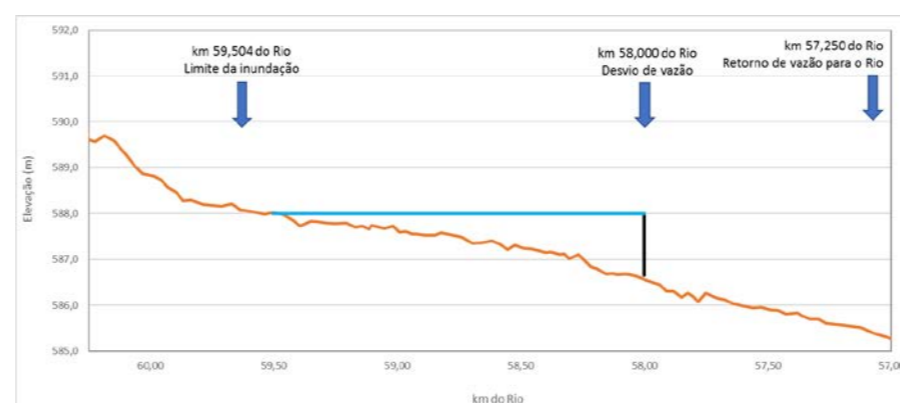
GN-STN km 14



GN-STN km 33



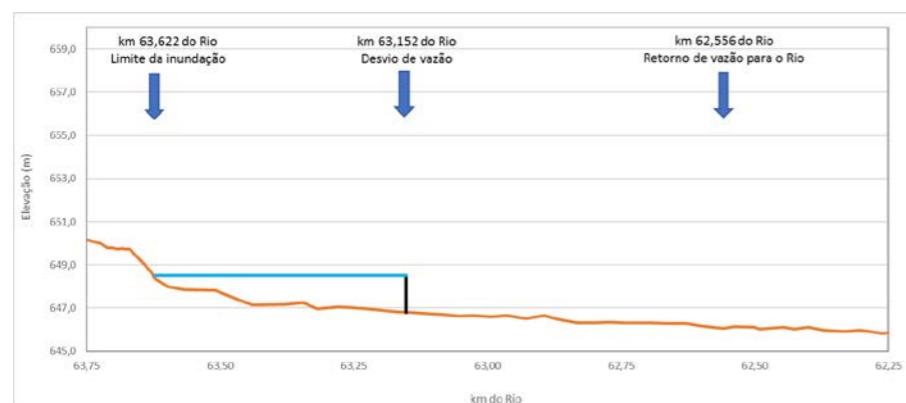
GN-STN km 48



GN-STN km 58



GN-STN km 59



GN-STN km 63

Nota: Diferentes escalas são usadas em cada perfil de elevação.

Figura 25: Perfil de elevações do rio em potenciais locações para os STN off-line - Influência das estruturas de desvio de vazão

Após a locação preliminar das estruturas de desvio de vazão e delimitação inicial das áreas disponíveis para a implantação do STN off-line para cada local, diversas características dos sites foram resumidas para auxiliar na triagem e seleção dos locais mais adequados. Alguns dos principais critérios utilizados no processo de triagem e seleção do site incluíram:

- A área disponível para as instalações do STN off-line - áreas maiores permitem o tratamento de uma maior porcentagem da vazão total do rio;
- Comprimento do canal e área do rio afetados pelo represamento causado pela estrutura de desvio - comprimentos menores e áreas afetadas minimizam os impactos locais;
- Localização ao longo do rio Gualaxo do Norte - locais distribuídos a montante, meio e jusante dos Trechos 8 e 9 proporcionam a redução na turbidez ao longo do rio.
- Elevação das planícies aluvionares e estruturas de desvio a fim de evitar bombeamento.

Desta maneira, as principais características de cada local são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Características dos sites para cada Potencial site do Sistema de Tratamento Natural Off-line

Características dos sites	Site						
	GN-STN km 2	GN-STN km 14	GN-STN km 33	GN-STN km 48	GN-STN km 58	GN-STN km 59	GN-STN km 63
km do rio na estrutura de desvio (km)	1,5	14,8	33,5	48,0	58,0	59,1	63,2
km do rio no retorno de vazão (km)	0,8	13,6	32,5	47,5	57,3	58,2	62,6
Área disponível (ha)	2,5	7,6	2,2	5,4	6,4	8,7	2,1
Comprimento do canal de alimentação para o site (m) ^a	40	247	477	41	50	76	100
Comprimento da estrutura de desvio (m)	52,0	43,0	57,0	34,0	77,0	76,0	76,0
Altura da estrutura de desvio (m)	0,8	1,3	1,6	2,2	1,4	1,8	1,7
Elevação da superfície da água a montante do desvio (m)	376,5	414,0	516,5	563,5	588,0	589,6	648,5
km do rio a montante do limite da inundação (km)	2,3	15,4	33,8	48,1	59,5	60,1	63,6
Comprimento do leito do rio afetado pelo desvio (km)	0,78	0,69	0,37	0,03	1,50	1,06	0,47
Área de represamento a montante da estrutura de desvio (ha)	2,8	2,0	1,4	0,1	6,1	3,7	3,0

Notas:

^a Os comprimentos dos canais de alimentação e de retorno representam a distância entre o rio e a borda da área até o STN off-line. O comprimento real dos canais possuirá um comprimento maior para distribuir a água entre as bacias.

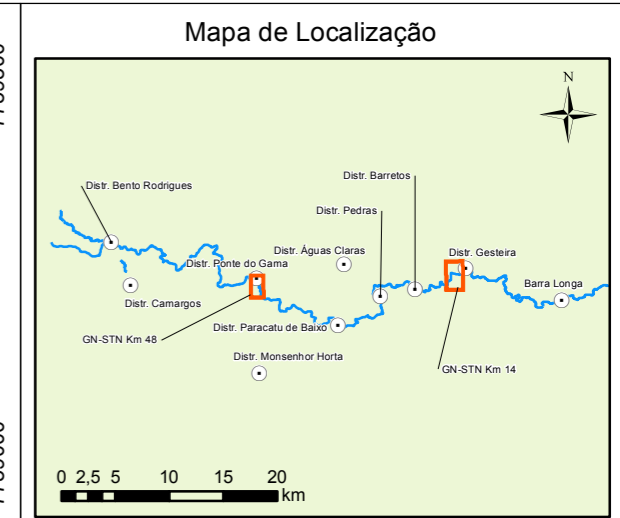
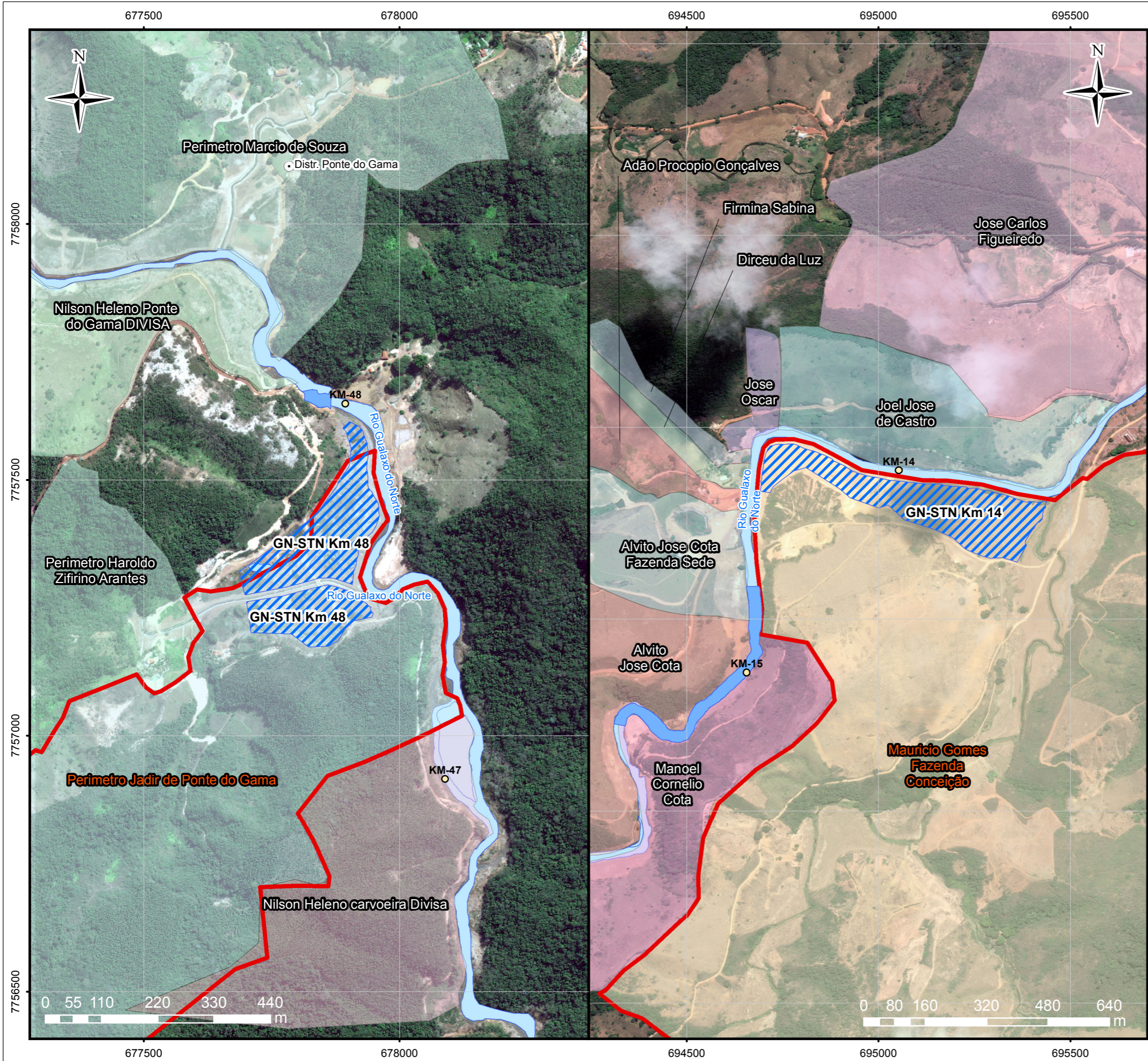
5.2 Sites Recomendados para Implantação dos STN Off-line

Uma das principais limitações para a implantação das instalações do STN off-line é a área disponível na planície aluvionar para a implantação das instalações do STN off-line. A fim de tratar a maior parcela de vazão do rio durante a estação seca, locais de 5 ha ou maiores em área são os preferidos. Dos locais avaliados, apenas os sites GN-STN km 14, km 48, km 58 e km 59 satisfazem este critério. Os sites GN-STN km 58 e km 59 estão muito próximos um do outro na porção superior do Trecho 9, separados por uma distância inferior a 1,0 km. Apenas um destes locais seria necessário e o site GN-STN km 59 é preferível devido a sua maior área disponível para unidades do STN off-line e a posição da estrutura de desvio de vazão, que cria uma menor área de represamento de água e comprimento do canal do

rio impactados. Além disso, o site GN-STN km 2 foi desconsiderado já que o mesmo requeria de instalação de sistemas de bombeamento.

Sites GN-STN km 14, km 48 e km 59 são os locais recomendados para aprofundar a investigação para o desenvolvimento dos STN off-line. Com as estruturas de desvio nas posições do rio em km 14,8 (GN-STN km 14), km 48,0 (GN-STN km 48) e km 59,1 (GN-STN km 59), os três locais em combinação poderiam fornecer tratamento distribuído para reduzir a turbidez e melhorar a qualidade da água durante mais de 59 km da área de estudo. Estes três locais são avaliados mais detalhadamente nas próximas seções.

Encontram-se identificados na Figura 26 os proprietários das áreas para implantação do GN-STN km 48 e GN-STN km 14, sendo que o proprietário da área para implantação do GN-STN km 59 não foi identificado até o momento.



- LEGENDA:**
- Quilometro contado a partir da foz do rio gualaxo com a junção com o rio do Carmo
 - Municipios / Distritos Afetados
 - ▨ Wetland
 - ▭ Propriedade com Wetland
 - Área de Inundação à Montante
 - Calha do Rio Doce

ESCALA GRÁFICA:

NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Worldview Geoeye, 04/05/2016



TÍTULO:
Figura 26
Proprietários das áreas identificadas para
implantação dos STN km 48 e 14

PROJETO:

ESCALA:	DATA: 26/05/2017	PROJ.: rutima	VERIF.: MB	APROV.: AG	REV.: RA0
---------	---------------------	------------------	---------------	---------------	--------------

6 Projeto Conceitual dos Sistemas de Tratamento Natural Off-line

Nesta seção serão apresentados os locais pré-selecionados para a instalação do Sistema de Tratamento Natural (STN) off-line, que tem como objetivo principal a diminuição dos níveis de turbidez do rio Gualaxo do Norte durante a estação seca. Os conceitos e critérios de projeto serão expostos, assim como as plantas a nível conceitual de um possível STN off-line para três dos locais pré-selecionados para implantação.

Os desenhos elaborados com motivo do presente projeto conceitual encontram-se no Apêndice B – Projeto Conceitual das Áreas de Tratamento. Nesse documento encontram-se apresentados os desenhos a seguir:

- Capa, localização dos sites, índice de desenhos
- Layout GN-STN km 14
- Layout GN-STN km 48
- Layout GN-STN km 59
- Movimentação de solo GN-STN km 14
- Movimentação de solo GN-STN km 48
- Movimentação de solo GN-STN km 59
- Fluxograma de processo GN-STN km 14
- Fluxograma de processo GN-STN km 48
- Fluxograma de processo GN-STN km 59
- Perfil hidráulico GN-STN km 14
- Perfil hidráulico GN-STN km 48
- Perfil hidráulico GN-STN km 59
- Área de inundação GN-STN km 14
- Área de inundação GN-STN km 48
- Área de inundação GN-STN km 59
- Lista de equipamentos
- Detalhes construtivos I de IV
- Detalhes construtivos II de IV
- Detalhes construtivos III de IV
- Detalhes construtivos IV de IV

6.1 Conceito e Critérios de Projeto

Nessa Seção é apresentado o conceito do STN proposto para o tratamento do rio Gualaxo do Norte. São mostrados diagramas de blocos, fluxogramas de processo, uma descrição do processo e plantas feitas a nível conceitual para a compreensão do sistema proposto.

6.1.1 Diagrama de Blocos

Na Figura 27 é apresentado o diagrama de blocos do STN off-line proposto para o tratamento do rio Gualaxo do Norte. O diagrama apresenta todas as etapas de tratamento propostas, de maneira genérica, sendo aplicável para a solução de todos os sites. Critérios de projeto selecionados são

mostrados (como a velocidade nos canais e taxa de escoamento nas bacias de sedimentação), porém esses serão discutidos com mais detalhes na Seção 6.1.2.5. A descrição completa do processo de tratamento encontra-se na Seção 6.1.2.

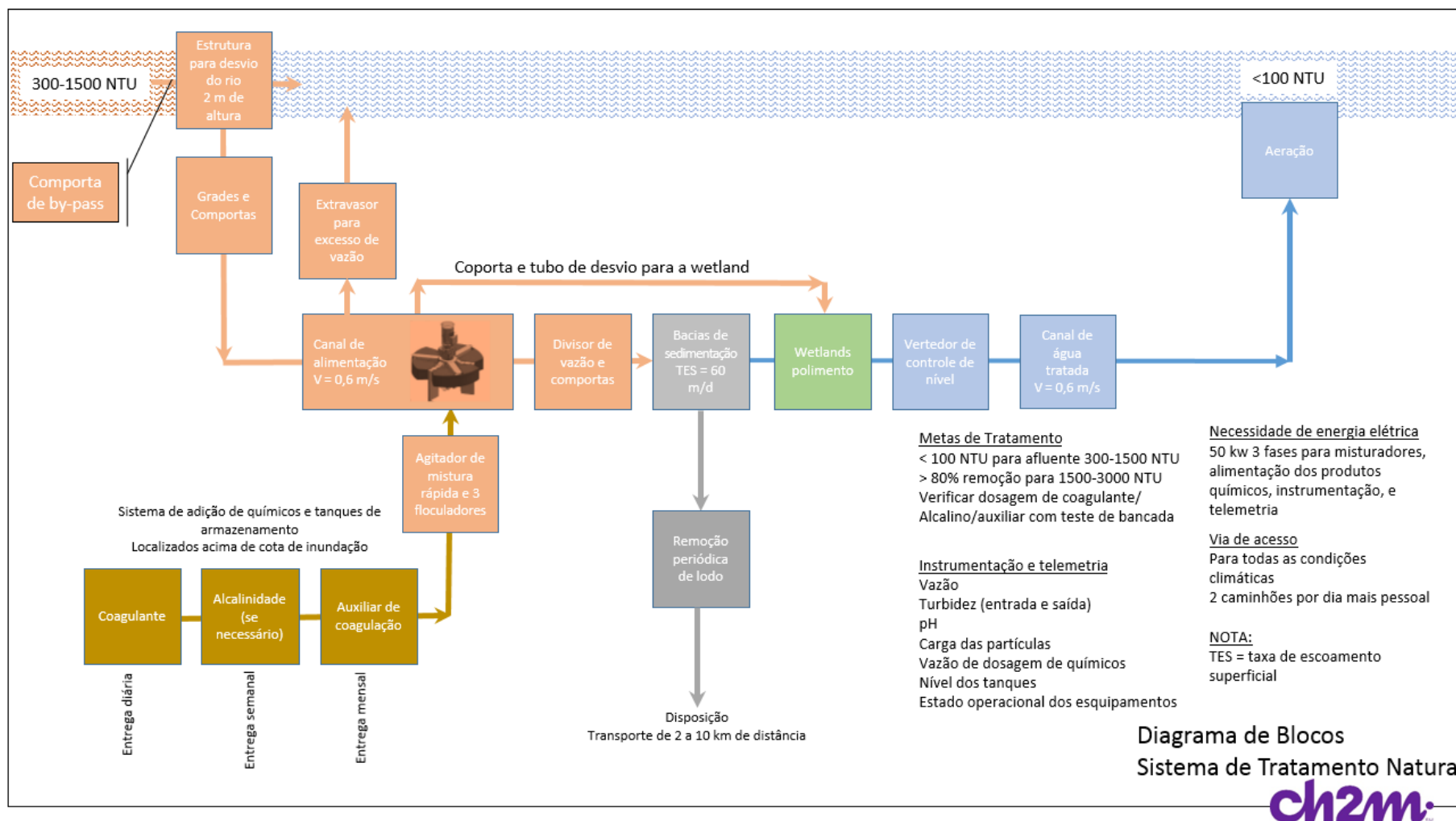


Figura 27: Diagrama de blocos do Sistema de Tratamento Natural Off-line proposto para o rio Gualaxo do Norte

6.1.2 Descrição do Processo de Tratamento

O Sistema de Tratamento Natural off-line (STN off-line) proposto é resultado da união de um processo convencional de tratamento de água –coagulação/floculação/sedimentação – e um processo de tratamento natural denominado de *wetland* para polimento final do efluente clarificado.

Nos locais selecionados às margens do rio Gualaxo do Norte serão projetados, a nível conceitual, os STN off-line com a finalidade de reduzir os níveis de turbidez presentes no curso de água. Um dos conceitos principais do STN é a minimização da quantidade de obras e impacto no rio. O processo proposto é o mesmo para cada local e é composto das seguintes unidades e estruturas:

6.1.2.1 Estrutura de desvio de vazão

A estrutura terá entre 1 e 2 metros de altura e será construída usando rocha compactada, tendo como função o desvio da maior parcela da vazão do rio para dentro do STN off-line. Ela será instalada logo após a entrada para o canal de alimentação do processo de tratamento e ocupará toda a seção transversal do rio. Sua face de montante será pavimentada com concreto ou uma membrana de PEAD (polietileno de alta densidade) que será incorporada na estrutura. As vazões que excederem a capacidade de tratamento do sistema de tratamento fluirão por cima da estrutura de desvio. O sistema de tratamento funcionará por gravidade a partir da estrutura de desvio. A estrutura possuirá uma comporta e um tubo que a atravessa para que parte desejada da vazão do rio seja desviada (sofra *by-pass*), e permita a passagem de cascalho e areia do leito do rio, auxiliando na recuperação do rio e diminuindo a quantidade de sedimentos que entram no STN.

Uma estrutura que permite o controle do fluxo da estrutura de desvio para o canal de abastecimento do STN é prevista juntamente à estrutura de desvio de vazão. A estrutura possuirá gradeamento, uma comporta e um tubo que conduzirá a água do rio para o início do canal. A estrutura da comporta será de concreto armado com comportas operadas manualmente, e possuirá uma passarela com guarda-corpos para fornecer acesso aos operadores.

6.1.2.2 Canal de alimentação e sistema de dosagem de químicos

A vazão a ser tratada será conduzida a bacias de sedimentação por um canal, ao qual será adicionada quantidade suficiente de produto químico coagulante para o tratamento apropriado. O canal possuirá seção transversal trapezoidal, e será dimensionado de tal modo que a velocidade máxima no canal não ultrapasse 0,6 m/s para que o mesmo não precise ser revestido. Revestimento de brita/cascalho sobre manta geotêxtil é previsto nas áreas em que espera-se mais turbulência, como abaixo dos agitadores.

A montante do canal existirá um extravasor de vazão excedente, localizado na lateral do canal. De acordo com o nível de água no canal, a vazão excedente será direcionada para o canal do rio. Na mesma estrutura será projetado um tubo controlado por uma comporta que permitirá o desvio de parte da vazão diretamente para *wetlands*, sem receber adição de produtos químicos. Esse desvio tem por objetivo preservar qualquer tipo de organismos vivos que possam estar presentes na água, facilitando assim a recuperação do rio após o tratamento. A estrutura será feita de concreto armado.

Após a passagem pelo extravasor de excesso de vazão, a parcela que não foi desviada das bacias de sedimentos receberá adição de produtos químicos para coagulação e floculação. Serão adicionados um composto coagulante, um coadjuvante (auxiliar de coagulação) e alcalinidade, caso necessário. A definição de qual produto químico será utilizado e sua dosagem serão resultantes de ensaios de bancada realizados com água do rio.

O sistema de dosagem incluirá tanques de armazenamento, bombas de dosadores de químicos, tubulação, painel elétrico e controles automatizados para regular a dosagem. Os tanques e

equipamentos serão montados em uma base de concreto. Um telhado para proteção do sol/chuva será fornecido para abrigar equipamentos mecânicos, elétricos e operadores. Os tanques de armazenamento de produtos químicos serão dimensionados para fornecer três dias de armazenamento para que sempre haja uma capacidade de armazenamento disponível igual a um caminhão de produto químico. As dosagens químicas e o volume de lodo gerado nas bacias de sedimentação serão determinados em um teste de tratabilidade em escala de bancada.

Os misturadores do canal de alimentação serão flutuantes e fornecerão gradiente para mistura rápida e floculação. Um agitador de mistura rápida e três misturadores de floculação serão fornecidos. O agitador de mistura rápida irá consumir cerca de 20 kW e os misturadores de floculação consumirão aproximadamente 5 kW cada. A demanda de energia total para o sistema de tratamento natural é de aproximadamente 50 kW e será fornecida por uma linha de transmissão de energia próxima ou por um gerador local.

Ao final do canal de alimentação serão instaladas estruturas vertedouras para divisão de vazão para as bacias de sedimentação que irão operar em paralelo. Os vertedores serão circulares e construídos utilizando-se tubos de concreto armado, similares a seções de bueiros. Um tubo com uma comporta em seu final será usado para transportar a vazão de cada vertedor para as bacias de sedimentação. Uma passarela com guarda-corpo será instalada para dar acesso ao controle da comporta. Os tubos possuirão anéis de vedação. As taxas de escoamento sobre o vertedor serão de no máximo 5.000 m³/d/m.

6.1.2.3 Bacias de sedimentação

O objetivo dessas unidades é a sedimentação dos flocos formados no processo de coagulação/floculação. Serão projetadas bacias de sedimentação para operação em paralelo. Utilizando como base a taxa de escoamento superficial máxima de 60 m³/m²/d e as áreas disponíveis, foram calculadas as vazões máximas que poderão ser tratadas em cada um dos locais pré-selecionados. O nível da água nas bacias será mantido em 3 metros ou tão profundas quanto possível, com base no nível de água subterrânea. O nível será controlado pelos vertedores de saída que possuirão taxas de escoamento no vertedor de no máximo 5.000 m³/d/m.

Os sólidos sedimentados no fundo das bacias (lodo) serão removidos periodicamente, e destinado a um local para disposição final, preparado para o recebimento do mesmo. A remoção de lodo das bacias se dará por meio de tubos perfurados instalados no fundo das bacias de sedimentação. O lodo será conduzido por gravidade até bacias de retenção, de onde um caminhão tanque poderá fazer a coleta e destinação apropriada do lodo.

6.1.2.4 Wetlands

Estarão instaladas em série após as bacias de sedimentação com função de realizar o polimento final da água. O nível da água será mantido em 1 m nas unidades, com zonas mais profundas nas entradas e saída do efluente. As *wetlands* serão densamente povoadas com espécies de plantas aquáticas nativas emergentes e submersas que auxiliarão na remoção de flocos que não foram sedimentados nas bacias de sedimentação. Isso é atingido devido a um biofilme que existe nas plantas que proporciona filtração natural para a água. O controle de nível será realizado por vertedores de saída com taxas de escoamento no vertedor de no máximo 5.000 m³/d/m. Na saída da água tratada pelo STN serão projetadas quedas para aeração da água, feitas primariamente de rochas ou gaviões. O objetivo da aeração é aumentar o teor de oxigênio dissolvido na água, o que auxilia no desenvolvimento de formas de vida superiores ao curso d'água.

6.1.2.5 Instrumentos

É prevista instalação de sistemas com CLP (controlador lógico programável), além de medidores de vazão e níveis e medidores de pH, turbidez e potencial zeta. Os valores colhidos por esses sistema serão usados para ajuste fino do processo de tratamento, fornecendo informação da dosagem ideal de produtos químicos, ou ajuste nas comportas das tubulações. Prevê-se que os instrumentos utilizem energia de um conjunto de painéis solares e baterias.

6.1.2.6 Considerações adicionais

6.1.2.6.1 Movimentação de Terra, Corte e Aterro

Tendo como premissa básica que o processo não contará com bombeamento e será executado com a menor quantidade possível de estruturas de concreto, espera-se que a maior parte da movimentação de terra durante a implantação do STN em cada site será a de corte, com pouco aterro. Deve ser previsto local para disposição do grande volume de solo que será removido. Salienta-se que as camadas superficiais de solo dos locais possam estar contaminadas por rejeitos, e esse volume de sólidos deve ser manejado de maneira adequada. Na Seção 6.9 são discutidos critérios de seleção de áreas para disposição de solo.

6.1.2.6.2 Arraste de metal não reagido

Durante operação normal do sistema, o arraste de metal (alumínio ou ferro) não reagido será inferior aos limites de 0,1 mg/L (100 µg/L) conforme CONAMA 357/05 para Classe 2, desde que quantidade suficiente de alcalinidade seja fornecida ao sistema para reação completa, e de que haja agitação suficiente para correta coagulação e floculação.

6.1.3 Critérios de Projeto

São apresentados de maneira sumarizada na Tabela 6, os critérios de projeto utilizados na elaboração do projeto conceitual do STN off-line. Os critérios de projeto são valores e definições adotados para que as unidades de processo e seus periféricos sejam dimensionados/ selecionados.

Tabela 6: Critérios de projeto para elaboração do projeto conceitual do STN OFF-LINE

Unidade/Equipamento	Observação	Unidade
Gradeamento		
Tipo	Grosseiro	
Inclinação	45	°
Comportas Principais		
Localização	Tubo de by-pass, captação junto a estrutura de desvio, tubo de desvio das bacias	
Tipo	Deslizante operada manualmente	
Tubos de entrada		
Tubos em paralelo a partir da estrutura de captação	2	un
Canal de alimentação		
Formato	Trapezoidal	
Inclinação dos taludes laterais (H:V)	3	m/m
Profundidade de água no canal	1	m

Unidade/Equipamento	Observação	Unidade
Velocidade máxima		0,6 m/s
Base para projeto das bacias de sedimentação		
Taxa de escoamento superficial máxima		60 m ³ /(m ² .d)
Profundidade		3 m
Borda livre		0,5 m
Inclinação dos taludes laterais submersos (H:V)		2 m/m
Inclinação dos taludes laterais emerso (H:V)		3 m/m
Profundidade de projeto		50% %
Base para projeto das wetlands		
Profundidade		0,5 m
Borda livre		1 m
Inclinação dos taludes laterais (H:V)		3 m/m
Profundidade de projeto		50% %
Agitador de coagulação		
Tipo	Flutuante de mistura rápida	
Potência	20	kW
Quantidade	1	
Agitador de floculação		
Tipo	Flutuante de mistura lenta	
Potência	5	kW
Quantidade	3	
Sistema de dosagem de químicos		
Químico - Coagulante	Sais de alumínio ou ferro	
Químico - Auxiliar de coagulação	Polímero orgânico em emulsão	
Químico - Alcalinidade	Hidróxido de sódio	
Bombas dosadoras	Solução de Coagulante, alcalinidade e polímero	
Tanques de armazenamento e baias de contenção	Coagulante, alcalinidade e polímero	
Instrumentos/ Equipamentos		
Gerador de energia	A combustão	
Painel solar e baterias		
Medidores	pH, vazão, turbidez, níveis e potencial zeta	
Bermas e arruamento		
Largura mínima		7 m
Inclinação máxima		6% %

6.1.4 Teste Realizado em Campo

A fim de avaliar a eficiência na remoção da turbidez no tempo devido a adição de coagulante, foi realizado em campo um teste com diferentes dosagens de sulfato de alumínio. Os resultados são apresentados na Figura 28 e na Figura 29. Cabe destacar que estes testes carecem de validade científica e foram realizados sem adição de polímeros/alcalinidade e correta aplicação de mistura.

Observou-se durante os ensaios que a aplicação do coagulante melhorou expressivamente a sedimentabilidade das partículas suspensas, diminuindo a turbidez a níveis próximos de 100 NTU após 90 minutos de teste, sendo que os valores iniciais estavam na ordem de 250 NTU.

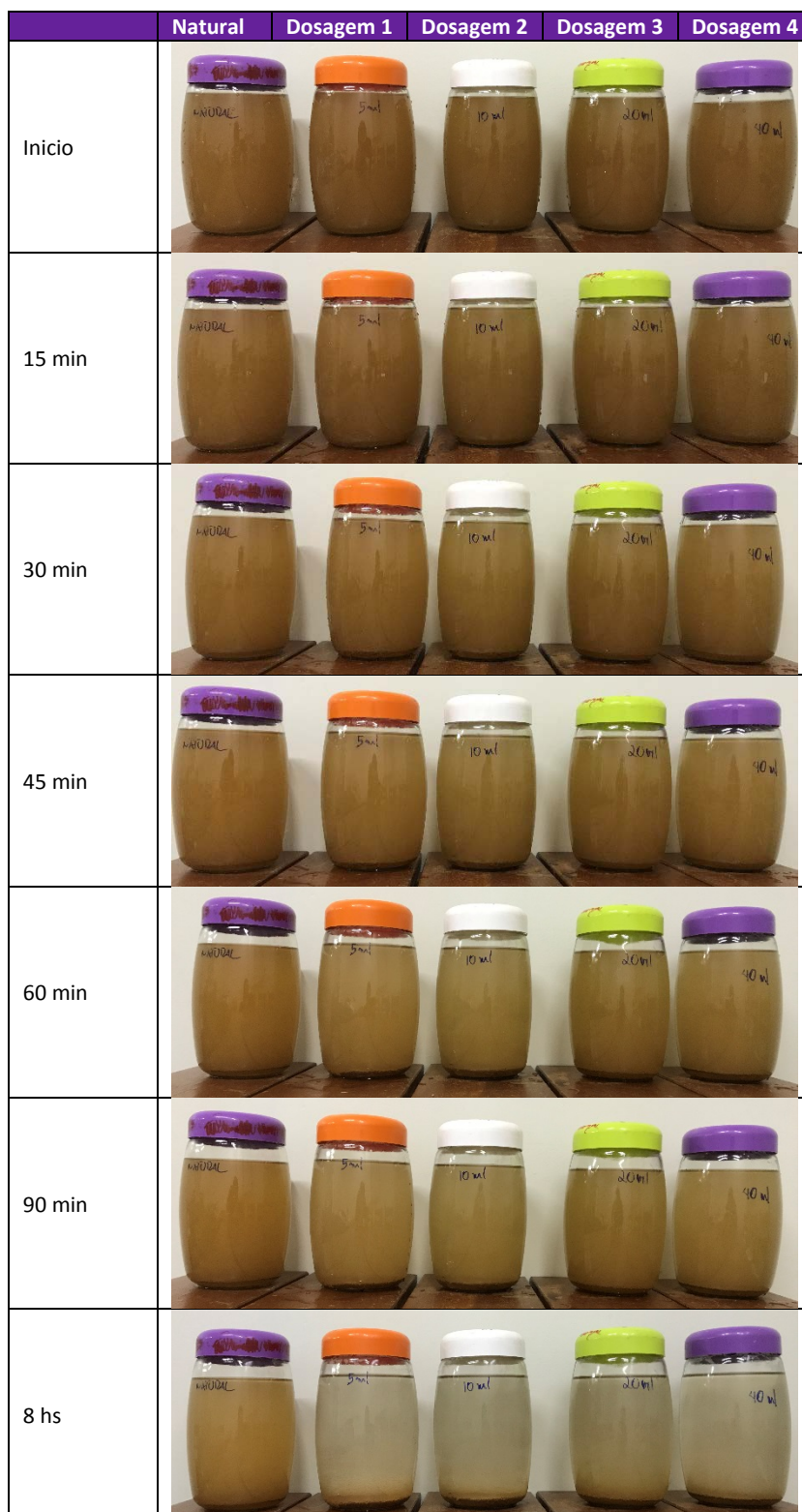


Figura 28: Resultados fotográficos dos testes realizados em campo para diferentes dosagens de Sulfato de Alumínio

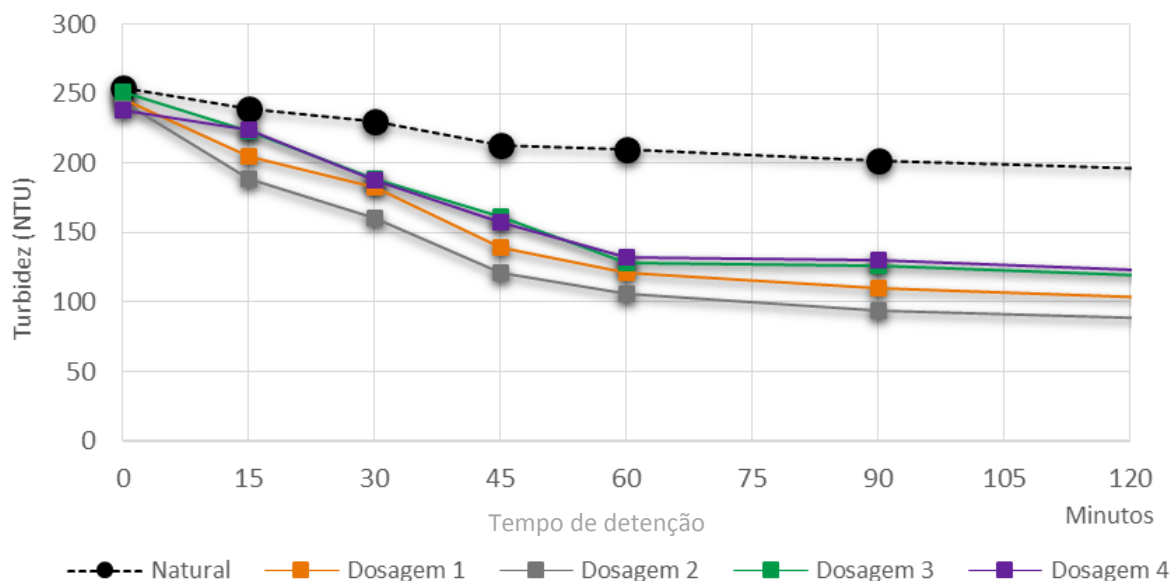


Figura 29: Resultados de turbidez dos testes realizados em campo para diferentes dosagens de Sulfato de Alumínio

6.2 GN-STN km 14

O site GN-STN km 14 localiza-se na margem direita do rio Gualaxo do Norte, a 14 km de seu deságue no rio do Carmo. A área disponível compreende aproximadamente 7,6 hectares de uma região predominantemente plana, em um trecho reto de cerca de 730 m do rio, como visto na Figura 19 na Seção 5.1. A seguir a solução proposta do STN off-line para esse site é descrita.

6.2.1 Fluxograma de Processo

Na Figura 30 é mostrado o fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 14. Nele é mostrado um esquema do processo, com as principais unidades e suas principais características. O site do km 14 possui duas bacias de sedimentação que operam em paralelo e uma *wetland*. Na superfície de projeto (metade da profundidade de água) a área das bacias de sedimentação é de aproximadamente 16.800 m², com 20.700 m² de área da *wetland*. O canal de alimentação das bacias de sedimentação possui 806 m de comprimento, e largura da base de 21 m.

Com base na área das bacias de sedimentação a vazão de água que pode ser tratada pelo processo de coagulação/floculação/sedimentação é de até 11,5 m³/s. Dessa vazão, 55% deverá ser desviada para uma das bacias de sedimentação e 45% para a outra, que opera em paralelo. Toda a vazão é então encaminhada para a *wetland*, que recebe também parcela da vazão que é desviada do processo de tratamento químico. A seleção do produto químico a ser utilizado como coagulante, bem como sua dosagem ideal, deve ser realizada com base em testes de bancada usando a água do rio, durante etapas de elaboração do projeto executivo.

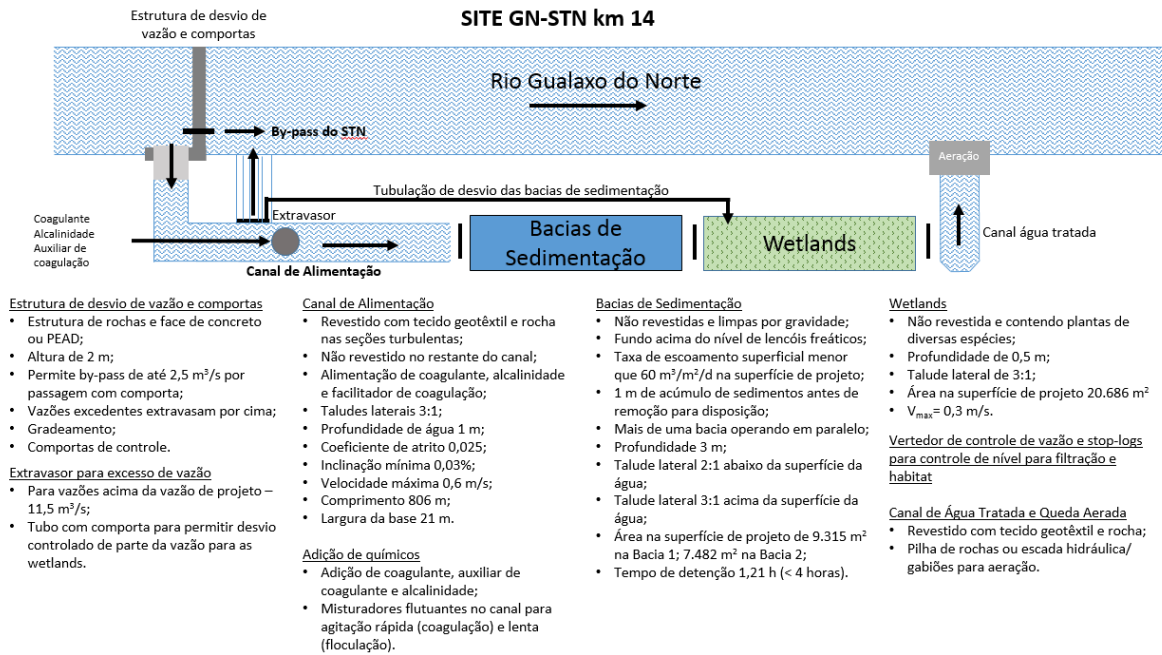


Figura 30: Fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 14

6.2.2 Layout

Uma ilustração do layout preparado para o site GN-STN km 14 é mostrada na Figura 31.

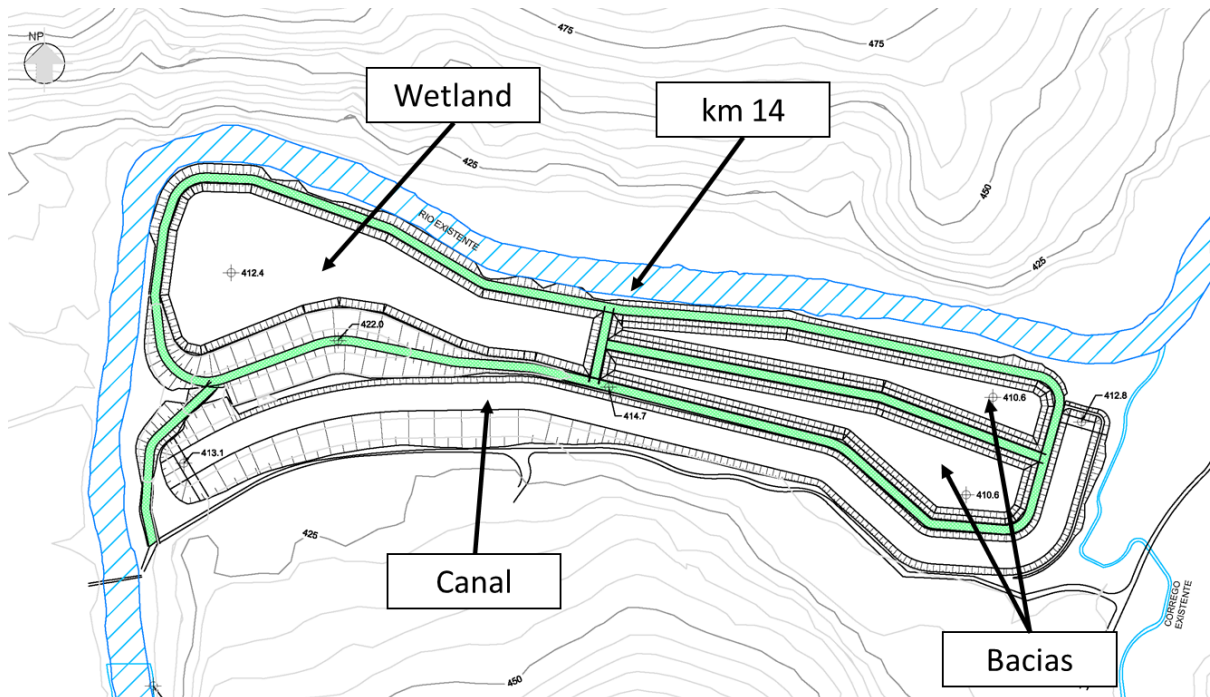


Figura 31: Ilustração do layout preparado para o projeto conceitual do site GN-STN km 14

6.3 GN-STN km 48

O site GN-STN km 48 localiza-se na margem direita do rio Gualaxo do Norte, a 48 km de seu desague no rio do Carmo. A área disponível compreende aproximadamente 5,4 hectares de uma região

predominantemente plana. A área é recortada por um riacho retificado que desagua no rio Gualaxo do Norte, e fica as margens de um trecho sinuoso de cerca de 400 m do rio. O local é mostrado na Figura 21 na Seção 5.1. A seguir a solução proposta do STN off-line para esse site é descrita.

6.3.1 Fluxograma de Processo

Na Figura 32 é mostrado o fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 48. Nele é mostrado um esquema do processo, com as principais unidades e suas principais características. O site do km 48 possui duas bacias de sedimentação e duas *wetland*, cada uma após uma bacia de sedimentação que operam em paralelo. Na superfície de projeto (metade da profundidade de água) a área das bacias de sedimentação é de aproximadamente 9.000 m², com 11.500 m² de área combinada das *wetlands*. O canal de alimentação das bacias de sedimentação possui 352 m de comprimento, e largura da base de 12 m.

Com base na área das bacias de sedimentação a vazão de água que pode ser tratada pelo processo de coagulação/floculação/sedimentação é de até 6,2 m³/s. Dessa vazão, 44% deverá ser desviada para uma das bacias de sedimentação e 56% para a outra, que opera em paralelo. Toda a vazão é então encaminhada para a *wetland*, que recebe também parcela da vazão que é desviada do processo de tratamento químico. A seleção do produto químico a ser utilizado como coagulante, bem como sua dosagem ideal, deve ser realizada com base em testes de bancada usando a água do rio, durante etapas de elaboração do projeto executivo.

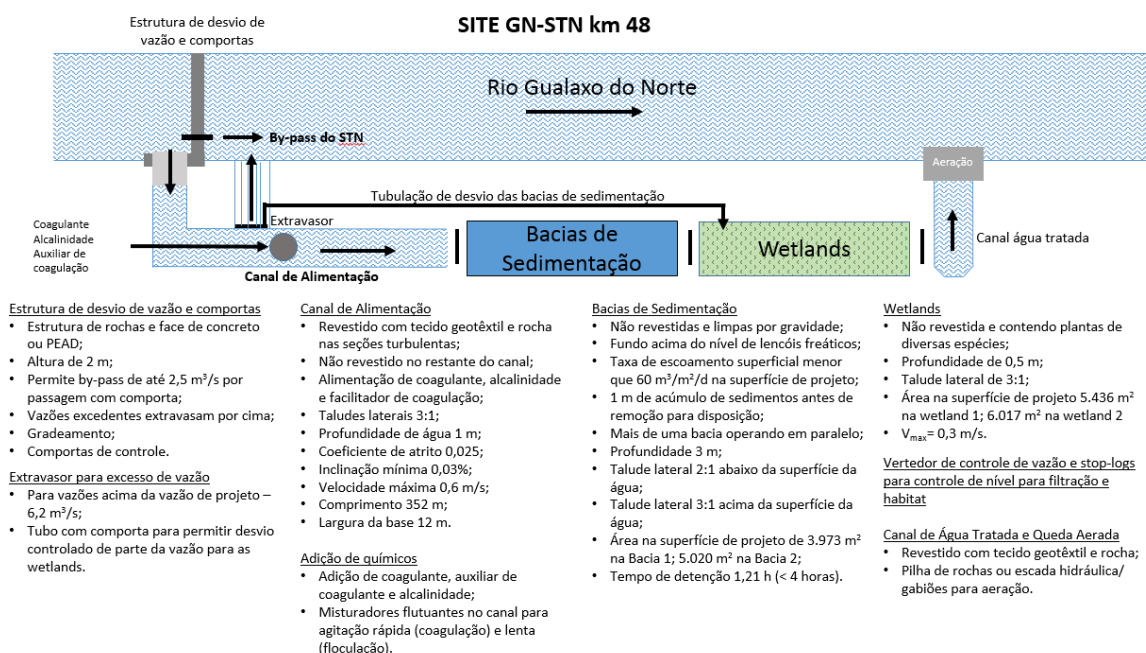


Figura 32: Fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 48

6.3.2 Layout

Uma ilustração do layout preparado para o site GN-STN km 14 é mostrada na Figura 33.

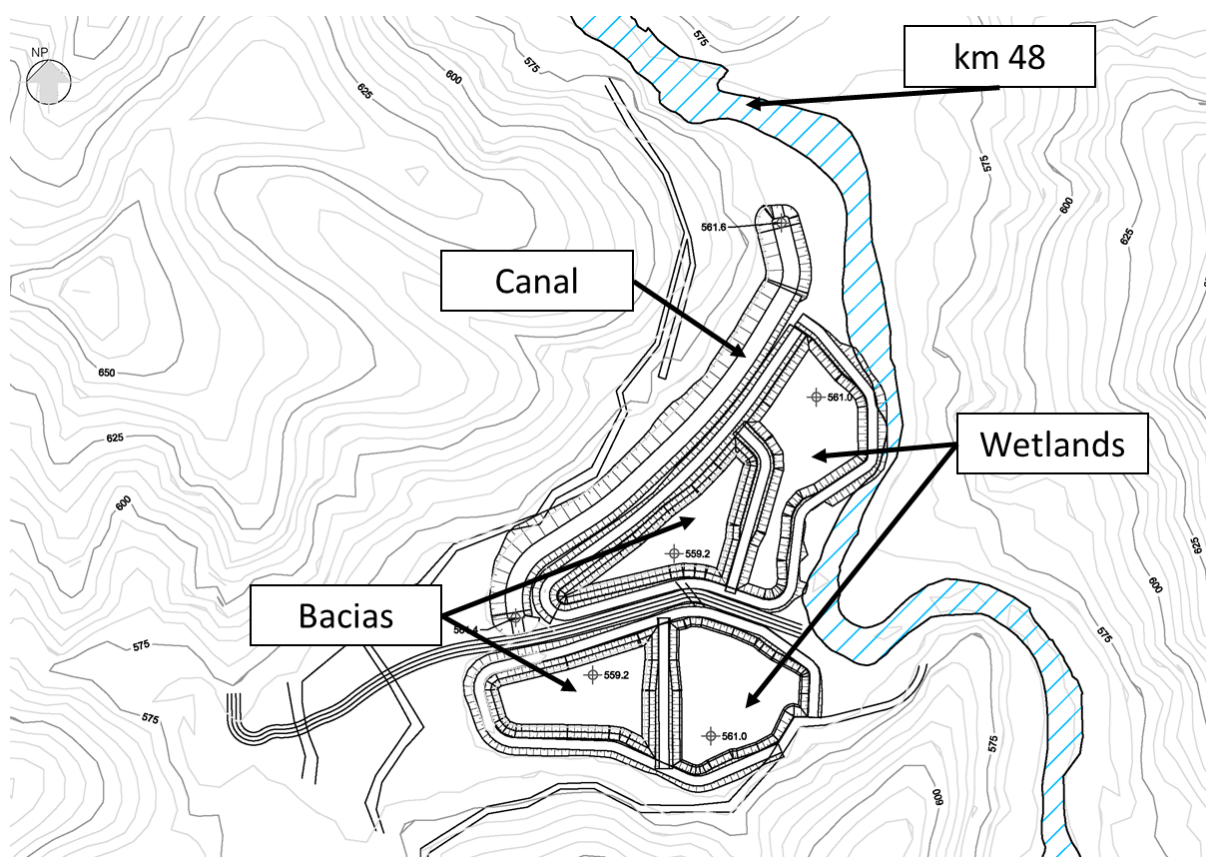


Figura 33: Ilustração do layout preparado para o projeto conceitual do site GN-STN km 48

6.4 GN-STN km 59

O site GN-STN km 59 localiza-se na margem direita do rio Gualaxo do Norte, a 59 km de seu deságue no rio do Carmo. A área disponível compreende aproximadamente 8,7 hectares de uma região predominantemente plana e cercada por vegetação. As margens do rio são pouco sinuosas e possuem cerca de 830 m em contato com o site selecionado. O local é mostrado na Figura 23 na Seção 5.1. A seguir a solução proposta do STN off-line para esse site é descrita.

6.4.1 Fluxograma de Processo

Na Figura 34 é mostrado o fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 59. Nele é mostrado um esquema do processo, com as principais unidades e suas principais características. O site do km 59 possui duas bacias de sedimentação que operam em paralelo e uma *wetland*. Na superfície de projeto (metade da profundidade de água) a área das bacias de sedimentação na superfície de projeto é de aproximadamente 19.700 m², com 9.300 m² de área da *wetland*. O canal de alimentação das bacias de sedimentação possui 774 m de comprimento, e largura da base de 18 m.

Com base na área das bacias de sedimentação a vazão de água que pode ser tratada pelo processo de coagulação/floculação/sedimentação é de até 12,3 m³/s. Dessa vazão, 53% deverá ser desviada para uma das bacias de sedimentação e 47% para a outra, que opera em paralelo. Toda a vazão é então encaminhada para a *wetland*, que recebe também parcela da vazão que é desviada do processo de tratamento químico. A seleção do produto químico a ser utilizado como coagulante, bem como sua

dosagem ideal, deve ser realizada com base em testes de bancada usando a água do rio, durante etapas de elaboração do projeto executivo.

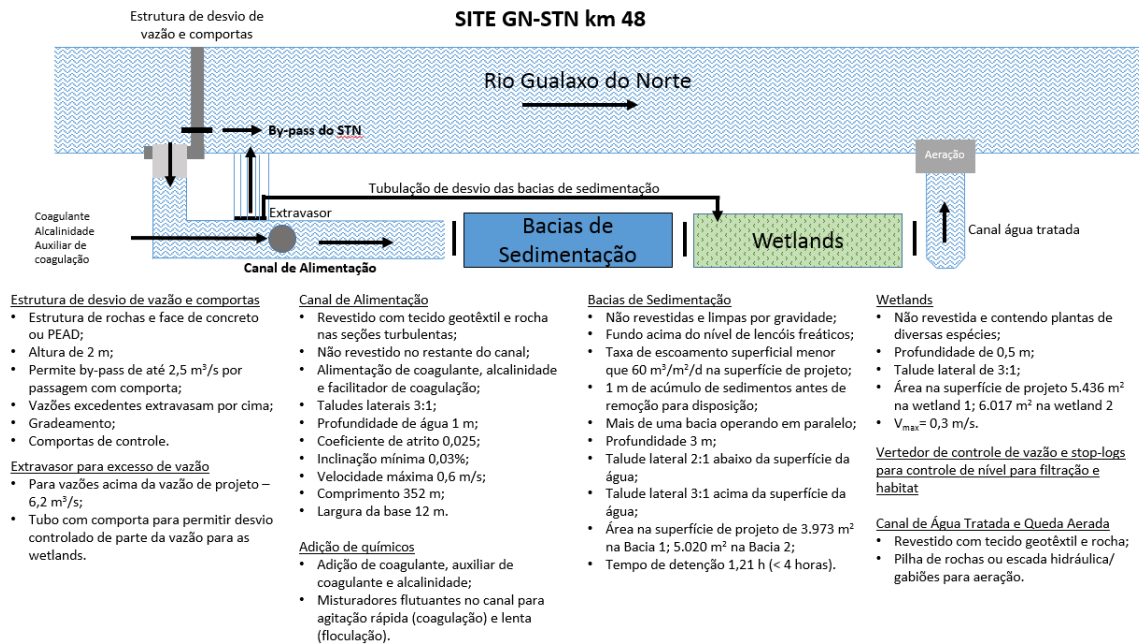


Figura 34: Fluxograma de processo do STN proposto para o site GN-STN km 59

6.4.2 Layout

Uma ilustração do layout preparado para o site GN-STN km 14 é mostrada na Figura 35.

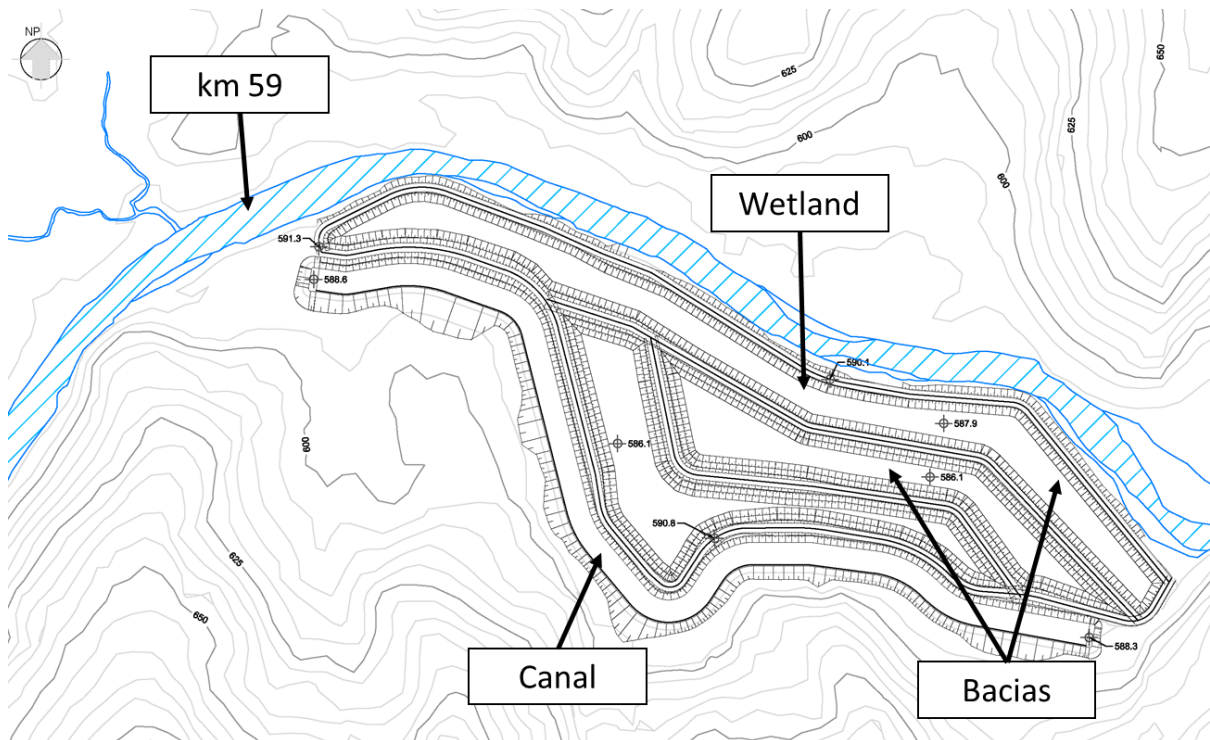


Figura 35: Ilustração do layout preparado para o projeto conceitual do site GN-STN km 14

6.5 Memorial de Cálculo

Nessa Seção serão mostrados os cálculos pertinentes aos dimensionamentos do canal de alimentação das bacias e das bacias de sedimentação. O canal de alimentação é dimensionado a de modo iterativo com a área das bacias de sedimentação, visto que o tamanho do canal impacta diretamente na área das bacias, que por sua vez podem demandar menor ou maior vazão de tratamento, em virtude da área superficial.

O canal de alimentação é função da largura da base, da vazão, da forma da seção transversal, e da área da seção transversal. Com esses dados é calculada a velocidade média, que não deve ser superior a velocidade máxima de projeto.

As bacias de sedimentação são dimensionadas otimizando-se a área do site restante, após alocação do canal de alimentação. Elas devem estar em contato com o final do canal (no sentido do rio) para que a água permaneça no canal o máximo possível, sendo um par de bacias para a eventualidade de se precisar paralisar uma delas.

A área das bacias é modificada, juntamente com a largura da base do canal de alimentação, para que se possa tratar a maior vazão possível em cada site. As *wetlands* e as bacias de sedimentação são dimensionadas de tal modo que dividam a área restante do site (após alocação do canal) de maneira aproximadamente igual entre si.

Na Tabela 7 são mostradas as etapas dos cálculos para validação dos valores obtidos para os três sites avaliados nessa etapa do projeto conceitual.

Tabela 7: Memorial de cálculo para o canal de alimentação e as bacias de sedimentação

Descrição	GN-STN km 14	GN-STN km 48	GN-STN km 59	Unidade
Capacidade máxima de tratamento pelas bacias de sedimentação	11,5	6,2	12,3	m³/s
Canal de alimentação				
Formato	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	
Largura da base	21	12	18	m
Inclinação dos taludes (H:V)	3	3	3	m/m
Profundidade de água no canal	1,0	1,0	1,0	m
Área da seção	24	15	21	m ²
Velocidade média	0,48	0,41	0,59	m/s
Rugosidade	0,025	0,025	0,025	
Perímetro molhado	27,32	18,32	24,32	m
Raio hidráulico	0,88	0,82	0,86	m
Declividade	0,02%	0,01%	0,03%	m/m
Comprimento do canal	806	352	775	m
Bacias de sedimentação				
Taxa de escoamento superficial máxima	60	60	60	m ³ /(m ² .d)
Profundidade total	3,0	3,0	3,0	m
Borda livre	0,5	0,5	0,5	m
Inclinação dos taludes laterais submersos (H:V)	2	2	2	m/m
Inclinação dos taludes laterais emersos (H:V)	3	3	3	m/m

Descrição	GN-STN km 14	GN-STN km 48	GN-STN km 59	Unidade
Profundidade de projeto	50%	50%	50%	%
Bacia de sedimentação 1				
Área na profundidade de projeto	9.315	3.973	10.392	m ²
Parcela da vazão tratada	55%	44%	53%	%
Vazão afluente	6,38	2,74	6,50	m ³ /s
Taxa de escoamento superficial	59,15	59,57	54,07	m ³ /(m2.d)
Volume da bacia	27.946	11.919	31.176	m ³
Tempo de detenção hidráulico	1,22	1,21	1,33	h
Bacia de sedimentação 2				
Área na profundidade de projeto	7.482	5.020	9.261	m ²
Capacidade máxima de tratamento	5,20	3,49	6,43	m ³ /s
Parcela da vazão tratada	45%	56%	47%	%
Vazão afluente	5,12	3,46	5,80	m ³ /s
Taxa de escoamento superficial	59,15	59,57	54,07	m ³ /(m2.d)
Volume da bacia	22.446	15.060	27.783	m ³
Tempo de detenção hidráulico	1,22	1,21	1,33	h
Wetlands				
Profundidade	0,5	0,5	0,5	m
Borda livre	1,0	1,0	1,0	m
Inclinação dos taludes laterais (H:V)	3	3	3	m/m
Profundidade de projeto	50%	50%	50%	%
Wetland 1				
Área na profundidade de projeto	20.686	5.436	14.314	m ²
Vazão afluente	11,50	2,74	12,30	m ³ /s
Volume na profundidade de projeto	10.343	2.718	7.157	m ³
Tempo de detenção hidráulico	0,25	0,28	0,16	h
Wetland 2 (se houver)				
Área na profundidade de projeto		6.017		m ²
Vazão afluente		3,46		m ³ /s
Volume na profundidade de projeto		3.009		m ³
Tempo de detenção hidráulico		0,24		h

6.6 Eficiência do Tratamento

6.6.1 Vazões Encaminhadas para Tratamento

O presente estudo de vazões ao longo do rio Gualaxo do Norte tem como objetivo o entendimento da variação das vazões nas estruturas de desvio de cada uma das STN off-line desenvolvidas no projeto conceitual para que seja compreendido o nível de eficiência do tratamento.

Dada a limitação quanto a disponibilidade de dados históricos fluviométricos para o entendimento da dinâmica do rio Gualaxo do Norte, como hipótese simplificadora para o entendimento da eficiência

dos sistemas de tratamento natural (STN) propostos foi assumida uma relação entre área da bacia de contribuição dos locais de interesse com área da bacia da estação fluviométrica analisada.

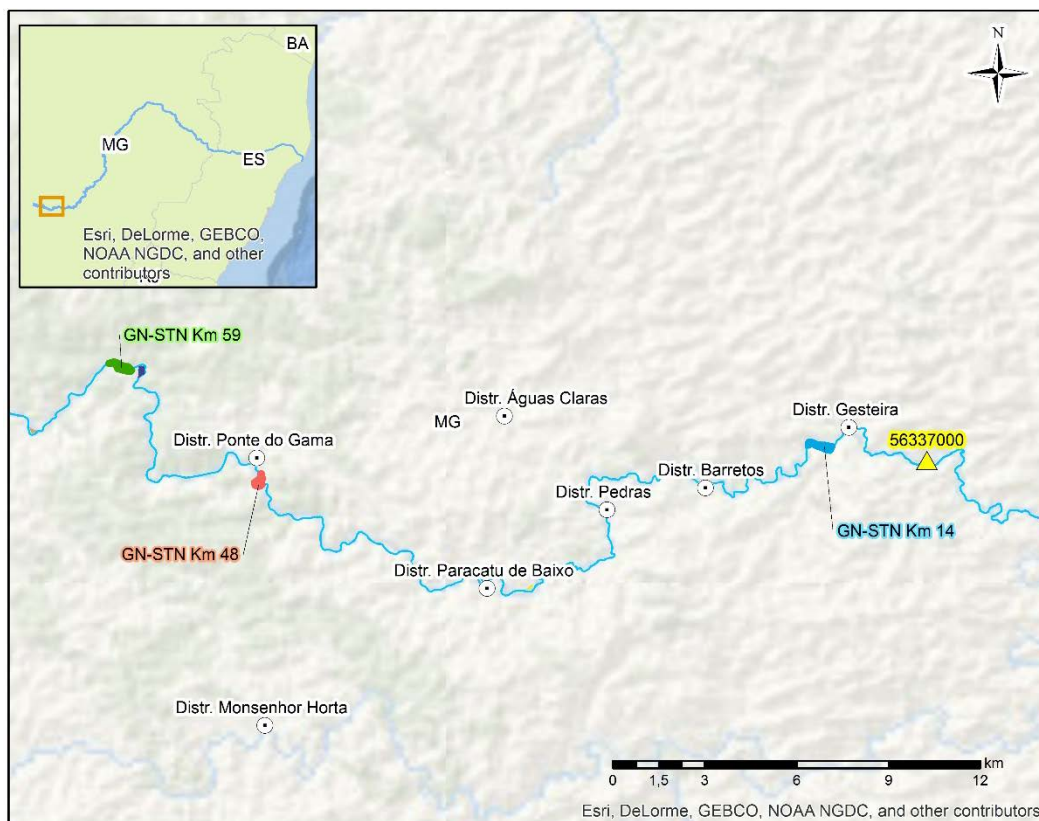


Figura 36: Localização da estação 56337000 e dos STNs

Na Tabela 8 estão apresentadas as áreas das bacias hidrográficas de aporte a cada um dos STN off-line, além da vazão $Q_{7,10}$, calculada em função das áreas proporcionais, a qual deverá ser respeitada a jusante das estruturas de desvio.

Tabela 8: Vazões médias calculadas nos STN off-line

Parâmetro	56337000	GN-STN Km 14	GN-STN Km 48	GN-STN Km 59
Área da Bacia (km ²)	529 km ²	426 km ²	260 km ²	219,54 km ²
$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	4,8	3,9	2,4	2,0

Dessa forma, as curvas de permanência e vazões médias mensais estimadas para os locais propostos para a concepção dos sistemas de tratamento natural (STN) são apresentadas a seguir em conjunto com a capacidade de tratamento das bacias de sedimentação de cada site e uma estimativa da vazão encaminhada diretamente para as *wetlands* e a parcela da vazão desviada pelo *by-pass*. **É importante esclarecer que tanto as parcelas supracitadas a serem desviadas quanto a dose de floculante e coagulante serão estabelecidos em função da vazão a ser tratada e a turbidez afluyente ao sistema.**

- GN-STN Km 59

A vazão média calculada do ponto GN-STN Km 59 é 5,3 m³/s e sua área da bacia de contribuição é 219,5 km². A capacidade de tratamento nas bacias de sedimentação deste sistema foi dimensionada em 11,5 m³/s. Além disso, a modo de análise na Figura 37, encontram-se representadas de forma aproximada a parcela de vazão que será desviada de forma direta às *wetlands* e a parcela de vazão que não entrará ao sistema de tratamento, e assim continuará de forma natural no rio. A somatória

destas três parcelas corresponde à frequência de vazões da ordem de 5% (Q5), sendo assim, 95% das vazões que passam por essa seção atingirão os 100 NTU desejados, conforme apresentado na Figura 37.

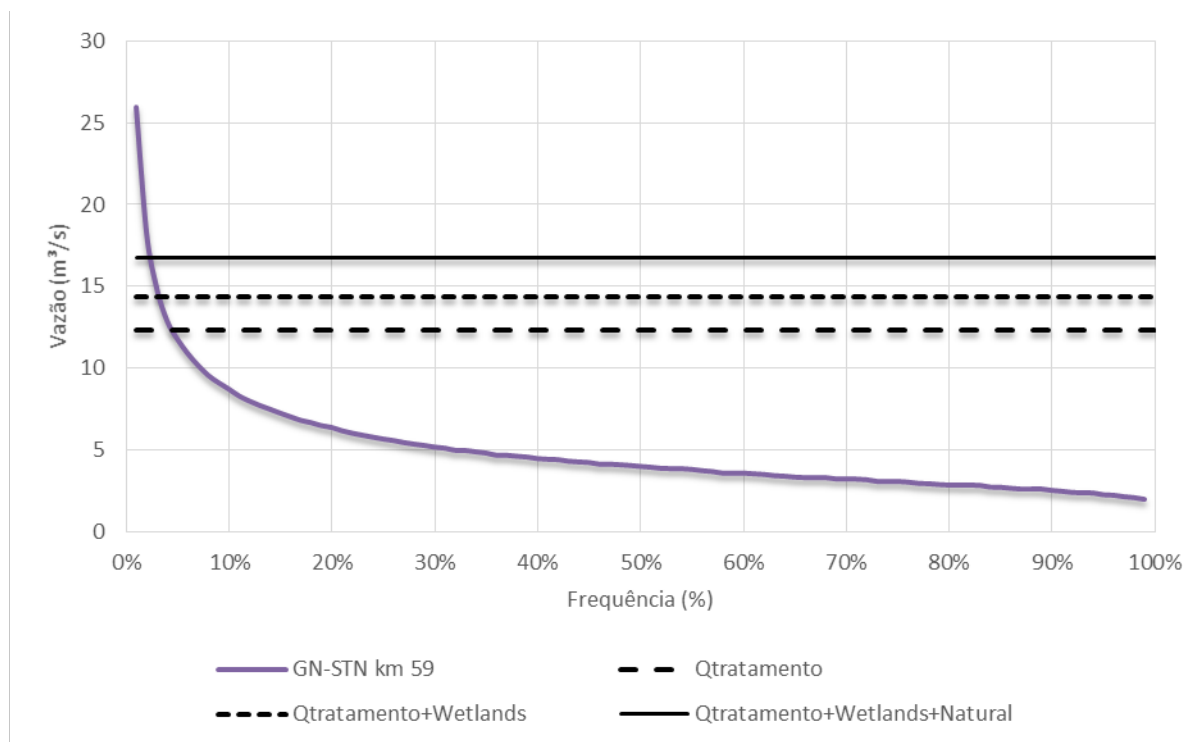


Figura 37: Curva de Permanência do ponto GN-STN Km 59

Na Figura 38 estão apresentadas as médias mensais na seção do km 59, podendo ser observado que em todos os meses do ano a capacidade de tratamento nas bacias de sedimentação é superior à média mensal.

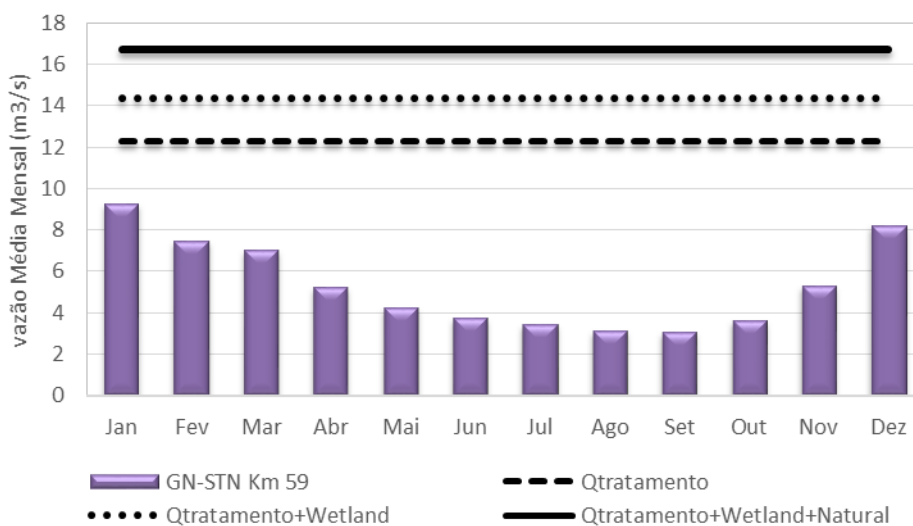


Figura 38: Vazões médias mensais da série histórica no ponto GN-STN Km 59

- GN-STN Km 48

A vazão média calculada do ponto GN-STN Km 48 é 6,3 m³/s e sua área da bacia de contribuição é 260 km². A capacidade de tratamento nas bacias de sedimentação deste sistema foi dimensionada em 6,2

m³/s. Além disso, a modo de análise na Figura 40, encontram-se representadas de forma aproximada a parcela de vazão de que será desviada de forma direta às *wetlands* e a parcela de vazão que não entrará ao sistema de tratamento, e assim continuará de forma natural no rio. A somatória destas três parcelas corresponde aproximadamente à frequência de vazões do 15% (Q15), sendo assim, 85% das vazões que passam por essa seção atingirão os 100 NTU desejados, conforme apresentado na Figura 40.

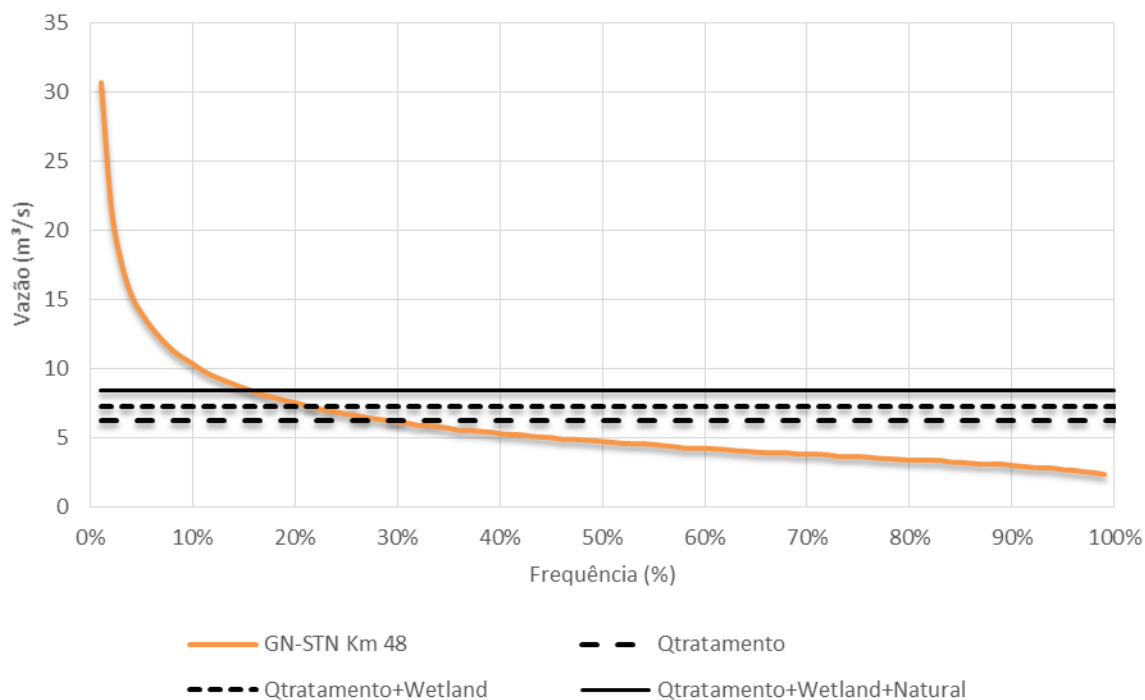


Figura 39: Curva de Permanência do ponto GN-STN Km 48

Na Figura 40 estão apresentadas as médias mensais na seção do km 48, observando-se que na grande maioria dos meses do ano a capacidade de tratamento é superior à média mensal, com exceção dos meses de cheias (janeiro, fevereiro, março e dezembro).

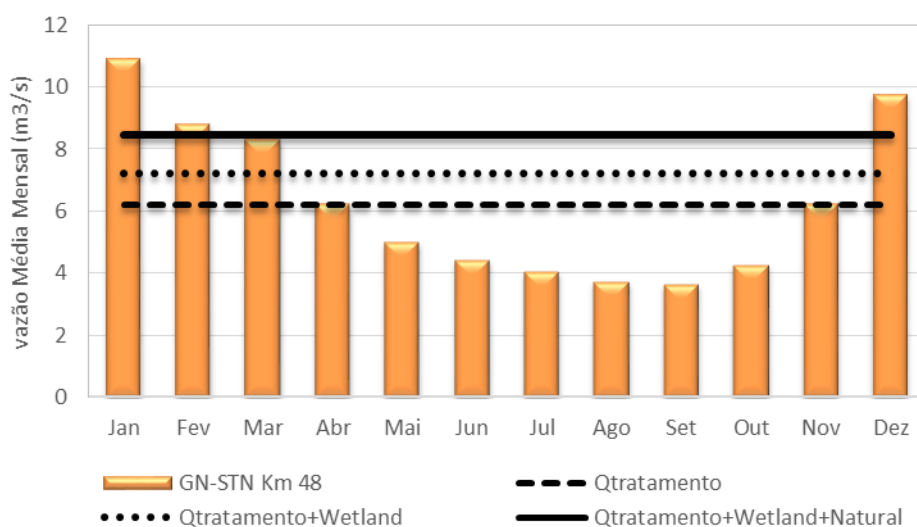


Figura 40: Vazões médias mensais da série histórica no ponto GN-STN Km 48

- GN-STN Km 14

A vazão média calculada do ponto GN-STN Km 14 é $10,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e sua área da bacia de contribuição é 426 km^2 . A capacidade de tratamento nas bacias de sedimentação deste sistema foi dimensionada em $12,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Além disso, a modo de análise na Figura 41, encontram-se representadas de forma aproximada a parcela de vazão de que será desviada de forma direta às *wetlands* e a parcela de vazão que não entrará ao sistema de tratamento, e assim continuará de forma natural no rio. A somatória destas três parcelas corresponde à frequência de vazões do 10% (Q5), sendo assim, 90% vazões que passam por essa seção atingirão os 100 NTU desejados, conforme apresentado na Figura 41.

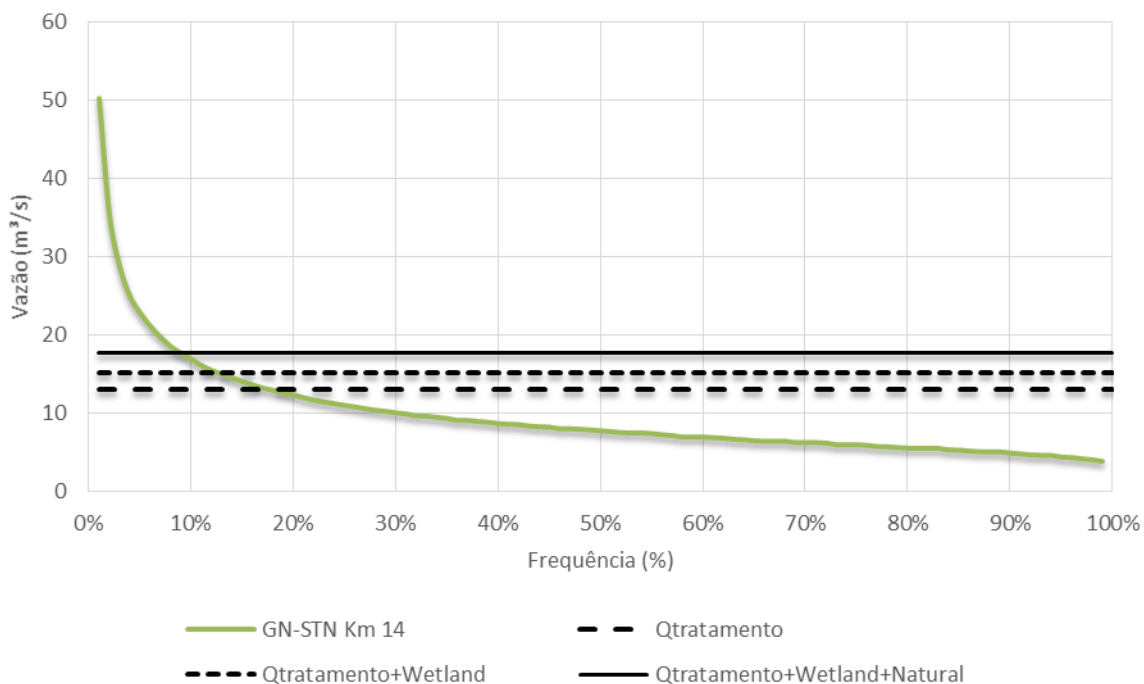


Figura 41: Curva de Permanência do ponto GN-STN Km 14

Na Figura 42 estão apresentadas as médias mensais na seção do km 48, observando-se que na grande maioria dos meses do ano a capacidade de tratamento é superior à média mensal, com exceção dos meses de cheias (janeiro, fevereiro, março e dezembro).

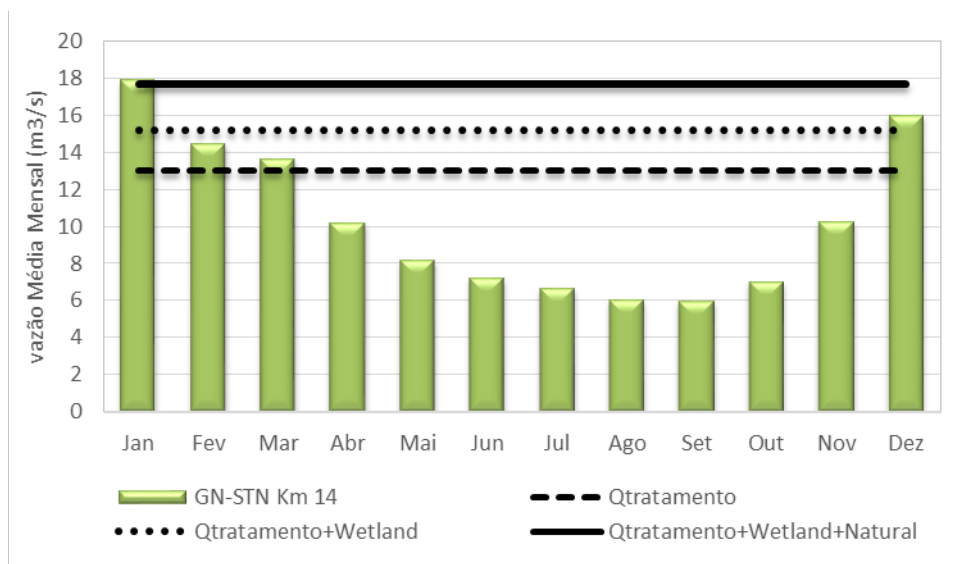


Figura 42: Vazões médias mensais da série histórica no ponto GN-STN Km 14

6.6.2 Balanço de Turbidez

A parcela de vazão que não é desviada para tratamento, a que só recebe tratamento nas *wetlands*, e a porção que recebe tratamento completo com coagulantes e floculantes mais *wetlands* mudarão continuamente com base na turbidez do rio e na vazão. Durante a estação seca, quando as vazões e a turbidez são menores, as parcelas da vazão total do rio que ultrapassa o tratamento sem serem desviadas e a parcela do rio que só recebe tratamento nas *wetlands*, poderão aumentar de forma que o uso total de produtos químicos possa ser reduzido. Portanto, **a porcentagem do rio que se encontra exposta a concentrações ecotóxicas de coagulantes e floculantes será minimizada a todo momento para atingir os níveis de turbidez alvo com maior uso do tratamento natural nas *wetlands* e um mínimo uso do tratamento químico.**

Em função disso, a seguir são apresentados exemplos de como será o tratamento para diferentes situações de vazão e turbidez. É importante esclarecer que as concentrações necessárias de floculantes e coagulante para atingir os níveis desejáveis de turbidez nas bacias de sedimentação deverão ser determinados por meio de testes de bancada durante o desenvolvimento do projeto executivo.

Nos exemplos a seguir foi considerado que existem aportes de turbidez ao longo do rio, e que estes diminuem de montante a jusante em função da diluição que fornecem os tributários. Os níveis de turbidez nas bacias de sedimentação estão para cada STN, os quais variam em função dos valores de turbidez e a vazão no rio a fim de atender, sempre que possível, 100 NTU no descarte.

- Vazão Q50 (50% de excedência) e turbidez baixa (200 NTU) assumindo contribuições de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte –Figura 43

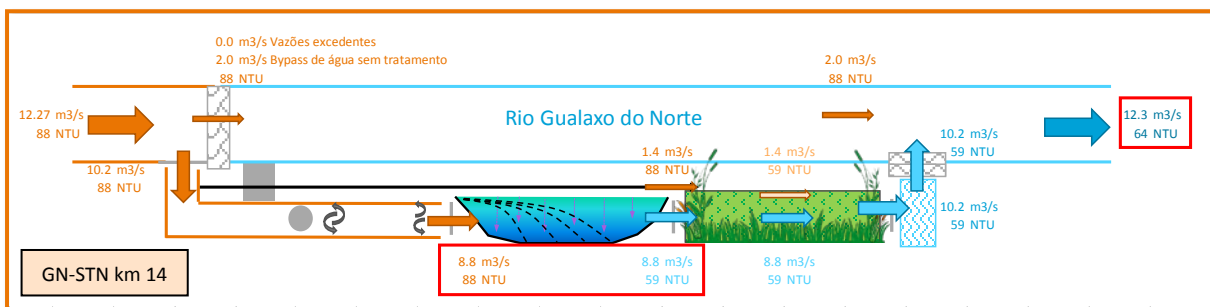
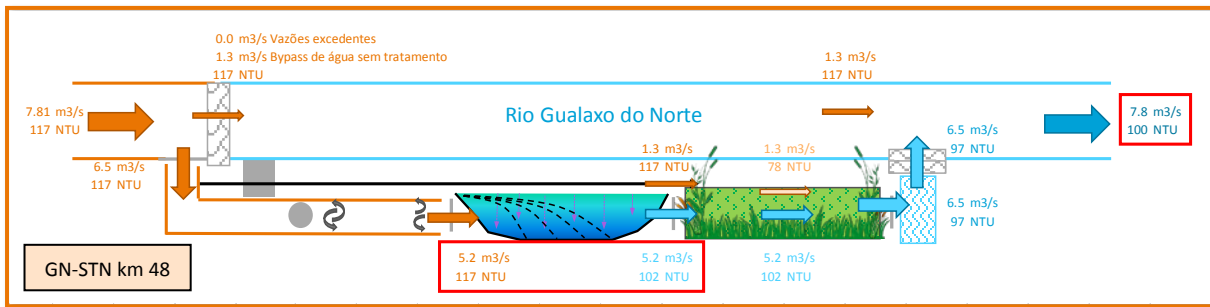
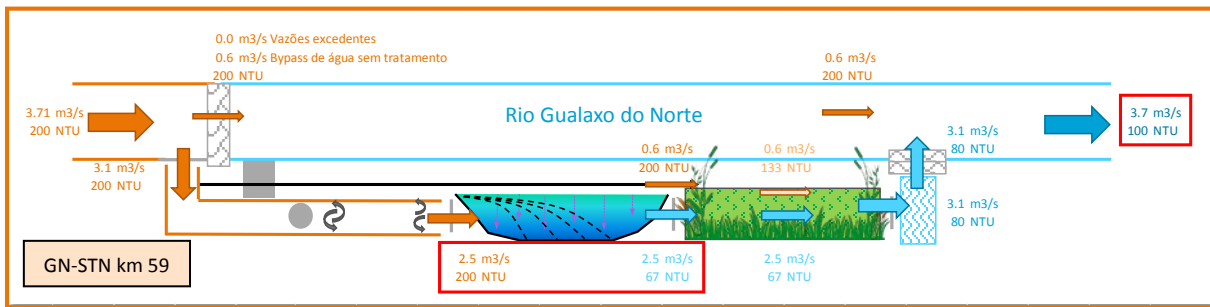
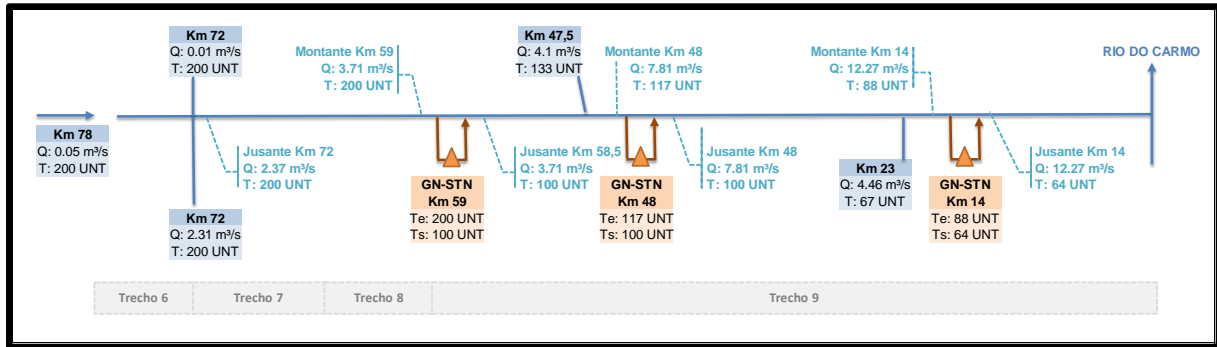


Figura 43: Exemplo com Q50 e Turbidez Baixa: rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.

- Vazão Q50 (50% de excedência) e turbidez média (350 NTU) assumindo contribuições de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte – Figura 44

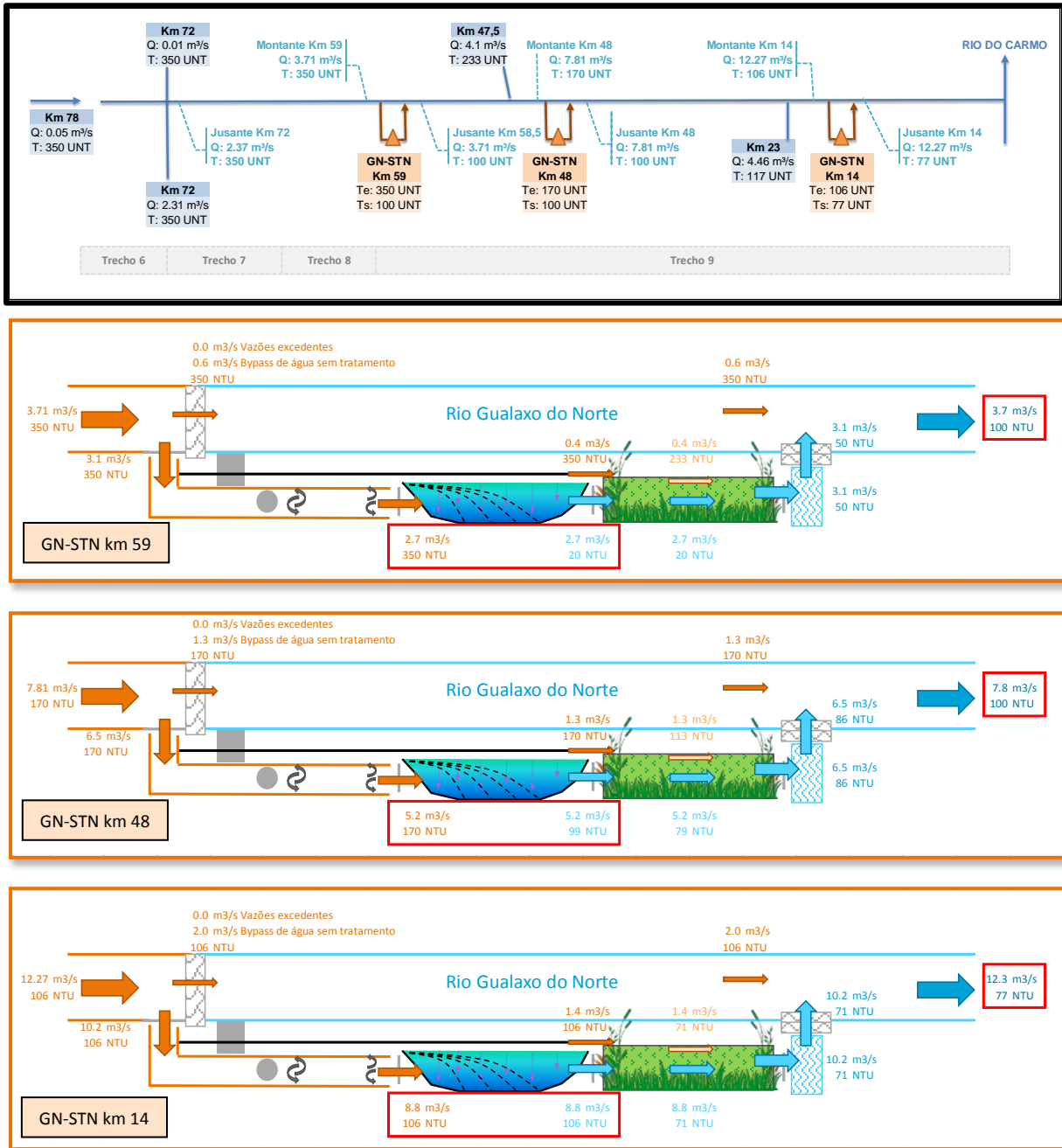


Figura 44: Exemplo com Q50 e Turbidez Média: rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.

- Período chuvoso com vazão Q10 (10 % de excedência) e turbidez elevada (650 NTU) assumindo contribuições de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte – Figura 45

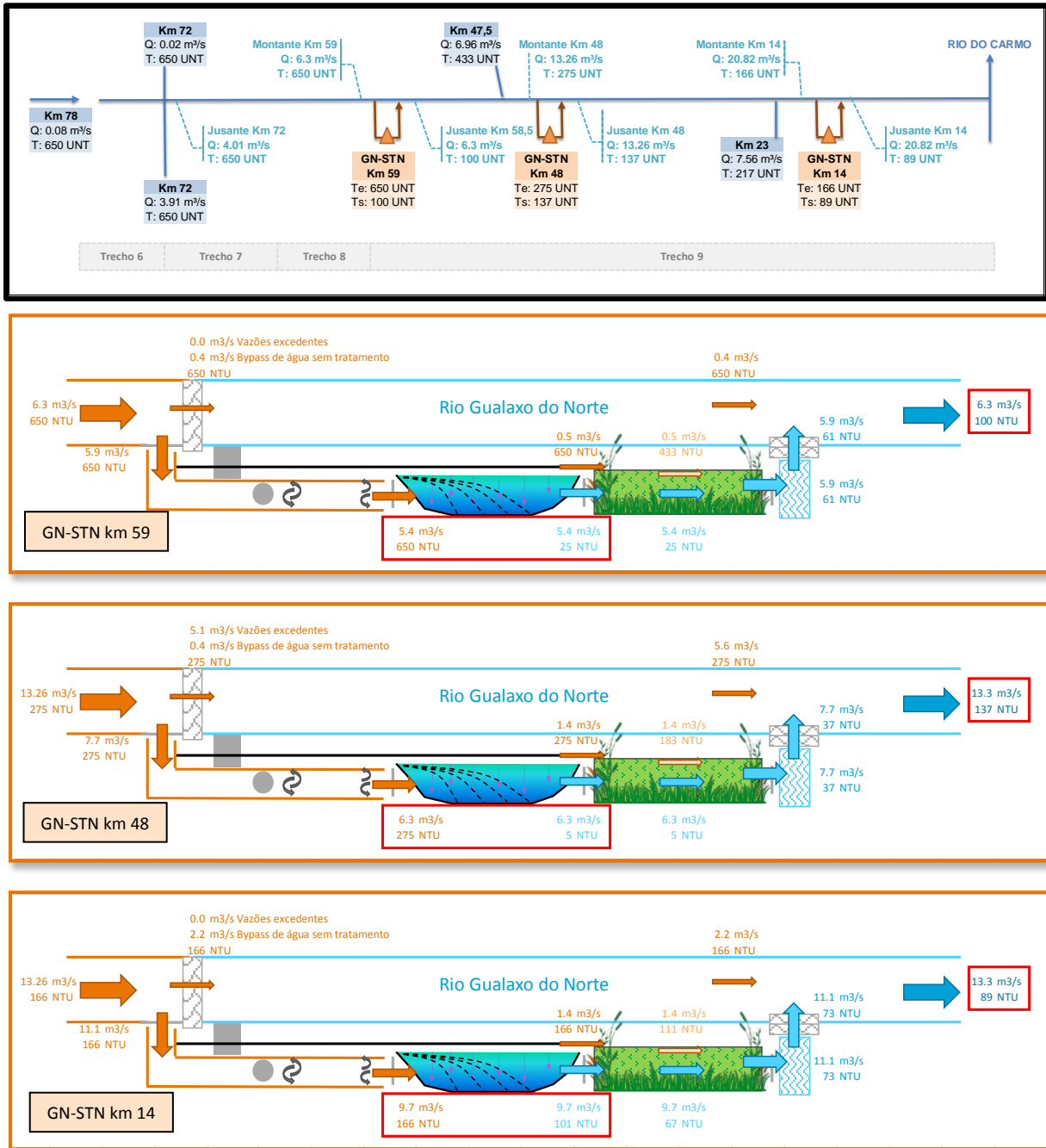


Figura 45: Exemplo com Q10 e Turbidez Elevada (650 NTU): rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.

- Período chuvoso com vazão Q10 (10 % de excedência) e turbidez muito elevada (1500 NTU) assumindo contribuições de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte – Figura 46

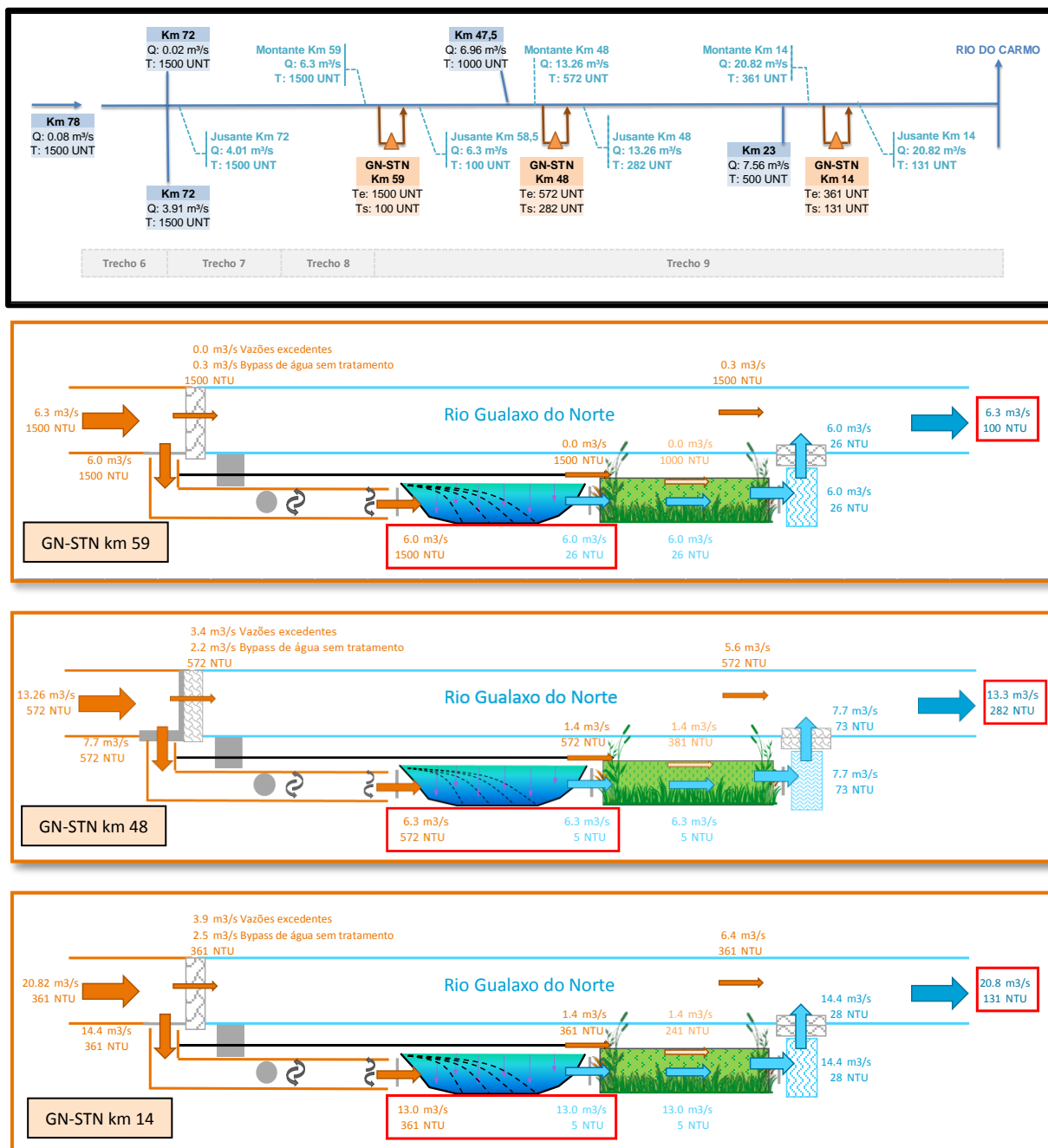


Figura 46: Exemplo com Q10 e Turbidez Muito Elevada (1000 NTU): rio Gualaxo do Norte assumindo contribuições ao longo do rio e resultados específicos nos STN GN-STN km 59, 48 e 14.

Os exemplos apresentados são ilustrativos e colaboram no entendimento da variação da turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte em função da vazão e dos aportes de turbidez. Apesar dos exemplos ilustrados assumirem aporte de turbidez ao longo do rio, estes auxiliam o entendimento da diluição da turbidez em função da parcela tratada e os aportes de tributários. A partir dos exemplos, observa-se que:

- No período de seca é possível atender o alvo de 100 NTU ao longo do rio Gualaxo do Norte, sendo possível também reduzir consideravelmente a turbidez no período chuvoso.

- A incorporação de diversos STN off-line ao longo do rio colabora na redução da adição de produtos químicos nas bacias de sedimentação, sendo que caso seja atingido o alvo de 100 NTU no primeiro STN off-line (km 59), nos STN seguintes pode não ser necessário adicionar produtos químicos nos períodos de seca.

6.7 Lavagem nos Eventos de Cheias

Visto que os STN off-line serão implantados em planícies aluvionares sujeitas a eventos de cheia, foi realizada uma análise do impacto na qualidade da água na eventualidade de um evento de cheia adentrar o sistema.

De acordo com os resultados compilados no Apêndice C, foram obtidos os níveis da água que o rio Gualaxo do Norte poderá atingir, em simulações da vazão do rio em diferentes tempos de retorno (TR).

Tendo em vista as alturas que foram projetadas as bermas que envolvem as bacias de sedimentação no projeto conceitual (Apêndice B) e nos resultados do Modelo Hidráulico, foram estabelecidos em quais vazões (e conseqüentemente em quais TR) ocorrerá transbordamento da água do rio para dentro das bacias de sedimentação.

Usando as vazões de cheia identificadas e, como exemplo, o lodo precipitado utilizando-se como coagulante um sal de alumínio, foram calculadas as concentrações de alumínio solúvel que é liberado na corrente do rio no caso de cheia que entre nas bacias de sedimentação.

Na Tabela 9 são mostradas as etapas da análise de diluição realizada para cada um dos sites em que foi realizado projeto conceitual (SN-STN km 14, km 48 e km 59).

Tabela 9: Análise de diluição do alumínio presente no lodo sedimentado em um evento de cheia do rio

	GN-STN km 14	GN-STN km 48	GN-STN km 59	Unidade
Altura da manta de lodo	1	1	1	m
Volume da manta de lodo	16.077	7.780	16.300	m ³
Teor de sólidos do lodo	2%	2%	2%	%
Densidade do lodo	1.020	1.020	1.020	kg/m ³
Parcela do lodo correspondente a sólidos removidos do rio	50%	50%	50%	%
Teor de alumínio no lodo	17%	17%	17%	%
Densidade de alumínio no lodo	3,53	3,53	3,53	kg/m ³
Massa de alumínio depositado nas bacias	56.764	27.469	57.552	kg
Alumínio disponível no lodo	3%	3%	3%	%
Vazão de enchente	238	173,6	196	m ³ /s
Concentração de alumínio na corrente	83	55	102	µg/L

Notas: foram feitas considerações a respeito do teor de sólidos no lodo, sua densidade e parcela do lodo que corresponde a sólidos removidos do rio. Esses valores são típicos e dentro de faixas comumente usadas para esse fim.

Considerando que o metal no lodo floculado está hidrolisado e estável em condições neutras, apenas uma pequena fração do mesmo é liberado em estado solúvel (~3%) e pode afetar negativamente o ecossistema aquático quando solubilizado pela vazão de água da cheia do rio. Na última linha da Tabela 9 é mostrada a concentração de alumínio solubilizado na água nas vazões de cheia do rio.

Do cálculo realizado, aprecia-se que um evento de cheia ressuspensão metal do lodo por um período de 24 h resulta em valores de concentração do metal abaixo de 0,1 mg/L.

6.8 Procedimentos para o Comissionamento e Descomissionamento dos STN Off-line

O comissionamento e startup são essências para providenciar soluções de problemas relacionados com os sistemas elétricos, de instrumentação e de alimentação química. Devem ser identificadas modificações que possam otimizar o desempenho do tratamento, como dosagens de químicos em níveis ótimos e abertura de comportas.

O STN proposto possui, no entanto, um tempo de operação limitado. Uma vez que o rio Gualaxo do Norte atinja de forma natural os níveis desejados de turbidez, o sistema poderá ser desativado. Em vista das poucas estruturas de concreto que os STN off-line possuem, considera-se simples o processo de descomissionamento, o qual se dá em função das seguintes etapas:

- Remoção da estrutura de desvio de vazão para permitir o fluxo natural do rio;
- Demolição das estruturas de concreto (comportas, vertedouros, sistema de dosagem e extravasor);
- As bacias de sedimentação serão preenchidas com a própria terra removida, ou serão deixadas vazias caso seja desejo do proprietário da área (utilização para irrigação ou cultura de peixes);
- As *wetlands* permanecerão em serviço para providenciar vegetação ciliar ao rio;
- Executar terraplenagem para facilitar drenagem do site.

6.9 Critérios de Seleção das Áreas de Disposição do Material Removido durante a implantação das STN

A preparação das áreas onde serão implantadas as três STN off-line no rio Gualaxo do Norte, envolverá a remoção de parte do material depositado sobre as localidades selecionadas, por meio das atividades de escavação mecanizada, as quais seguirão rigorosamente a NBR 9.061 – Segurança de escavação a céu aberto.

Conforme apresentado na Seção 5 deste documento, a área total estimada para a implantação das três STN off-line desenvolvidas a nível de projeto conceitual é de 30 ha, a qual está distribuída da seguinte forma entre cada STN conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Área total estimada para a implantação das STN Off-Line

ID	Localização no rio Gualaxo do Norte	Área (m ²)
GN-STN km 14	km 14	123.200
GN-STN km 48	km 48	63.000
GN-STN km 59	km 59	111.532

As áreas supramencionadas serão localizadas conforme apresentado na Seção 5.1.

Estima-se que durante as atividades de escavação serão gerados cerca de 532.400 m³ de material removido, cuja proveniência está discriminada na Tabela 11.

Tabela 11: Volume total Gerado produto dos trabalhos para a implantação das STN Off-Line

ID	Localização no Rio Gualaxo do Norte	Voume Gerado (m ³)
GN-STN km 14	km 14	240.986
GN-STN km 48	km 48	124.043
GN-STN km 59	km 59	200.751

O material a ser escavado e removido, será enviado para áreas de disposição em localidades pré-determinadas e mapeadas pela Fundação Renova.

Contudo, com o objetivo de viabilizar as operações de transporte e disposição, foi adotado um critério de priorização para seleção das áreas, o qual será apresentado adiante neste documento. As informações aqui apresentadas são preliminares e requerem estudos aprofundados para que se obtenha precisão nos dados e avaliações.

Será adotada uma ordem de prioridade em relação ao uso das áreas preliminarmente mapeadas para disposição do material escavado, considerando-se as distâncias dos locais de extração, viabilidade logística, capacidade de recebimento, avaliações geotécnicas, acessos e licenciamento. Os critérios de priorização deverão ser validados pela Fundação Renova.

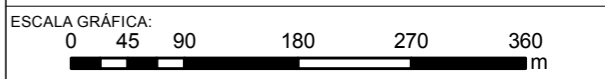
6.9.1 Análise de Viabilidade Logística

As distâncias estimadas entre as áreas de remoção e disposição foram avaliadas com o intuito de minimizar os riscos e os custos do transporte. Por meio da interpretação de imagens aéreas disponíveis para disposição do material escavado, constata-se que as áreas priorizadas segundo a distância, possuem em sua maioria, acesso parcial, ocorrendo a necessidade de obras de adequação para trânsito de máquinas e caminhões.

As figuras a seguir apresentam as áreas preferenciais considerando-se a distâncias e as recomendações de acesso:



- LEGENDA:
- Acesso da GN - STN km 14 para a área de disposição preferencial (594m)
 - Quilometro contado a partir da foz do rio gualaxo com a junção com o rio do Carmo
 - Área de disposição
 - GN-STN km 14



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

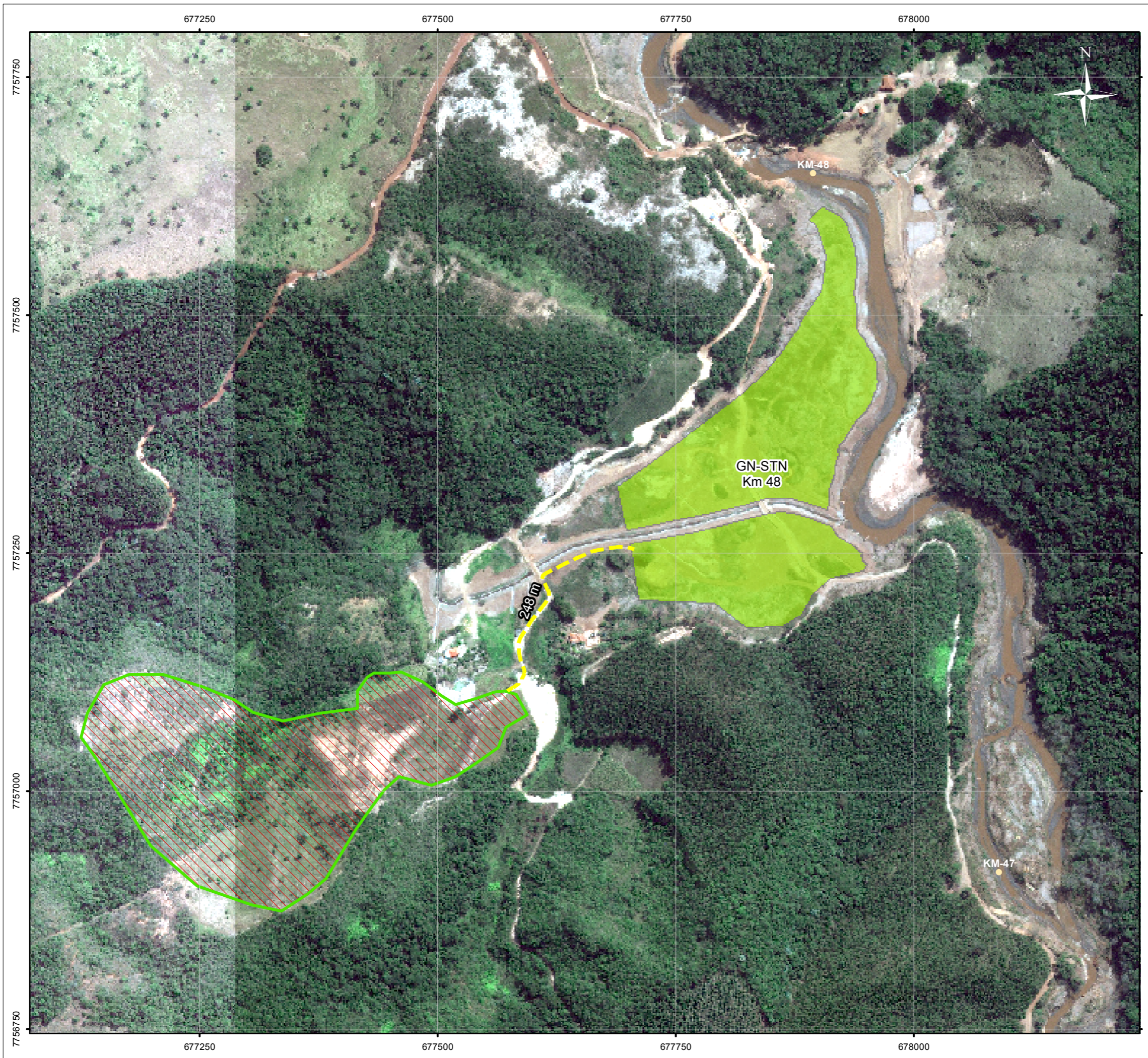
REFERÊNCIA:
Worldview Geoeye, 04/05/2016



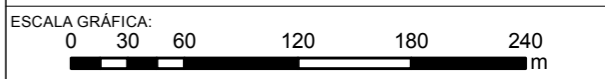
TÍTULO:
Figura 47
Distância e Acesso entre GN - STN km 14 e
Áreas de Disposição Preferencial

PROJETO: Projeto Conceitual dos Sistemas de Tratamento Natural Off-Line - Trechos 6 a 9 do Rio Gualaxo do Norte

ESCALA: 1:6.000	DATA: 31/05/2017	PROJ.: rutima	VERIF.: DF	APROV.: AG	REV.: RA0
--------------------	---------------------	------------------	---------------	---------------	--------------



- LEGENDA:
- Acesso da GN – STN km 48 para a área de disposição preferencial (248 m)
 - Quilometro contado a partir da foz do rio gualaxo com a junção com o rio do Carmo
 - Área de disposição
 - GN-STN km 48



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Worldview Geoeye, 04/05/2016



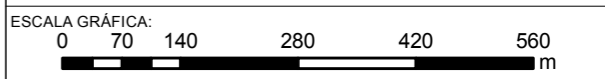
TÍTULO:
Figura 48
Distância e Acesso entre GN – STN km 48 e
Áreas de Disposição Preferencial

PROJETO: Projeto Conceitual dos Sistemas de Tratamento Natural Off-Line - Trechos 6 a 9 do Rio Gualaxo do Norte

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:4.000	31/05/2017	rutima	DF	AG	RA0



- LEGENDA:
- - - Acesso da GN – STN km 59 para a área de disposição preferencial (3403m)
 - Quilometro contado a partir da foz do rio gualaxo com a junção com o rio do Carmo
 - Área de disposição
 - GN-STN km 59



NOTAS:
Datum Horizontal: UTM SIRGAS 2000, FUSO 23S

REFERÊNCIA:
Worldview Geoeye, 04/05/2016



TÍTULO:
Figura 49
Distância e Acesso entre GN – STN km 59 e
Áreas de Disposição Preferencial

PROJETO: Projeto Conceitual dos Sistemas de Tratamento Natural Off-Line - Trechos 6 a 9 do Rio Gualaxo do Norte

ESCALA:	DATA:	PROJ.:	VERIF.:	APROV.:	REV.:
1:9.000	31/05/2017	rutima	DF	AG	RA0

Cabe salientar que as áreas preliminarmente selecionadas para a disposição, bem como as recomendações de acesso, são considerações a serem validadas pela Fundação Renova. As obras para adequação dos acessos e vias serão desenvolvidas durante a execução do projeto executivo.

6.9.2 Capacidade de Recebimento e Avaliações Geotécnicas

As informações relacionadas a capacidade de recebimento e estudos geotécnicos de cada área preterida para disposição do material escavado, deverão ser obtidas e enviadas pela Fundação Renova durante a execução do projeto executivo, as quais sofrerão avaliação para que se confirmem os dados e os estudos para o projeto de disposição.

6.9.3 Permissões

Posteriormente ao processo de tomada de decisão quanto à definição das áreas preteridas, deverão ser iniciados os processos de permissão para utilização das mesmas, uma vez que algumas das áreas não são de propriedade da SAMARCO e estarão sujeitas a aprovação de seus proprietários.

O planejamento e execução da abordagem e possíveis negociações com os proprietários serão de responsabilidade da Fundação Renova.

6.9.4 Licenciamento e Adequação das Áreas de Disposição

A Fundação Renova irá conduzir as ações relativas ao licenciamento das áreas de disposição final.

7 Próximos Passos

No presente documento foi apresentado o projeto conceitual de três STN off-line ao longo do rio Gualaxo do Norte. O próximo passo é o desenvolvimento do projeto executivo ou final, o qual servirá de base para a construção dos STN. Para isso, será necessário completar os estudos listados a seguir os quais fornecerão dados para o projeto dos STN.

7.1 Teste de Bancada

Será necessário realizar estudos de tratabilidade para selecionar um coagulante, avaliar a dosagem de floculante, alcalinidade, e para estimar o volume e a densidade de lodo produzido. Sugere-se avaliar três coagulantes: sulfato de alumínio, cloreto de polialumínio (PAC) e cloridrato de alumínio. O auxiliar de coagulante será um polímero orgânico. O teste de bancada será conduzido utilizando um aparelho de *Jar Testing*. Os parâmetros turbidez, pH e condutividade deverão ser monitorados durante o ensaio.

Serão coletadas amostras adicionais para testes laboratoriais para medição de alcalinidade, cátions, ânions, dureza, carbono orgânico, distribuição de tamanhos de partículas, sólidos totais, sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão da água tratada e não tratados e dos lodos. Os testes serão realizados para cada um dos três sites com água extraída do rio Gualaxo do Norte. O protocolo e os resultados dos testes deverão ser resumidos em um memorando técnico preliminar e final.

7.2 Monitoramento da Qualidade da Água

Deverão ser coletadas amostras de qualidade da água do rio Gualaxo do Norte em cada um dos três sites para fornecer dados de qualidade da água para a elaboração do projeto final. Medições de campo devem ser realizadas e as amostras devem ser coletadas e transportadas para um laboratório que analise a qualidade da água do material coletado. As medições devem incluir os parâmetros: distribuição do tamanho das partículas, pH, turbidez, alcalinidade, cátions, ânions, dureza, carbono orgânico, sólidos totais, sólidos suspensos totais, e sólidos dissolvidos totais. Um total de 26 amostras para cada site devem ser coletadas ao longo de um período de 13 dias.

7.3 Relatório Geotécnico

Para a execução do projeto final de cada um dos STN off-line será necessário conduzir uma investigação geotécnica para determinar a profundidade dos rejeitos e do solo no local, e avaliar as propriedades de engenharia dos solos no site. A investigação deve incluir pelo menos um total de 8 sondagens para cada site, com profundidade de até 4 metros por sondagem (este número pode ser superior, a depender de análise particular por site). Os objetivos da investigação são:

- Reconhecimento do local, pesquisa e revisão de documentos existentes;
- Investigações de campo para observar os solos do local, obtenção de amostras de solo e coleta de dados necessários para avaliações de engenharia e preparação de perfis de sondagem, incluindo serviços de investigação subterrânea e por volta de 10 perfurações utilizando trado manual para observar a profundidade de depósitos de sedimentos e perfis do solo nativo.
- Testes de laboratórios e análises geotécnicas e das propriedades dos índices físicos do solo. Os testes incluirão propriedades dos índices físicos do solo, características de classificação, gradação, plasticidade, cisalhamento direto, consolidação e teor de umidade natural;

- Realização de um relatório geotécnico completo:
 - Descrever e documentar a revisão de documentos, investigações e observações do site, análises laboratoriais e avaliações de engenharia;
 - Apresentar recomendações para:
 - Nivelamento e terraplanagem
 - Adequação de materiais para preenchimento estrutural de engenharia
 - Adequação de materiais para a construção de canais e bacias sem revestimento
 - Recomendações sobre fundações, incluindo capacidade de suporte e estimativas de assentamento total e diferencial
 - Projeto viário
 - Recomendações de preenchimento para utilidades enterradas
 - Drenagem do Site
 - Pressões laterais do solo e coeficiente de atrito
 - Construções em tempo chuvoso
 - Potencial de risco de erosão de solo
 - Potencial de encolhimento e expansão do solo
 - Especificações de terraplanagem e pavimentação

7.4 Topografia

A topografia para a execução do projeto final por site deve incluir:

- Uma avaliação topográfica do local (área de implantação completa)
- Seções transversais através do rio em intervalos de aproximadamente 50 m.
- Para os segmentos das seções transversais que não interceptam a área de interesse do site, estender pesquisa ao longo do solo até elevação mínima de 5 m acima da superfície do rio no momento da pesquisa.
- Devem ser geradas curvas de nível de 30 cm e os arquivos de superfície associados devem ser fornecidos.
- Estradas, calçadas, portões, cercas e outros recursos existentes serão localizados.
- Identificação de árvores

7.5 Batimetria

Um levantamento batimétrico do leito do rio adjacente a cada um dos sites deve ser executado. A pesquisa batimétrica deve incluir a área abaixo da superfície da água no momento da pesquisa e será coordenada com a pesquisa de projeto usando os mesmos Datum horizontal e vertical e a mesma seção transversal do rio, correspondendo as áreas superiores e inferiores da superfície da água. Os resultados da pesquisa batimétrica devem ser combinados com os dados da topografia do site para produzir um modelo digital de elevação e curvas de nível.

7.6 Modelo Hidráulico e Análise de Transporte de Sedimentos

Um modelo hidráulico bidimensional deve ser desenvolvido para cada um dos sites, devendo ser avaliado o alcance do mesmo. Adicionalmente, uma análise de transporte de sedimentos deve ser conduzida em coordenação com o desenvolvimento do modelo hidráulico. Os objetivos desse esforço são para responder as seguintes questões:

- Elevação da superfície da água em diferentes eventos de inundação para projetar aterros;
- Tensão de cisalhamento nos taludes do canal e estruturas de entrada nas vazões de projeto para proteção e estabilização dos taludes;
- Dinâmica de transporte de sedimentos na estrutura de desvio para auxiliar nas diferentes configurações de captação;
- Taxas esperadas de fluxo de transporte de sedimentos entrando no canal;

Um modelo tipo HEC-RAS pode ser utilizado para o modelo hidráulico e irá incorporar dados elaborados nas tarefas de topografia e batimetria. Adicionalmente, recomenda-se realizar um esforço de campo a fim de medir vazões do rio e transporte de sedimentos na coluna d'água.

8 Cronograma de Implantação das Soluções Apresentadas

A construção de um STN apresenta um cronograma reduzido, possibilitando a implantação do mesmo em até 5 meses. Desta maneira, viabiliza o solicitado, segundo o Termo de Transição e de Ajustamento de Conduta, assinado em 2 de março de 2016, no qual estabeleceu-se um prazo máximo de 3 (três) anos para atingir o os níveis de turbidez estabelecidos.

Existem duas alternativas de cronograma, as quais se encontram descritas e apresentadas na presente seção. A primeira, chamada “Implantação Imediata”, considera a realização dos estudos e levantamento de informações necessárias indicados na Seção 6 para o desenvolvimento do projeto executivo em paralelo com a realização do mesmo. Logo, para dar continuidade à construção, enquanto é realizado o projeto executivo, o mesmo pode ser entregue em pacotes mensais. Desta maneira, a construção de um STN off-line poderá começar, uma vez finalizado o primeiro pacote do projeto executivo a ser realizado, o projeto de remoção e disposição de sedimentos e vias de acesso.

O segundo pacote será o da escavação da bacia de sedimentação, onde a empreiteira encarregada de realizar os trabalhos de movimentação de solos, conseguirá dar início às atividades, tarefa essa que deverá ser realizada durante o período de secas para evitar problemas durante a construção. Os pacotes a serem entregues a seguir incluirão desenhos e especificações para a execução de taludes, escavações, estruturas de canais, sistema de alimentação química, plantações das *wetlands*, eletricidade e controles e melhorias no local.

A segunda entrega também incluirá uma lista de equipamentos e especificações para que os equipamentos possam ser adquiridos com antecipação. Espera-se que a lista de equipamentos inclua comportas, tanques de armazenamento, bombas de alimentação química, instrumentação, controles, agitadores, equipamentos elétricos e geradores.

Este cronograma de “Implantação Imediata” traz grandes desafios, mas será factível de ser executado considerando algumas premissas, a saber:

- Atrasos na mobilização e contratação do empreiteiro devem ser mínimos;
- As questões relacionadas com licenciamento serão identificadas e resolvidas de forma antecipada.
- As negociações com os proprietários das terras onde serão implantas os STN Off-line estejam resolvidas.

Desta maneira, considerando as premissas previamente apresentadas e considerando a execução em paralelo dos estudos e levantamento de dados com a elaboração do projeto executivo e a construção, é possível a implantação de um STN off-line em até 5 meses.

A segunda alternativa de cronograma considera a sequência lógica esperada dos trabalhos. Nesse caso, serão primeiramente executados os estudos e levantamento de dados no site, e sequencialmente poderá ser iniciada a elaboração do projeto executivo. Uma vez que este estiver finalizado, poderá ser efetuado o processo licitatório para contratação da empreiteira que executará as obras dos STN off-line. Ambas abordagens de cronograma encontram-se apresentadas na Figura 50.

8 – CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DAS SOLUÇÕES APRESENTADAS

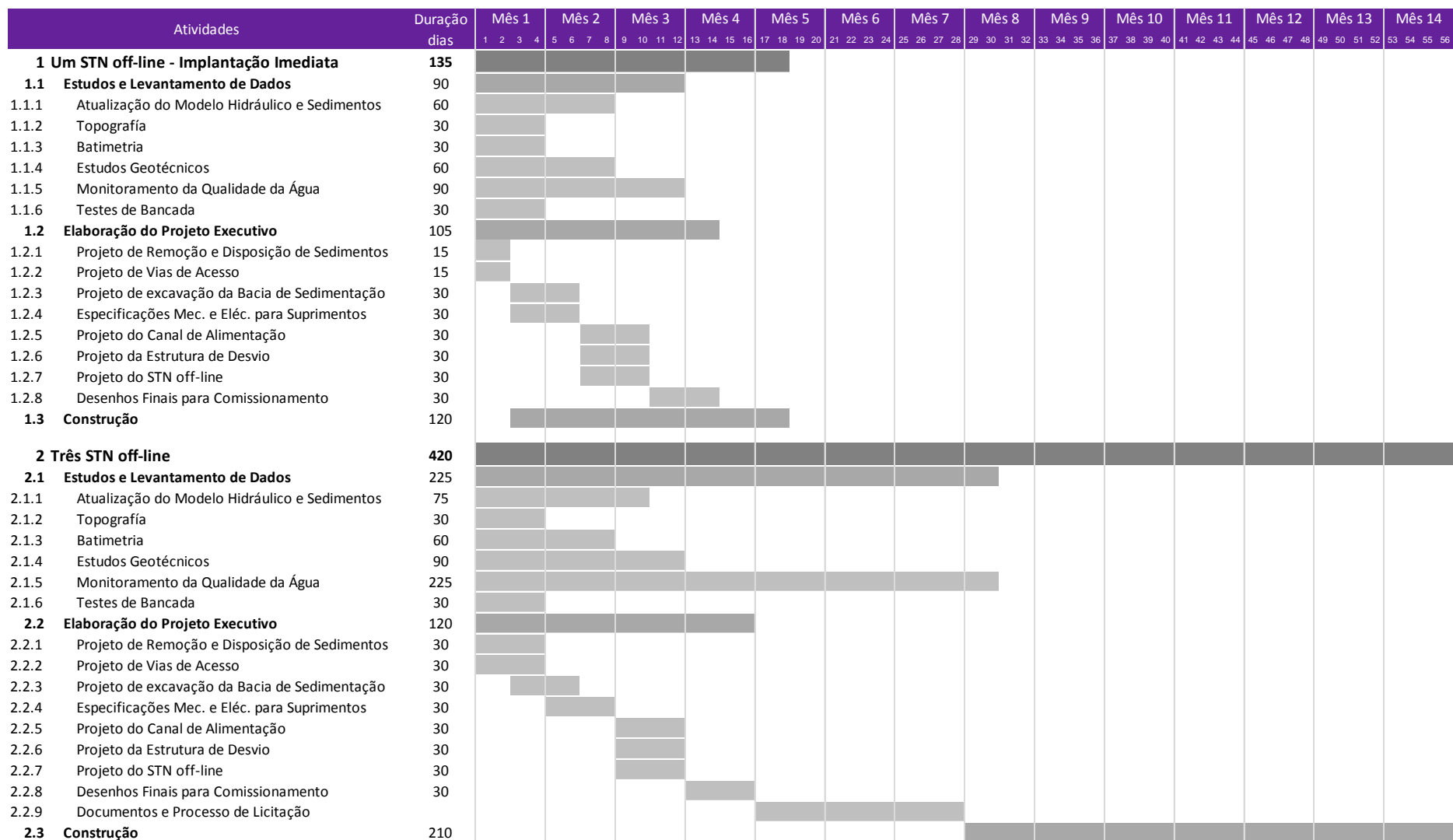


Figura 50: Cronograma de elaboração do Projeto Executivo e Construção dos STN off-line

9 Conclusões e Recomendações

No presente relatório foi desenvolvido o projeto conceitual de três Sistemas de Tratamento Natural (STN) Off-line ao longo do rio Gualaxo do Norte. Estes STN contribuirão com a redução da turbidez do rio até valores admissíveis, objetivado atingir 100 NTU durante o período seco conforme indicado no segundo o Termo de Transição e de Ajustamento de Conduta (TAC), assinado em 2 de março de 2016.

Busca-se através da solução apresentada:

- Uma eficaz e definitiva remoção da turbidez da calha do rio Gualaxo do Norte no período seco, reduzindo esses níveis também no período chuvoso;
- Evitar efeitos ecotoxicológicos colaterais e colaborar com a rápida restauração da saúde do rio Gualaxo do Norte, buscando o retorno da vida aquática;
- Contemplar e minimizar os impactos ambientais e impactos na dinâmica do rio decorrentes da construção das soluções alternativas;

Por intermédio da visita de campo foram identificados sete potenciais sites de implantação, sendo por fim escolhidos os três que atendam da melhor forma os requisitos técnicos: maior área disponível na planície aluvionar, possui distribuição ao longo do rio Gualaxo do Norte, não requer bombeamento e minimiza a área de represamento a montante da estrutura de desvio (procurando um local que reproduza a queda natural, sem mudar a dinâmica natural do rio).

Os cálculos e estudos apresentados no presente relatório fornecem as bases para a elaboração do projeto conceitual, sendo necessário aprimorá-los durante a fase do projeto executivo.

Durante a elaboração do projeto conceitual dos três STN off-line, observou-se que todos eles comportam uma vazão suficiente para atender o alvo de 100 NTU no período seco. Os STN conseguem também tratar uma grande parcela de vazão no período chuvoso, reduzindo de forma considerável os valores de turbidez ao longo do rio Gualaxo do Norte.

Com base em estudos anteriores, no conhecimento do processo e experiência, é esperado que a aplicação de um coagulante a base de um sal metálico não atinja níveis de ecotoxicidade aguda ou crônica durante a operação normal do STN. Um sistema operando com alcalinidade e agitação adequadas deverão prover as condições ideais para que o metal reaja completamente. No entanto é de extrema importância que testes de bancada sejam realizados para a seleção rigorosa do tipo de produto químico a ser utilizado, e sua dosagem.

Ainda no tocante a limites de ecotoxicidade, foi conduzida uma análise da possível concentração de metal dissolvido com base nas vazões da modelagem hidráulica e em considerações feitas em relação a quantidade de metal sedimentado no lodo das bacias de sedimentação do STN. Um evento de cheia ressuspendendo metal do lodo por um período de 24 h resultou em valores de concentração do metal abaixo de 0,1 mg/L. Embora o valor esteja abaixo daqueles mostrados pelo estudo citado nesse relatório, uma investigação mais detalhada deve ser realizada após definição de qual combinação de coagulante e floculante será utilizada na operação do STN.

Uma das grandes vantagens deste tipo de sistema de tratamento, é que o mesmo possui um reduzido cronograma de implantação. Em função da necessidade de implantação de pelo um STN off-line antes do início do período de chuvas de 2017, foi proposto na Seção 8 um cronograma de “Implantação Imediata”, que considera diversas premissas da execução em paralelo aos estudos e levantamento de

dados com a elaboração do projeto executivo e construção, possibilitando a implantação de um STN off-line em até 5 meses.

Em função da criteriosa seleção de possíveis locais para a implantação dos STN off-line, dos sete locais previamente identificados três foram selecionados: nos km 14, 48 e 59. A recomendação desse relatório é o início das obras pelo site **GN-STN km 48**, pelos seguintes motivos:

- Localização: aproximadamente no meio do comprimento do rio Gualaxo do Norte, sendo menos suscetível a resultar em níveis de turbidez elevados na foz do rio;
- Área de represamento: no projeto conceitual foi identificado que a construção da estrutura de desvio de vazão do site GN-STN km 48 resultará na menor área e comprimento do rio afetados pelo represamento, dos três sites estudados;
- Volume de corte / área do site: o site do km 48 apresenta a menor área dos três sites selecionados, e por esse motivo a implementação do STN no mesmo será mais acelerada quando comparado a outros sites. O volume de corte de terra nesse site chega a 60% dos outros.
- Presença de estradas / acessos: o site GN-STN km 48, assim como o site do km 14, é diretamente acessível por estradas já disponíveis, o que facilitaria o início imediato das obras.

Levando em conta o cronograma com sequência lógica apresentado na Seção 8, os STN off-line km 59 e km 14, poderão ser construídos ao longo de 2018. Desta maneira, o TTAC poderá ser atendido no tempo estabelecido.

10 Referências

- ANA, Agência Nacional de Águas. Hidroweb da ANA. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>
- APLYSIA, Soluções Ambientais (2017). Avaliação dos Possíveis Efeitos do Uso Contínuo de Floculantes e Coagulantes no Ambiente. Relatório Técnico nº 836/2017 - Revisão 00.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2015). Resolução CONAMA Nº357, de 17 de Março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- COPAM/CERH-MG, Conselho Estadual de Política Ambiental e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (2008). Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/DeliberaNormativaConjuntaCOPAM-CERHno01-2008.pdf>
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portal InfoHidro. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/serie-historica>
- ODEQ, Oregon Department of Environmental Quality (2010). Turbidity Technical Review: Summary of Sources, Effects, and Issues Related to Revising the Statewide Water Quality Standard for Turbidity. Disponível em: <http://www.deq.state.or.us/wq/standards/docs/Turbidity/10-WQ-022.pdf>
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. TTAC, Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (2016).

Apêndice A

Exemplos Internacionais de Implantação de STN Off-line

Utilização de *Wetlands* para Tratamento de Água no Brasil

A utilização de *wetlands* para o tratamento de água é uma tecnologia utilizada em várias partes mundo desde a década de 1950, sendo aplicado no Brasil desde a década de 1980 no tratamento de águas residuais. O primeiro uso deste tipo de sistema foi para melhoria da qualidade da água, como nos processos fitopedológicos no meio rural, contudo não demorou muito para este sistema ser utilizado no tratamento de esgoto doméstico e industrial. Na década de 2000 houve uma maior intensificação da utilização e aplicação de *wetlands* em diversas regiões do Brasil, com diversas finalidades, formas, meios filtrantes e espécies de plantas empregadas (Sezerino et al., 2015).

Em um levantamento executado pelo estudo intitulado “Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais” os resultados demonstram as diversas finalidades para o tratamento de afluente, as áreas utilizadas, os tipos de materiais filtrantes e o tempo de retenção hidráulica utilizados nos sistemas de *wetlands* construídos e publicados no Brasil até o ano de 2011.

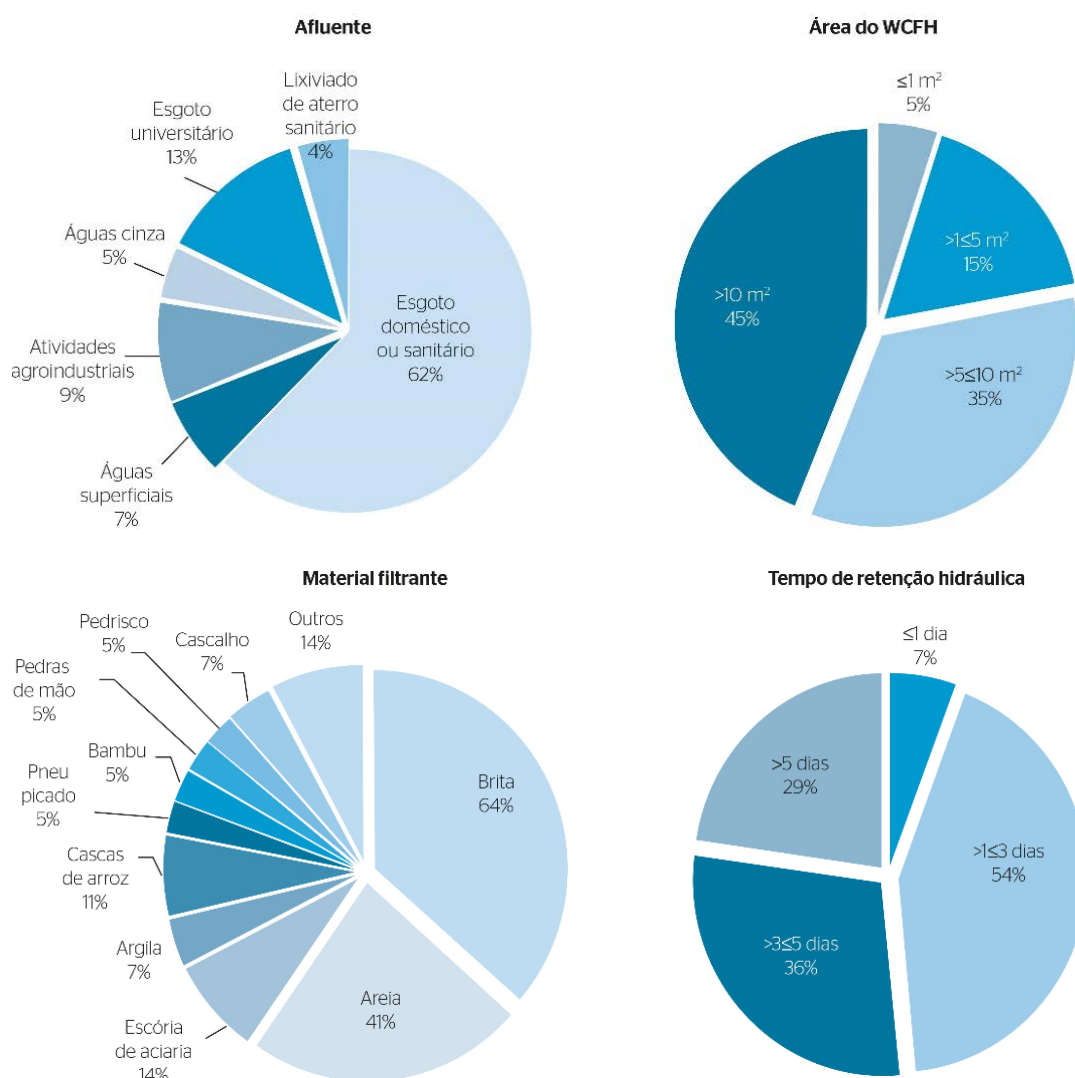


Figura ApA 1: Variações nas composições de *wetlands* de fluxo horizontal (afluente, área, material filtrante e tempo de retenção) dos estudos publicados no Brasil até o ano de 2011. (Retirado de Sezerino et al., 2015)

Conforme indicado no levantamento, a maior parte dos *wetlands* instalados no Brasil foram implementados com finalidade do tratamento de esgoto doméstico ou sanitário (62%), e 7% de todos os *wetlands* instalados até 2011 foram utilizados para o tratamento de água superficiais.

Um estudo, realizado pela UNESP, conduzidos em escala de laboratório para avaliação de um processo alternativo de tratamento da água no Rio Corumbataí, indicaram resultados positivos para a utilização de *wetlands* no tratamento de águas superficiais, com eficiências de redução de turbidez acima de 85%, entre outros parâmetros (Borges et al. 2008).

Apesar da grande maioria dos *wetlands* construídos terem a finalidade do tratamento de esgoto, vários estudos indicam a redução da turbidez como resultado do tratamento (Foelkel, 2014).

Algumas Experiências Internacionais com *Wetlands*

Zeunor- Neuner Natural Treatment System – Roseburg, Oregon, Estados Unidos

O Sistema de Tratamento Natural Zeunor-Neuner foi premiado como o projeto do ano de melhoria de qualidade de água global pela *Water Environment Federation*. Projetada, construída e operada pela CH2M em 2013, o empreendimento trata a água com um sistema natural fazendo uso de *wetlands* antes de desaguar no Córrego Sylman.

A Bacia do Córrego Sylman é de 1350 acres e possui um desnível de 150 metros. O Córrego Sylman era originalmente um corpo hídrico intermitente com ocorrência de vazão de novembro à março. Hoje, com a implementação do projeto, há uma vazão ao longo de todo o ano.

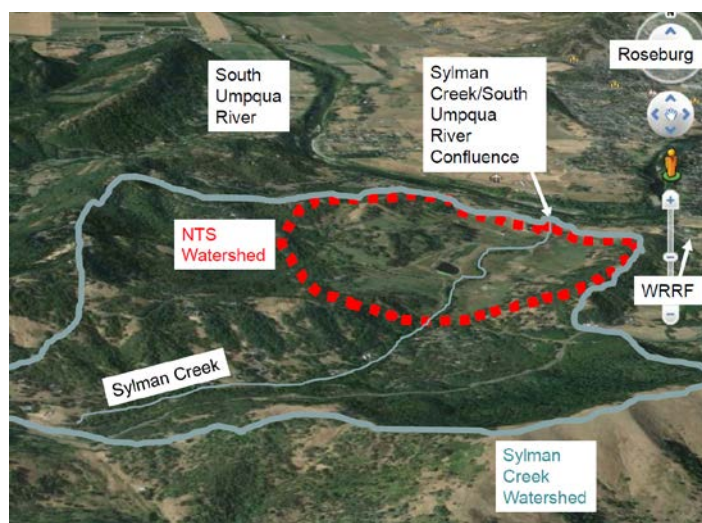


Figura ApA 2: Bacia do Córrego Sylman

O sistema de *wetlands* é reforçado por tratamento utilizando Sulfato de Alumínio 48% e dosado a 10 mg/L para redução de turbidez e remoção de fósforo. Um sistema de bombeamento foi desenvolvido para realizar medição de turbidez e para armazenamento do sulfato de alumínio. O produto só é adicionado à água em momentos de alta vazão quando a turbidez aumenta.

Entre os principais resultados positivos deste projeto estão:

- 0,15 mg/L de fósforo total
- 2,0 mg/L de nitrogênio inorgânico dissolvido
- 0,09 mg/L de amônia

- 2,4 mg/L de sólidos em suspensão
- 0,0 mg/L de cloro
- Média de 7 °C retirados do efluente
- Média de 7,8 PH
- Média 8,5 mg/L de oxigênio dissolvido
- Corpo receptor com visível melhora na qualidade



Figura ApA 3: Efluente sem tratamento à esquerda e após tratamento à direita

O resultado foi uma grande melhoria na qualidade de água do Rio Umpqua, que recebe água do Córrego Sylman.



Figura ApA 4: Comparação do Rio Umpqua antes e depois da implementação do Sistema de Tratamento Natural

Tratamento por Wetlands Construídos – Clayton, Geórgia

Em Clayton County foi implementado um sistema inovador de reciclagem de água que utiliza *wetlands* construídos em conjunto com estação de tratamento e reservatórios, fornecendo água para uma área urbana densamente desenvolvida, mesmo durante condições severas de seca.

Durante 30 anos, o Clayton County Water Authority (CCWA) operou dois sistemas de aplicação de terras ou campos de irrigação por pulverização. A CH2M assistiu a CCWA na identificação do uso de

wetlands construídas como uma opção mais eficiente em termos de energia e uso do solo, além de ser um sistema fácil de manter, confiável e sustentável para o tratamento da água e prover aumento no abastecimento de água. A CH2M também forneceu serviços de engenharia durante o projeto e construção de todas as fases.

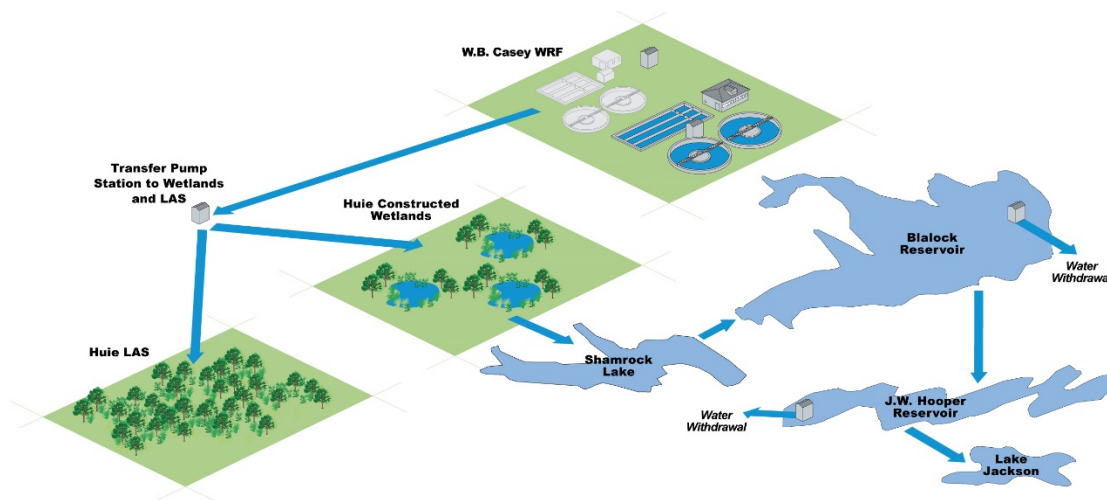


Figura ApA 5: Sistema de wetlands construídos e estações de tratamento e reservatórios existentes

As instalações de tratamento de águas residuais que descarregam para os *Wetlands* Construídos Huie apresentam tratamento primário e secundário, sendo o efluente encaminhado depois para as *wetlands* e, em seguida, flui para os reservatórios. Estes vários sistemas de tratamento fornecem uma abordagem de barreira múltipla para a recuperação da água e aumentam a remoção de turbidez, nutrientes, contaminantes microbianos, proporcionando um abastecimento seguro de água. Além disso, as *wetlands* construídas fornecem um amortecedor entre as plantas e os reservatórios em caso de mau funcionamento de alguma das plantas de tratamento.



Figura ApA 6: *Wetlands* Construídos Huie apresentam tratamento primário e secundário

A transição do sistema de irrigação para o sistema de *wetlands* resultou em economias significativas devido à redução da necessidade de bombeamento, por ser mais barata do que o antigo tratamento e por ter baixo custo de operação, equipamentos e materiais. Além disso, houve uma melhoria no habitat para aves, sendo registradas 205 espécies de aves em 2009.

Talking Water Gardens – Albany, Oregon, Estados Unidos

Talking Water Gardens é um sistema projetado para operar todos os dias do ano com uma vazão total de 0,552 m³/s recebendo efluentes de indústrias e residências. As águas industrial e doméstica passam por estações de tratamento, mas ainda assim não se encontram em condições de temperatura e qualidade ideais para serem desaguadas no Rio Willamette, por isso passam previamente ao desague pelos Sistemas de Tratamento Natural.

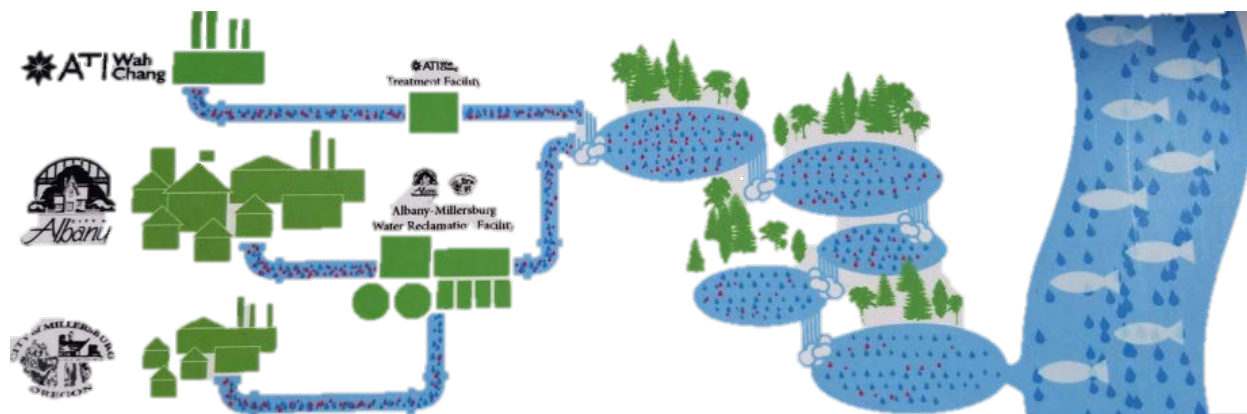


Figura ApA 7: STN em Talking Water Gardens

A água é bombeada das estações de tratamento para um sistema de *wetlands* onde o fluxo se dá por gravidade por uma sequência de lagoas. O sistema possui três conjuntos de tratamento por *wetlands* que removem cor, turbidez, nutrientes e calor. Cada conjunto contém três lagoas ou células que trabalham em conjunto, com profundidades variando de 0,5 m à 1,5 m. As *wetlands* possuem vegetação que promove sombra e uma sequência de cascatas que reduzem a temperatura, oxigenam e purificam naturalmente a água. Ao final do processo, a água pode ser descartada no Rio Willamette, rico em biodiversidade.

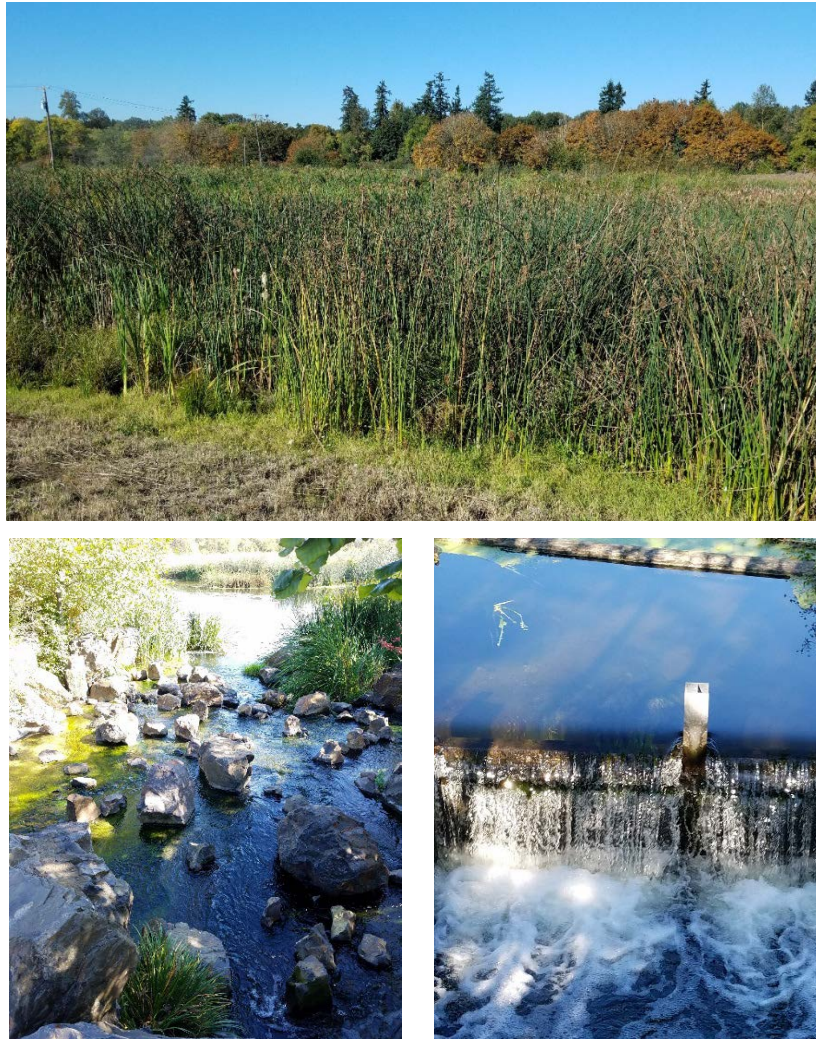


Figura ApA 8: Wetlands em Talking Water Gardens

Antes do tratamento nas wetland, verificava-se uma quantidade de 484 quilogramas por dia de sólidos suspensos totais, e após a implantação do tratamento, esse valor foi reduzido para 324 kg/dia. Dessa maneira que ocorre uma redução de mais de 58000 kg por ano na carga de sólidos suspensos totais.

Dixie Drain Water Quality Improvement – Boise, Idaho, Estados Unidos

As águas drenadas de regiões agrícolas poluem o rio Boise em Idaho, nos Estados Unidos, principalmente devido ao seu alto índice de turbidez que é causado pela erosão e torna a água inadequado para o corpo hídrico receptor. Foi implementado então um sistema de tratamento para remoção da cor, partículas finas de solo e nutrientes para atender aos critérios de qualidade do corpo hídrico.



Figura ApA 8: Dixie Drain Water Quality Improvement

O sistema de tratamento utiliza químicos de floculação e *wetlands* para remoção de turbidez e nutrientes da água drenada. Poli cloreto de alumínio é adicionado às bacias de decantação. Lodo com aproximadamente 2% de sólidos é retirado do fundo da bacia e secado no local em uma bacia de descarte.

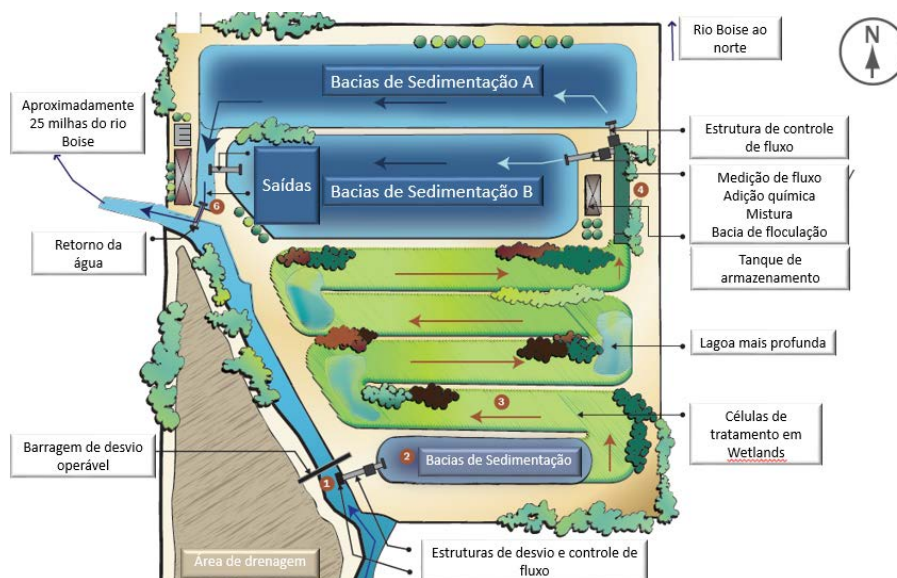


Figura ApA 9: STN em Dixie Drain Boise, Idaho, Estados Unidos

Um divisor de vazão direciona parte da água drenada das regiões agrícolas para o sistema de tratamento com poli cloreto de alumínio. A água tratada (figura à direita) é possui uma turbidez de <100 NTU e é misturada com a água não tratada que passou pelo by-pass do divisor. A água misturada atende aos critérios de descarte do corpo hídrico.



Figura ApA 10: STN em Dixie Drain Boise, Idaho, Estados Unidos

Referências

Sezerino et al. (2015). Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.

Borges et al. (2008). Performance of the constructed wetland system for the treatment of water from the corumbataí river.

Foelkel, Celso (2014). Aplicações da Biotecnologia em Processo Ambientais da Fabricação de Celulos Kraft e Papel de Eucalipto: Banhados Construídos ou “Constructed Wetlands”.

Sumita, et al. (2014). Wetlands Construídas.

Apêndice B

Projeto Conceitual das Áreas de Tratamento

PROJETO CONCEITUAL DE SISTEMA DE TRATAMENTO NATURAL (STN) OFF-LINE PARA O TRATAMENTO DO RIO GUALAXO DO NORTE

FUNDAÇÃO RENOVA
MINAS GERAIS, BRASIL



GN-STN km 14



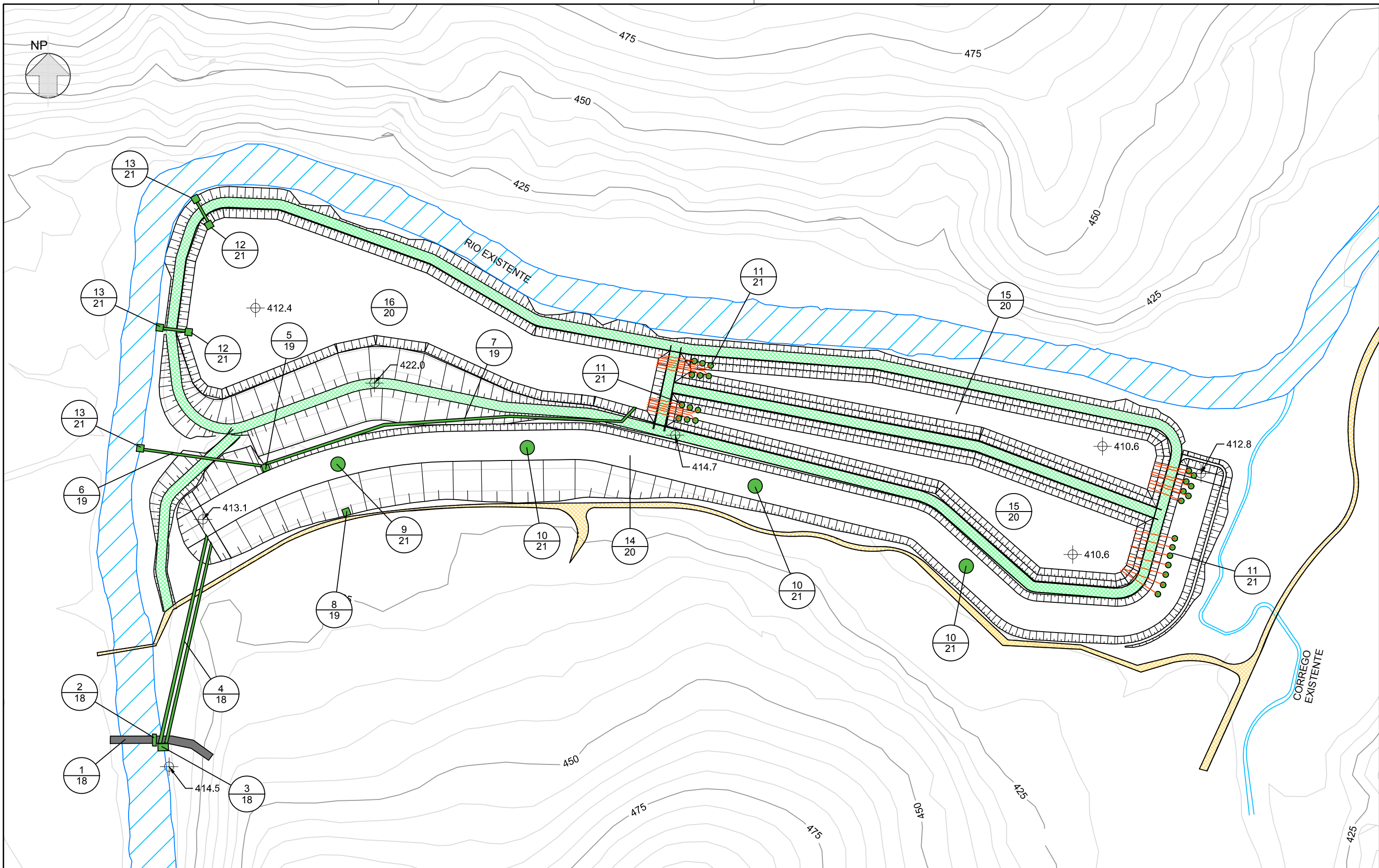
GN-STN km 48



GN-STN km 59

FOLHA	Nº DO DESENHO	TÍTULO
1	GE-00STN-000-001	CAPA LOCALIZAÇÃO DOS SITES, ÍNDICE DE DESENHOS
2	CI-0KM14-200-001	LAYOUT GN-STN KM 14
3	CI-0KM48-200-001	LAYOUT GN-STN KM 48
4	CI-0KM59-200-001	LAYOUT GN-STN KM 59
5	CI-0KM14-240-001	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO GN-STN KM 14
6	CI-0KM48-240-001	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO GN-STN KM 48
7	CI-0KM59-240-001	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO GN-STN KM 59
8	PR-0KM14-220-001	FLUXOGRAMA DE PROCESSO GN-STN KM 14
9	PR-0KM48-220-001	FLUXOGRAMA DE PROCESSO GN-STN KM 48
10	PR-0KM59-220-001	FLUXOGRAMA DE PROCESSO GN-STN KM 59
11	CI-0KM14-200-002	PERFIL HIDRÁULICO GN-STN KM 14
12	CI-0KM48-200-002	PERFIL HIDRÁULICO GN-STN KM 48
13	CI-0KM59-200-002	PERFIL HIDRÁULICO GN-STN KM 59
14	CI-0KM14-200-003	ÁREA DE INUNDAÇÃO GN-STN KM 14
15	CI-0KM48-200-003	ÁREA DE INUNDAÇÃO GN-STN KM 48
16	CI-0KM59-200-003	ÁREA DE INUNDAÇÃO GN-STN KM 59
17	GE-00STN-000-002	LISTA DE EQUIPAMENTOS
18	CI-00STN-230-001	DETALHES CONSTRUTIVOS I DE IV
19	CI-00STN-230-002	DETALHES CONSTRUTIVOS II DE IV
20	CI-00STN-230-003	DETALHES CONSTRUTIVOS III DE IV
21	CI-00STN-230-004	DETALHES CONSTRUTIVOS IV DE IV
22	AR-00STN-240-001	PALETA DE PLANTIO DA WETLAND

CH2M NR:	690862-GE-00STN-000-001	CLIENT NR:	
TITLE:	CAPA, VISÃO GERAL DOS SITES, ÍNDICE DE DESENHOS	SHEET:	01 of 22
	FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: S/E	REV:	0



LEGENDA		
1 ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO	7 TUBO DE DESVIO PARA WETLANDS	13 QUEDA AERADA
2 TUBO E COMPORTA PARA BY-PASS	8 SISTEMA DE ACÚMULO DE DOSAGEM DE QUÍMICOS	14 CANAL
3 CAPTAÇÃO, GRADEAMENTO E COMPORTA	9 AGITADOR FLUTUANTE DE MISTURA RÁPIDA	15 BACIA
4 TUBO (X2) Ø 2 M DE CONCRETO	10 AGITADOR FLUTUANTE DE MISTURA LENTA	16 WETLAND
5 EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO E DESVIO PARA WETLANDS	11 VERTEDORES CANAL/BACIAS	RUAS EXISTENTES
6 TUBO PARA EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO	12 VERTEDORES WETLANDS	RUAS NOVAS

ch2m

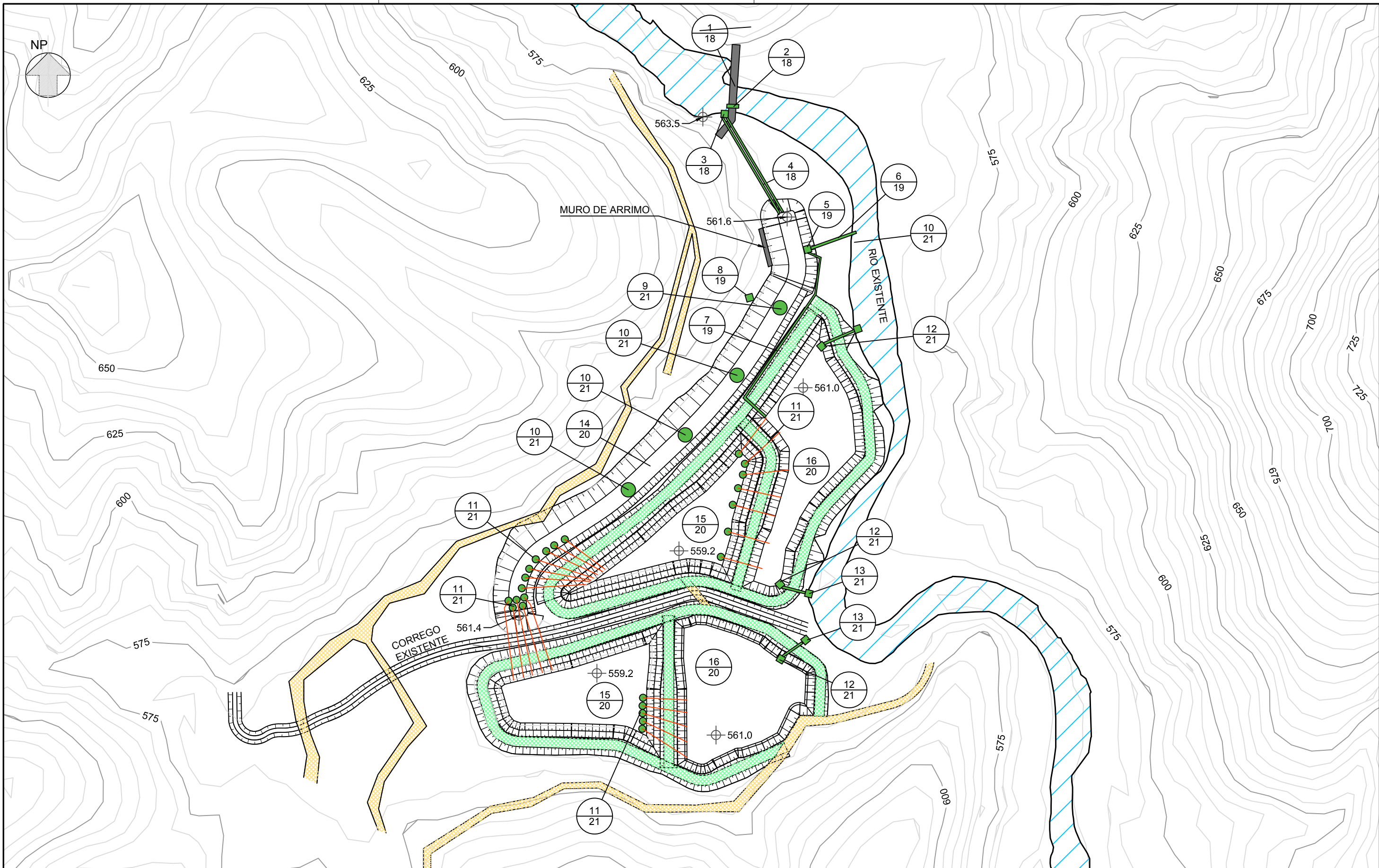
CH2M NR: 690862-CI-0KM14-200-001


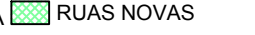
TITLE: LAYOUT
GN-STK km 14
FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: 1:2500

FUNDAÇÃO renova

CLIENT NR:

SHEET: 02 of 22
REV: 0



LEGENDA		
1 ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO	7 TUBO DE DESVIO PARA WETLANDS	13 QUEDA AERADA
2 TUBO E COMORTA PARA BY-PASS	8 SISTEMA DE ACÚMULO DE DOSAGEM DE QUÍMICOS	14 CANAL
3 CAPTAÇÃO, GRADEAMENTO E COMPORTA	9 AGITADOR FLUTUANTE DE MISTURA RÁPIDA	15 BACIA
4 TUBO (X2) Ø 2 M DE CONCRETO	10 AGITADOR FLUTUANTE DE MISTURA LENTA	16 WETLAND
5 EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO E DESVIO PARA WETLANDS	11 VERTEDORES CANAL/BACIAS	 RUAS EXISTENTES
6 TUBO PARA EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO	12 VERTEDORES WETLANDS	 RUAS NOVAS

ch2m

CH2M NR: 690862-CI-0KM48-200-001

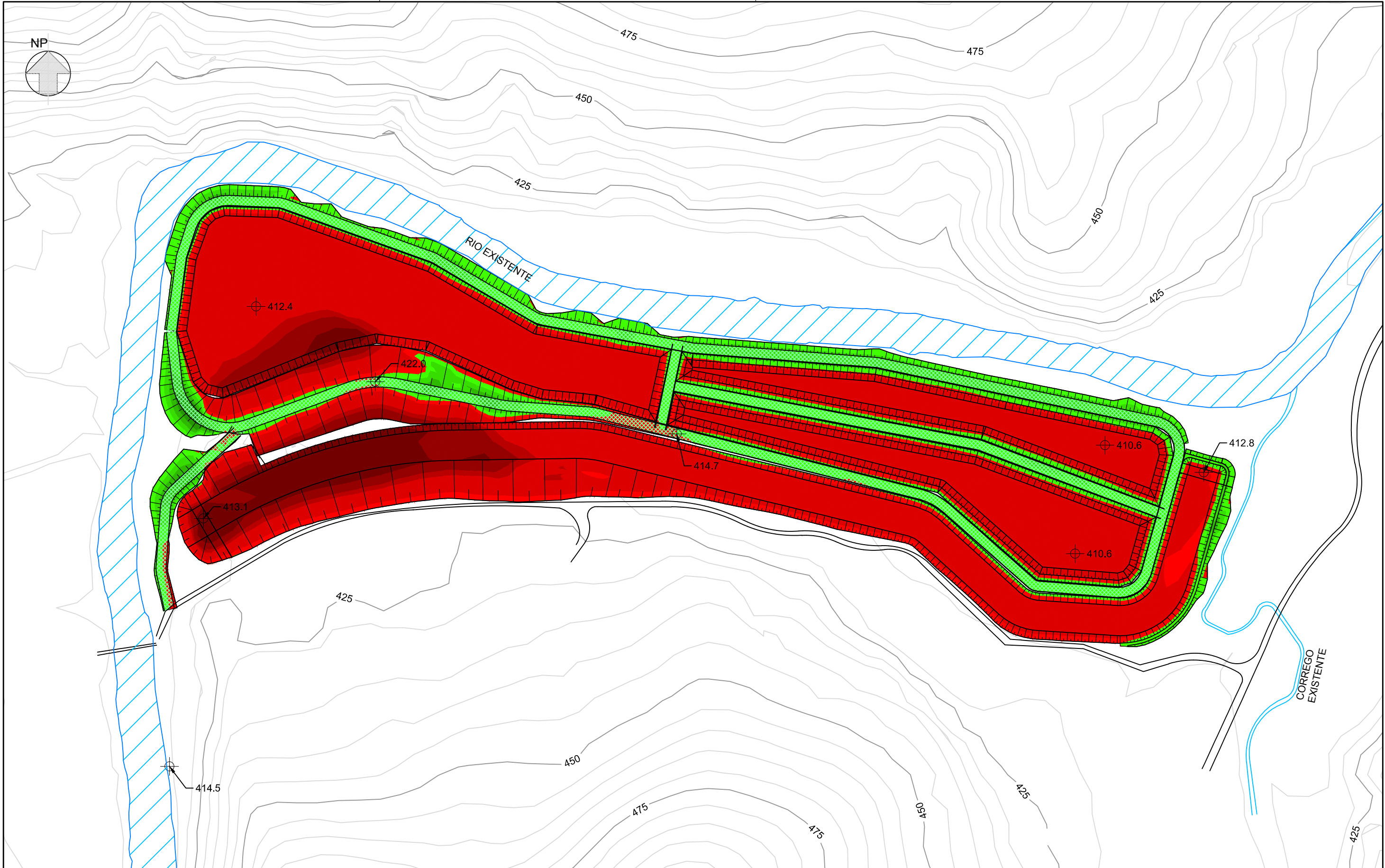
TITLE: LAYOUT
GN-STK km 48
FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: 1:2500



CLIENT NR:

SHEET: 03 of 22

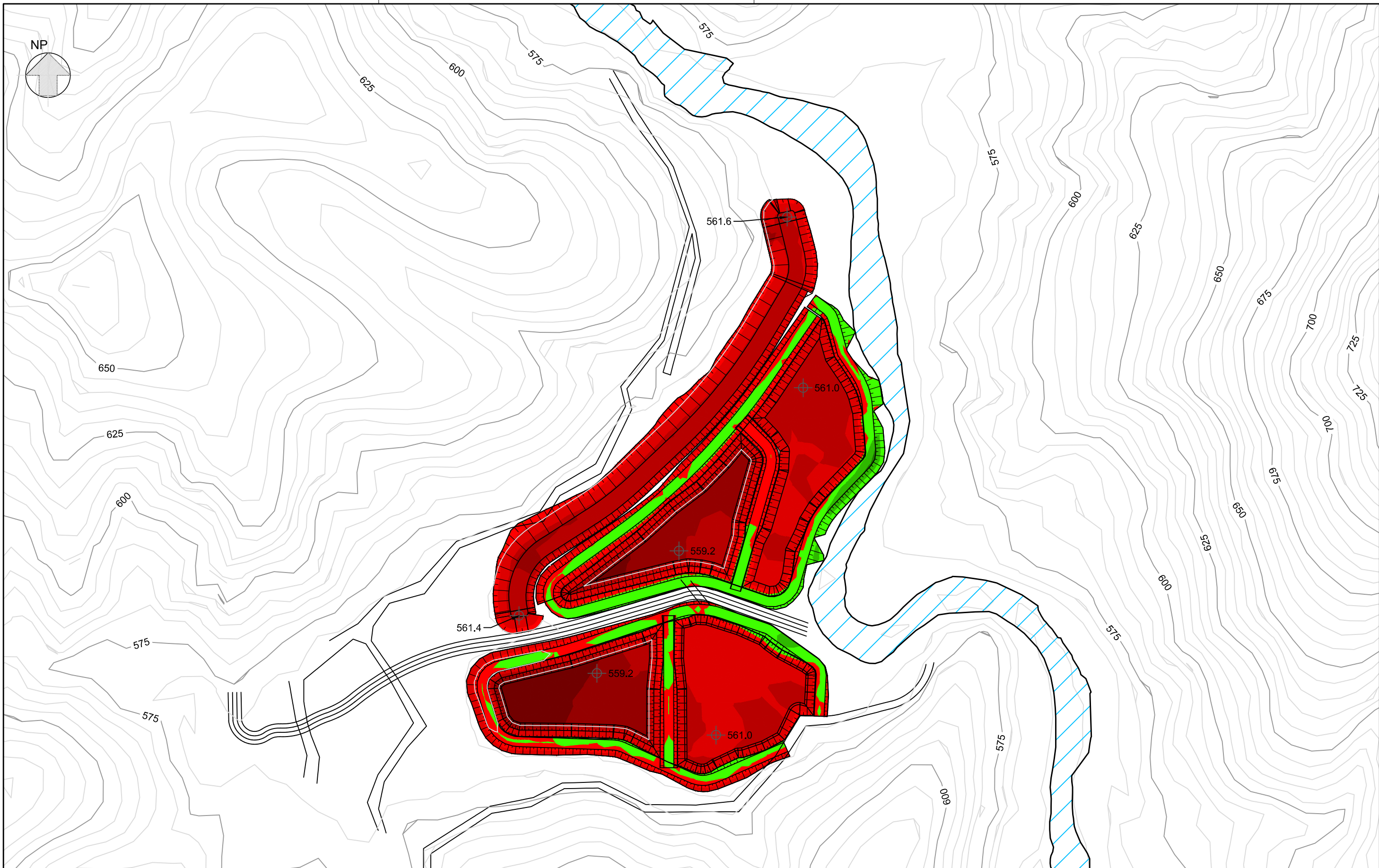
REV: 0



LEGENDA	
■	ÁREA DE CORTE
■	ÁREA DE ATERRO
VOLUME DE ATERRO: 21.651 m ³	
VOLUME DE CORTE: 240.986 m ³	

ch2m	
CH2M NR:	690862-CI-0KM14-240-001
TITLE:	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO GN-STK km 14 FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: 1:2500

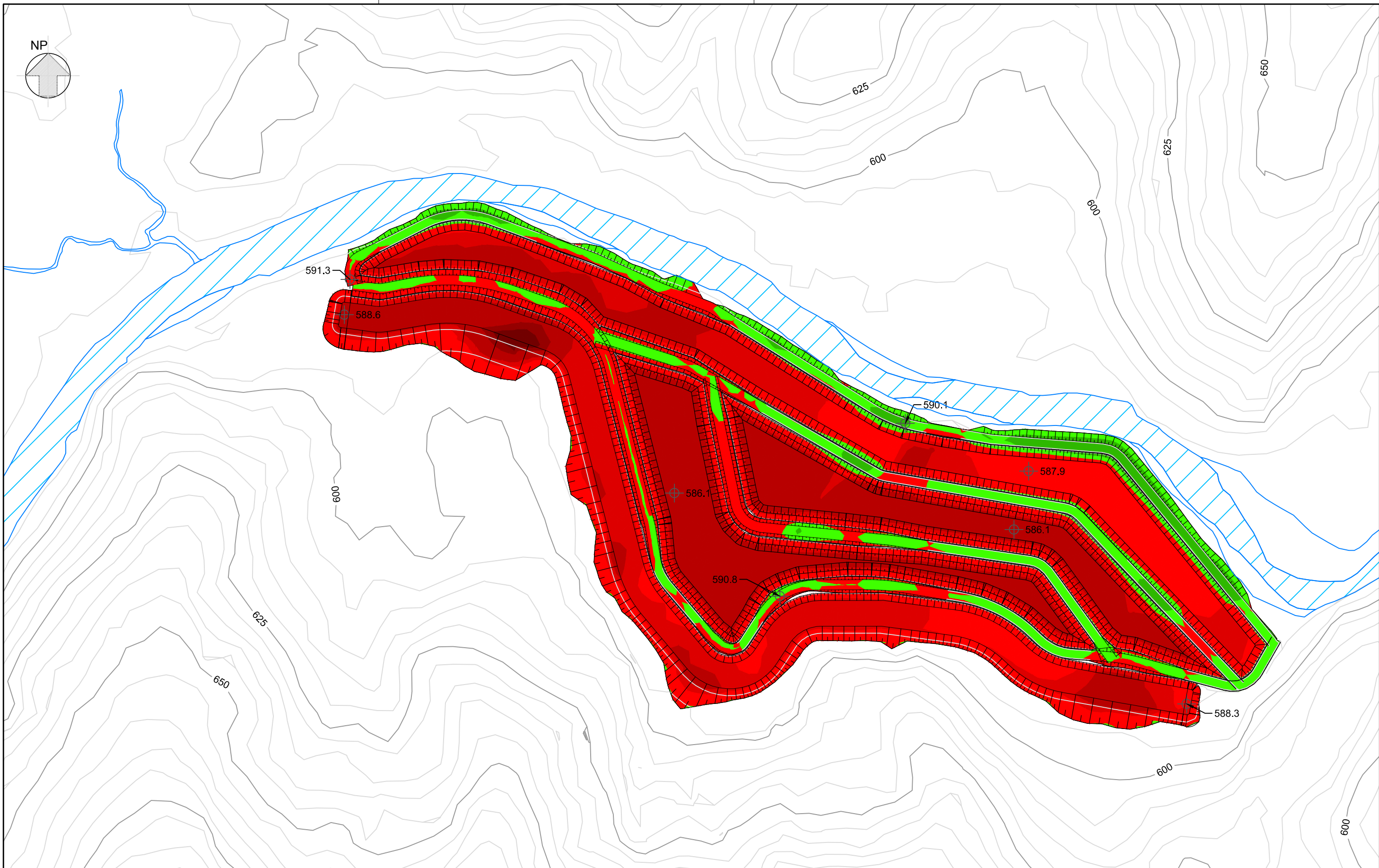
FUNDAÇÃO renova	
CLIENT NR:	
SHEET:	05 of 22
REV:	0



LEGENDA	
	ÁREA DE CORTE
	ÁREA DE ATERRO
VOLUME DE ATERRO: 2.628 m³	
VOLUME DE CORTE: 124.043 m³	

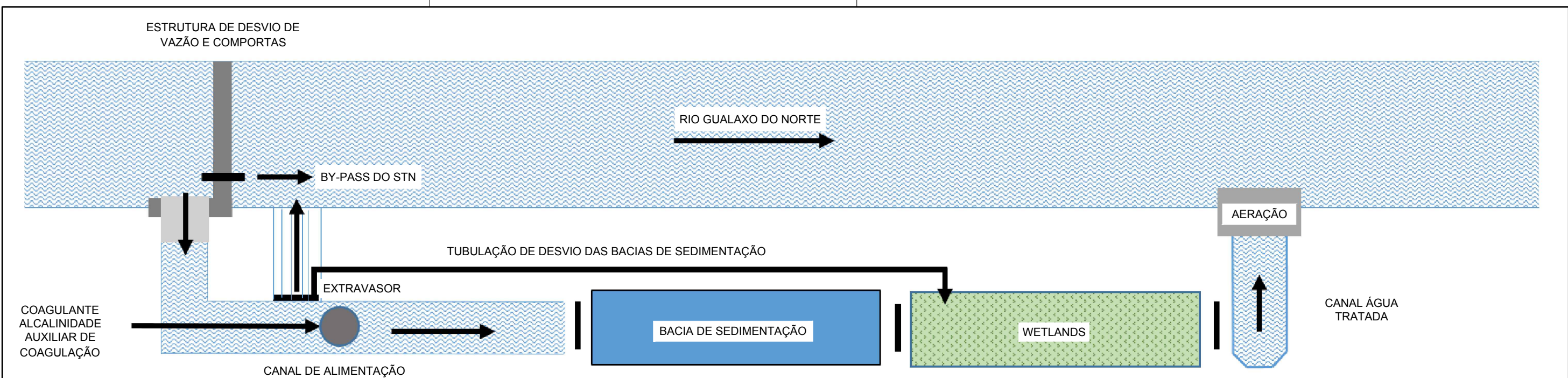
ch2m	
CH2M NR:	690862-CI-0KM48-240-001
TITLE:	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO GN-STK km 48 SAMARCO ESCALA: 1:2500

FUNDAÇÃO renova	
CLIENT NR:	
SHEET:	06 of 22
REV:	0



LEGENDA	
■	ÁREA DE CORTE
■	ÁREA DE ATERRO
VOLUME DE ATERRO: 7.810 m ³	
VOLUME DE CORTE: 200.751 m ³	

ch2m			
CH2M NR:	690862-CI-0KM59-240-001	CLIENT NR:	
TITLE:	MOVIMENTAÇÃO DE SOLO GN-STK km 59 FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: 1:2500	SHEET:	07 of 22
		REV:	0



ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO E COMPORTAS

- ESTRUTURA DE ROCHAS E FACE DE CONCRETO OU PEAD;
- ALTURA DE 2 m;
- PERMITE BY-PASS DE ATÉ 2,5 m³/s POR PASSAGEM COM COMPORTA;
- VAZÕES EXCEDENTES EXTRAVASAM POR CIMA
- GRADEAMENTO;
- COMPORTAS DE CONTROLE.

EXTRAVASOR PARA EXCESSO DE VAZÃO

- PARA VAZÕES ACIMA DA VAZÃO DE PROJETO – 11,5 m³/s;
- TUBO COM COMPORTA PARA PERMITIR DESVIO CONTROLADO DE PARTE DA VAZÃO PARA AS WETLANDS.

CANAL DE ALIMENTAÇÃO

- REVESTIDO COM TECIDO GEOTÊXTIL E ROCHA NAS SEÇÕES TURBULENTAS;
- NÃO REVESTIDO NO RESTANTE DO CANAL;
- ALIMENTAÇÃO DE COAGULANTE, ALCALINIDADE E FACILITADOR DE COAGULAÇÃO;
- TALUDES LATERAIS 3:1;
- PROFUNDIDADE DE ÁGUA 1 m;
- COEFICIENTE DE ATRITO 0,025;
- INCLINAÇÃO MÍNIMA 0,02%;
- VELOCIDADE MÁXIMA 0,6 m/s;
- COMPRIMENTO 806 m;
- LARGURA DA BASE 21 m.

ADIÇÃO DE QUÍMICOS

- ADIÇÃO DE COAGULANTE, AUXILIAR DE COAGULANTE E ALCALINIDADE;
- MISTURADORES FLUTUANTES NO CANAL PARA AGITAÇÃO RÁPIDA (COAGULAÇÃO) E LENTA (FLOCULAÇÃO).

BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO

- NÃO REVESTIDAS COM REMOÇÃO DO LODO ACUMULADO POR TUBOS PERFURADOS INSTALADOS NO FUNDO DA BACIA;
- FUNDO ACIMA DO NÍVEL DE LENÇÓIS FREÁTICOS;
- TAXA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL MENOR QUE 60 m³/m²/d NA SUPERFÍCIE DE PROJETO;
- TEMPO DE DETENÇÃO < 4 HORAS;
- MAIS DE UMA BACIA EM OPERAÇÃO PARA QUE UMA POSSA SER PARADA PARA LIMPEZA;
- PROFUNDIDADE 3 m;
- TALUDE LATERAL 2:1 ABAIXO DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA;
- TALUDE LATERAL 3:1 ACIMA DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA;
- ÁREA NA SUPERFÍCIE DE PROJETO DE 9.315 m² NA BACIA 1; 7.482 m² NA BACIA 2;
- TEMPO DE DETENÇÃO 1,21 h.

WETLANDS

- NÃO REVESTIDA E CONTENDO PLANTAS DE DIVERSAS ESPÉCIES;
- PROFUNDIDADE DE 0,5 m;
- TALUDE LATERAL DE 3:1;
- ÁREA NA SUPERFÍCIE DE PROJETO 20.686 m²;
- VMAX= 0,3 m/s.

VERTEDOR E STOP-LOGS PARA CONTROLE DE NÍVEL PARA FILTRAÇÃO E HABITAT

CANAL DE RETORNO E QUEDA AERADA

- REVESTIDO COM TECIDO GEOTÊXTIL E ROCHA;
- POSSUI TUBULAÇÃO DE RETORNO DE PARTE DA VAZÃO PARA EVITAR QUE O CANAL DO RIO FIQUE SECO;
- PILHA DE ROCHAS OU ESCADA HIDRÁULICA/GABIÕES PARA AERAÇÃO.



CH2M NR: 690862-PR-0KM14-220-001

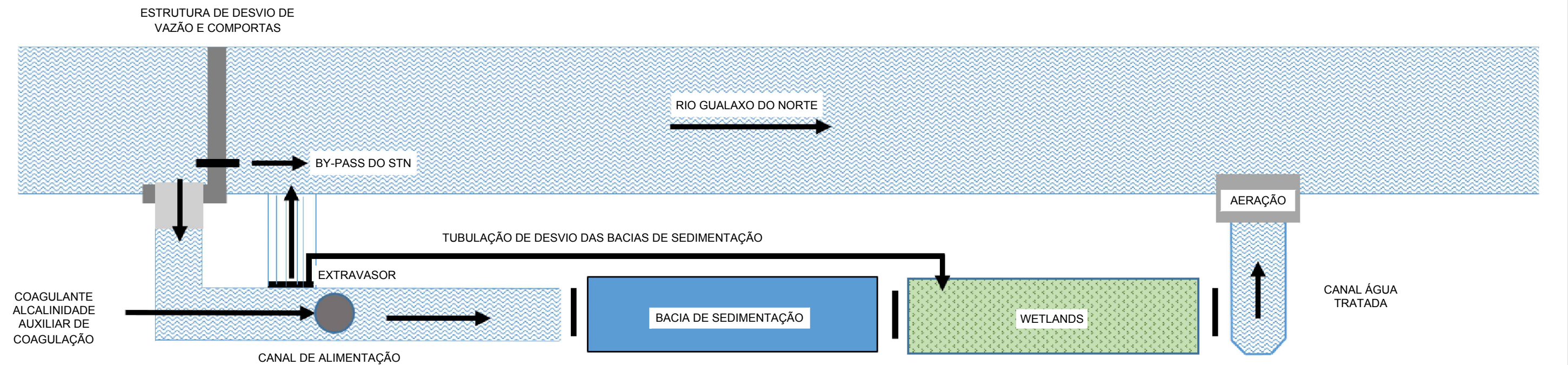
CLIENT NR:

TITLE: FLUXOGRAMA DE PROCESSO GN-STN KM 14

SHEET: 08 of 22

FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/E

REV: 0



ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO E COMPORTAS

- ESTRUTURA DE ROCHAS E FACE DE CONCRETO OU PEAD;
- ALTURA DE 2 m;
- PERMITE BY-PASS DE ATÉ 2,5 m³/s POR PASSAGEM COM COMPORTA;
- VAZÕES EXCEDENTES EXTRAVASAM POR CIMA;
- GRADEAMENTO;
- COMPORTAS DE CONTROLE.

EXTRAVASOR PARA EXCESSO DE VAZÃO

- PARA VAZÕES ACIMA DA VAZÃO DE PROJETO – 6,2 m³/s;
- TUBO COM COMPORTA PARA PERMITIR DESVIO CONTROLADO DE PARTE DA VAZÃO PARA AS WETLANDS.

CANAL DE ALIMENTAÇÃO

- REVESTIDO COM TECIDO GEOTÊXTIL E ROCHA NAS SEÇÕES TURBULENTAS
- NÃO REVESTIDO NO RESTANTE DO CANAL;
- ALIMENTAÇÃO DE COAGULANTE, ALCALINIDADE E FACILITADOR DE COAGULAÇÃO;
- TALUDES LATERAIS 3:1;
- PROFUNDIDADE DE ÁGUA 1 m;
- COEFICIENTE DE ATRITO 0,025;
- INCLINAÇÃO MÍNIMA 0,01%;
- VELOCIDADE MÁXIMA 0,6 m/s;
- COMPRIMENTO 352 m;
- LARGURA DA BASE 12 m.

ADIÇÃO DE QUÍMICOS

- ADIÇÃO DE COAGULANTE, AUXILIAR DE COAGULANTE E ALCALINIDADE;
- MISTURADORES FLUTUANTES NO CANAL PARA AGITAÇÃO RÁPIDA (COAGULAÇÃO) E LENTA (FLOCULAÇÃO).

BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO

- NÃO REVESTIDAS COM REMOÇÃO DO LODO ACUMULADO POR TUBOS PERFURADOS INSTALADOS NO FUNDO DA BACIA;
- FUNDO ACIMA DO NÍVEL DE LENÇÓIS FREÁTICOS;
- TAXA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL MENOR QUE 60 m³/m²/d NA SUPERFÍCIE DE PROJETO;
- TEMPO DE DETENÇÃO < 4 HORAS;
- MAIS DE UMA BACIA EM OPERAÇÃO PARA QUE UMA POSSA SER PARADA PARA LIMPEZA;
- PROFUNDIDADE 3 m;
- TALUDE LATERAL 2:1 ABAIXO DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA;
- TALUDE LATERAL 3:1 ACIMA DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA;
- ÁREA NA SUPERFÍCIE DE PROJETO DE 3.973 m² NA BACIA 1; 5.020 m² NA BACIA 2;
- TEMPO DE DETENÇÃO 1,21 h.

WETLANDS

- NÃO REVESTIDA E CONTENDO PLANTAS DE DIVERSAS ESPÉCIES;
- PROFUNDIDADE DE 0,5 m;
- TALUDE LATERAL DE 3:1;
- ÁREA NA SUPERFÍCIE DE PROJETO 5.436 m² NA WETLAND 1 E 6.017 m² NA WETLAND 2;
- VMAX= 0,3 m/s.

VERTEDOR E STOP-LOGS PARA CONTROLE DE NÍVEL PARA FILTRAÇÃO E HABITAT

CANAL DE RETORNO E QUEDA AERADA

- REVESTIDO COM TECIDO GEOTÊXTIL E ROCHA.
- POSSUI TUBULAÇÃO DE RETORNO DE PARTE DA VAZÃO PARA EVITAR QUE O CANAL DO RIO FIQUE SECO.
- PILHA DE ROCHAS OU ESCADA HIDRÁULICA/GABIÕES PARA AERAÇÃO.

ch2m

FUNDAÇÃO renova

CH2M NR: 690862-PR-0KM48-220-001

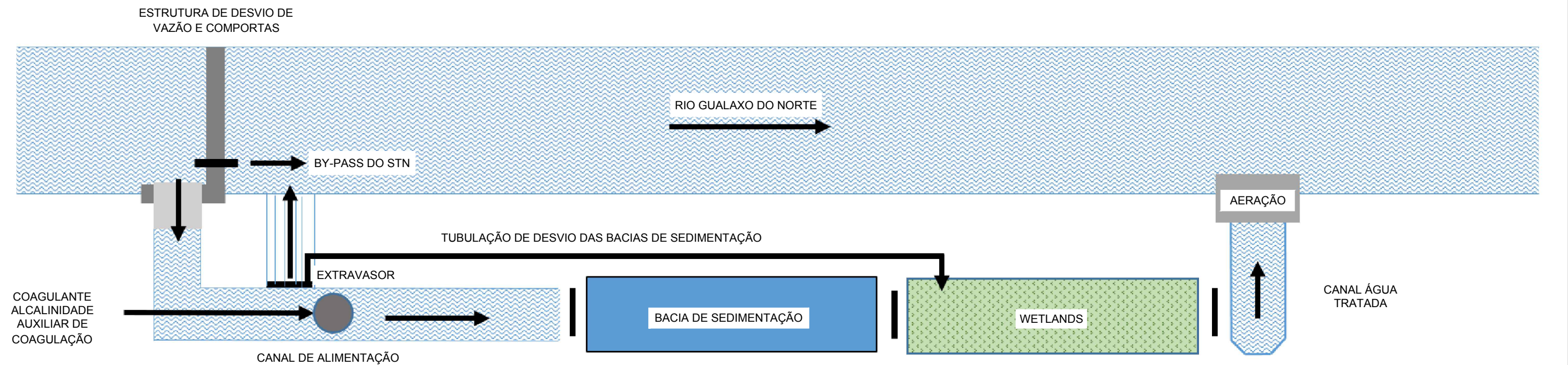
CLIENT NR:

TITLE: FLUXOGRAMA DE PROCESSO GN-STN KM 48

SHEET: 09 of 22

FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/E

REV: 0



ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO E COMPORTAS

- ESTRUTURA DE ROCHAS E FACE DE CONCRETO OU PEAD;
- ALTURA DE 2 m;
- PERMITE BY-PASS DE ATÉ 2,5 m³/s POR PASSAGEM COM COMPORTA;
- VAZÕES EXCEDENTES EXTRAVASAM POR CIMA
- GRADEAMENTO;
- COMPORTAS DE CONTROLE.

EXTRAVASOR PARA EXCESSO DE VAZÃO

- PARA VAZÕES ACIMA DA VAZÃO DE PROJETO – 12,3 m³/s;
- TUBO COM COMPORTA PARA PERMITIR DESVIO CONTROLADO DE PARTE DA VAZÃO PARA AS WETLANDS.

CANAL DE ALIMENTAÇÃO

- REVESTIDO COM TECIDO GEOTÊXTIL E ROCHA NAS SEÇÕES TURBULENTAS;
- NÃO REVESTIDO NO RESTANTE DO CANAL;
- ALIMENTAÇÃO DE COAGULANTE, ALCALINIDADE E FACILITADOR DE COAGULAÇÃO;
- TALUDES LATERAIS 3:1;
- PROFUNDIDADE DE ÁGUA 1 m;
- COEFICIENTE DE ATRITO 0,025;
- INCLINAÇÃO MÍNIMA 0,03%;
- VELOCIDADE MÁXIMA 0,6 m/s;
- COMPRIMENTO 774 m;
- LARGURA DA BASE 18 m.

ADIÇÃO DE QUÍMICOS

- ADIÇÃO DE COAGULANTE, AUXILIAR DE COAGULANTE E ALCALINIDADE;
- MISTURADORES FLUTUANTES NO CANAL PARA AGITAÇÃO RÁPIDA (COAGULAÇÃO) E LENTA (FLOCULAÇÃO).

BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO

- NÃO REVESTIDAS COM REMOÇÃO DO LODO ACUMULADO POR TUBOS PERFURADOS INSTALADOS NO FUNDO DA BACIA;
- FUNDO ACIMA DO NÍVEL DE LENÇÓIS FREÁTICOS;
- TAXA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL MENOR QUE 60 m³/m²/d NA SUPERFÍCIE DE PROJETO;
- TEMPO DE DETENÇÃO < 4 HORAS;
- MAIS DE UMA BACIA EM OPERAÇÃO PARA QUE UMA POSSA SER PARADA PARA LIMPEZA;
- PROFUNDIDADE 3 m;
- TALUDE LATERAL 2:1 ABAIXO DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA;
- TALUDE LATERAL 3:1 ACIMA DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA;
- ÁREA NA SUPERFÍCIE DE PROJETO DE 10.392 m² NA BACIA 1; 9.261 m² NA BACIA 2;
- TEMPO DE DETENÇÃO 1,33 h.

WETLANDS

- NÃO REVESTIDA E CONTENDO PLANTAS DE DIVERSAS ESPÉCIES;
- PROFUNDIDADE DE 0,5 m;
- TALUDE LATERAL DE 3:1;
- ÁREA NA SUPERFÍCIE DE PROJETO 14.314 m²;
- VMAX= 0,3 m/s.

VERTEDOR E STOP-LOGS PARA CONTROLE DE NÍVEL PARA FILTRAÇÃO E HABITAT

CANAL DE RETORNO E QUEDA AERADA

- REVESTIDO COM TECIDO GEOTÊXTIL E ROCHA;
- POSSUI TUBULAÇÃO DE RETORNO DE PARTE DA VAZÃO PARA EVITAR QUE O CANAL DO RIO FIQUE SECO;
- PILHA DE ROCHAS OU ESCADA HIDRÁULICA/GABIÕES PARA AERAÇÃO.



CH2M NR: 690862-PR-0KM59-220-001

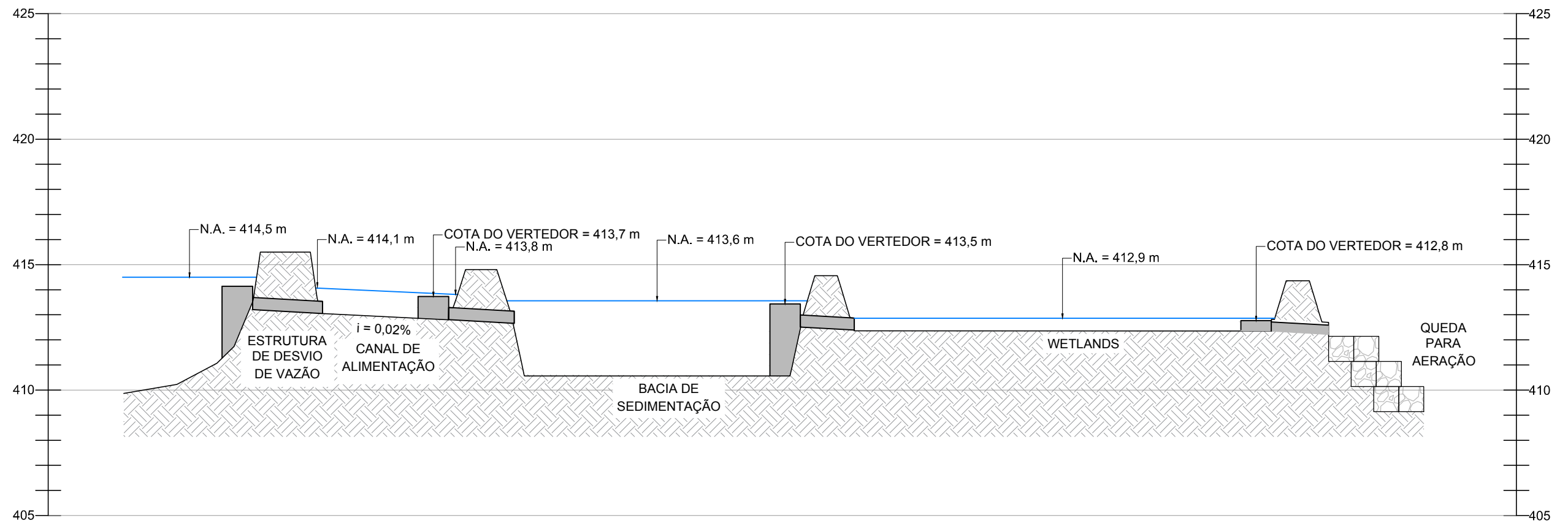
CLIENT NR:

TITLE: FLUXOGRAMA DE PROCESSO GN-STN KM 59

SHEET: 10 of 22

FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/E

REV: 0



CH2M NR: 690862-CI-0KM14-200-002

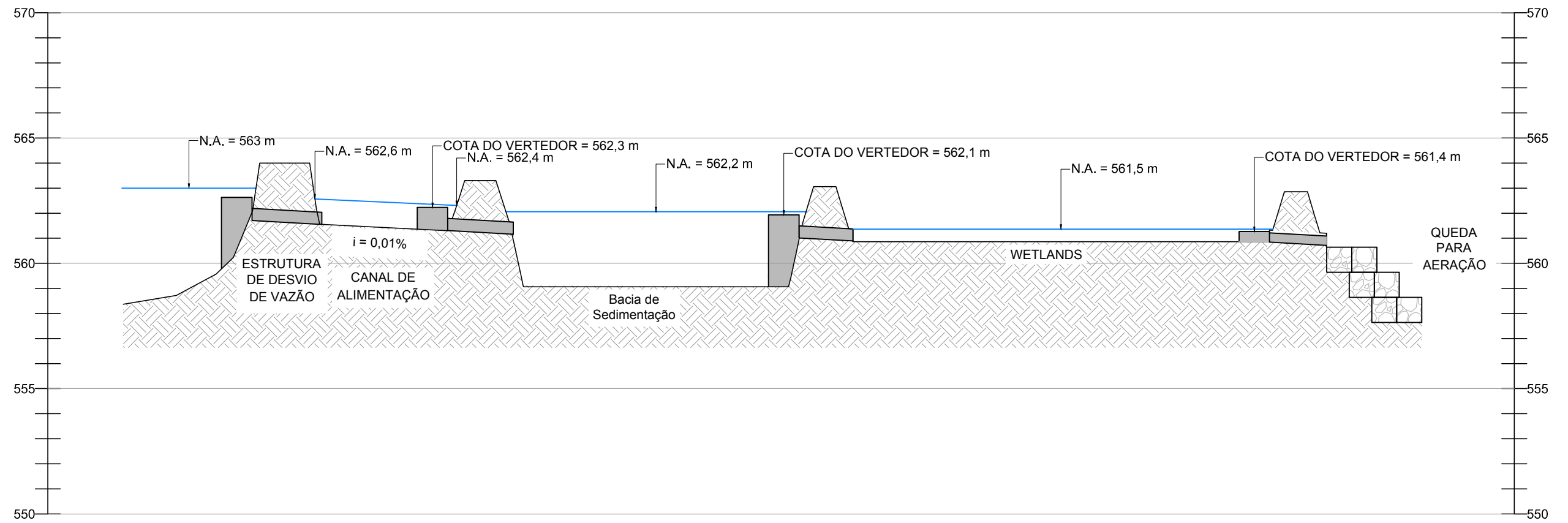
CLIENT NR:

TITLE: PERFIL HIDRÁULICO GN-STN KM 14

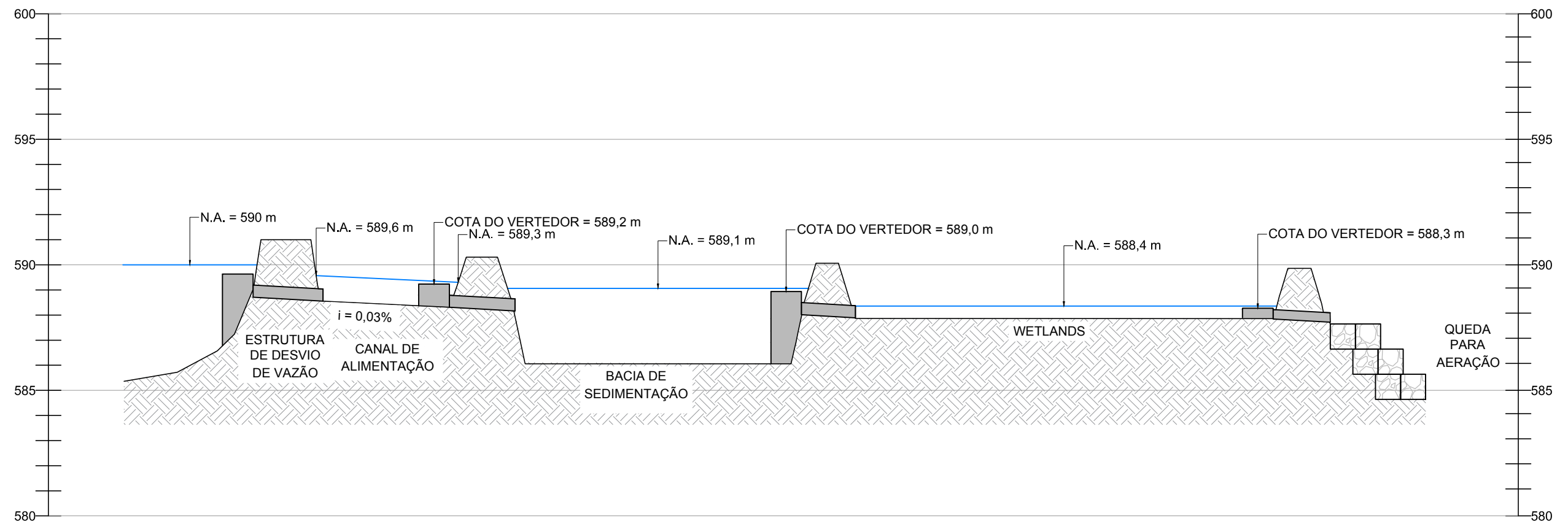
SHEET: 11 of 22

FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/E

REV: 0



CH2M NR:	690862-CI-0KM48-200-002	CLIENT NR:	
TITLE:	PERFIL HIHDRÁULICO GN-STN KM 48	SHEET:	12 of 22
	FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: S/E	REV:	0



CH2M NR: 690862-CI-0KM59-200-002

CLIENT NR:

TITLE: PERFIL HIHDRÁULICO GN-STN KM 59

SHEET: 13 of 22

FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/E

REV: 0



LEGENDA

- ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO
- CANAL DE ALIMENTAÇÃO PARA O SITE
- CANAL DE ÁGUA TRATADA
- ÁREA DISPONÍVEL
- ÁREA DE REPRESAMENTO À MONTANTE



N° CH2M: 690862-CI-0KM14-200-003

N° CLIENTE:

TÍTULO: ÁREA DE REPRESAMENTO
GN-STN km 14
FUNDAÇÃO RENOVA

FL: 14 de 21

REV: 0



LEGENDA

- ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO
- CANAL DE ALIMENTAÇÃO PARA O SITE
- CANAL DE ÁGUA TRATADA
- ÁREA DISPONÍVEL
- ÁREA DE REPRESAMENTO À MONTANTE



N° CH2M: 690862-CI-0KM48-200-003

N° CLIENTE:

TÍTULO: ÁREA DE REPRESAMENTO
GN-STN km 48
FUNDAÇÃO RENOVA

FL: 15 de 21

REV: 0



LEGENDA

- ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO
- CANAL DE ALIMENTAÇÃO PARA O SITE
- CANAL DE ÁGUA TRATADA
- ÁREA DISPONÍVEL
- ÁREA DE REPRESAMENTO À MONTANTE



N° CH2M: 690862-CI-0KM59-200-003

N° CLIENTE:



TÍTULO: ÁREA DE REPRESAMENTO
GN-STN km 59
FUNDAÇÃO RENOVA

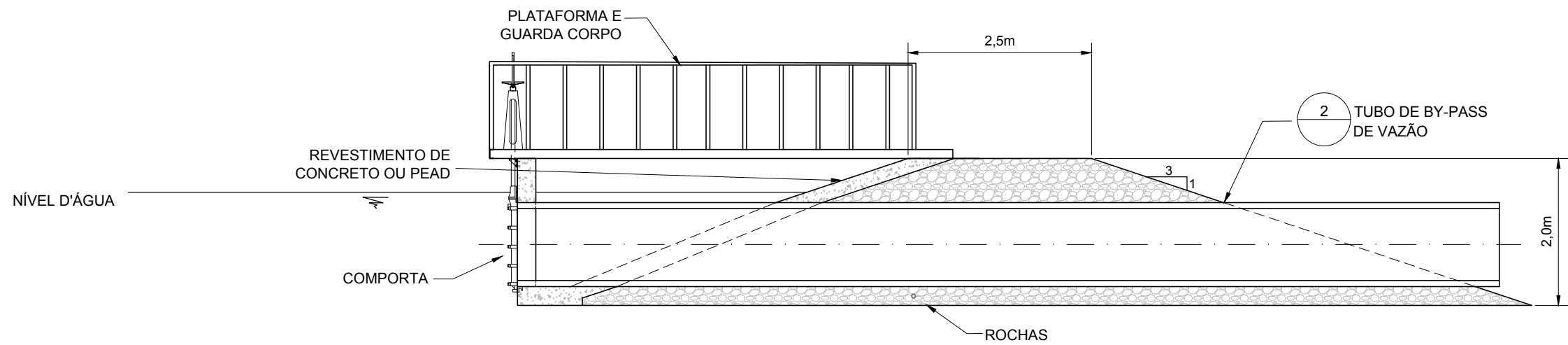
FL: 16 de 21

REV: 0

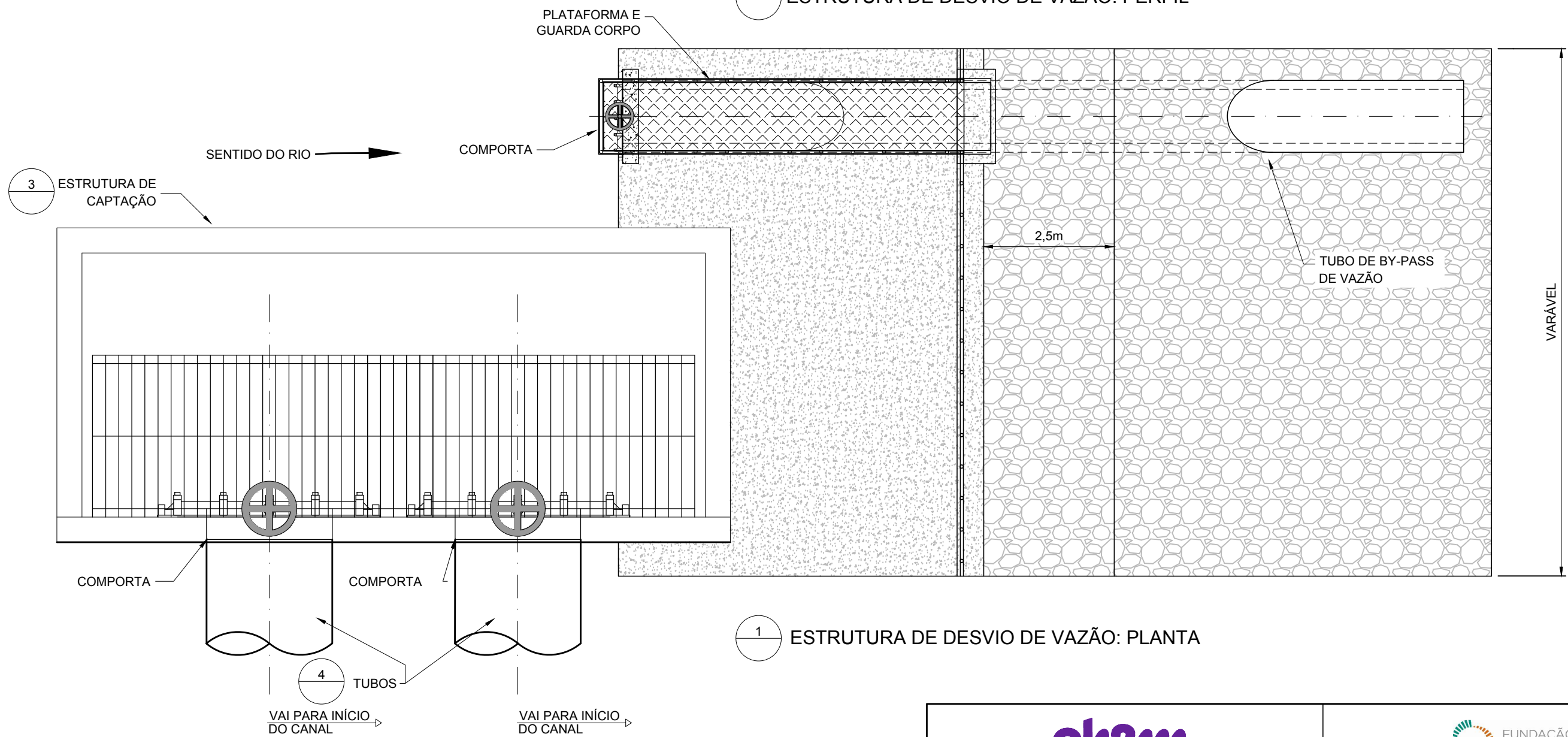
LISTA DE EQUIPAMENTOS PARA A OPERAÇÃO DE CADA UM DOS SITES: GN-STN KM 14, GN-STN KM 48 E GN-STN KM 59

<u>EQUIPAMENTO</u>	<u>QUANTIDADE</u>	<u>DADOS</u>
MISTURADORES		
- DE MISTURA RÁPIDA	1	20 kW, VELOCIDADE VARIÁVEL
- FLOCULADOR	3	5 kW, VELOCIDADE VARIÁVEL
COMPORTA DA ESTRUTURA DE DESVIO	1	Ø 1 m MONTADA NO TUBO COM PLATAFORMA, OPERAÇÃO MANUAL
COMPORTA DA ENTRADA DO SISTEMA	2	2 m DE LARGURA POR 2 m DE ALTURA, ENQUADRADA, OPERAÇÃO MANUAL
COMPORTA DO EXTRAVASOR	1	1 m DE LARGURA POR 1 m DE ALTURA, ENQUADRADA, OPERAÇÃO MANUAL
COMPORTA DO VERTEDOR	42	MONTADA NO TUBO COM PLATAFORMA, OPERAÇÃO MANUAL
BOMBAS DOSADORAS		
- DE COAGULANTE	3	SULFATO DE ALUMÍNIO, CLORETO DE POLIALUMÍNIO (PAC) OU CLORIDRATO DE ALUMÍNIO (ACH)
- DE ALCALINIDADE	3	HIDRÓXIDO DE SÓDIO
- DE AUXILIAR DE COAGULAÇÃO	2	POLÍMERO ORGÂNICO
TANQUES DE QUÍMICOS		
- DE FLOCULANTE	3	19 m³, POLIETILENO
- DE ALCALINIDADE	1	19 m³, POLIETILENO
- DE AUXILIAR DE COAGULAÇÃO	0	ALIMENTADO DIRETAMENTE DO RECIPIENTE
INSTRUMENTOS		
- CLP	1	INCLUI INTERFACE HOMEM-MÁQUINA EM CABINE PROTEGIDA CONTRA O CLIMA, MONTADA SOB TELHADO
- MEDIDOR DE VAZÃO	3	ULTRASÔNICOS, MEDINDO CARGA D'ÁGUA SOBRE VERTEDORES
- MEDIDOR DE TURBIDEZ	5	ÁGUA BRUTA, SAÍDA DA BACIA DE SEDIMENTAÇÃO E SAÍDA DA WETLAND
- MEDIDOR DE PH	3	ÁGUA BRUTA E TRATADA
PAINEL ELÉTRICO	1	50 kW, TRIFÁSICO, MONTADO SOB TELHADO
GERADOR	1	50 kW MOVIDO A DIESEL, COM TANQUE DE ARMAZENAMENTO COM TEMPO DE ARMAZENAMENTO DE 3 DIAS COM BAIA DE CONTENÇÃO

			
CH2M NR:	690862-GE-00STN-000-002	CLIENT NR:	
TITLE:	LISTA DE EQUIPAMENTOS	SHEET:	17 of 22
	FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: S/E	REV:	0

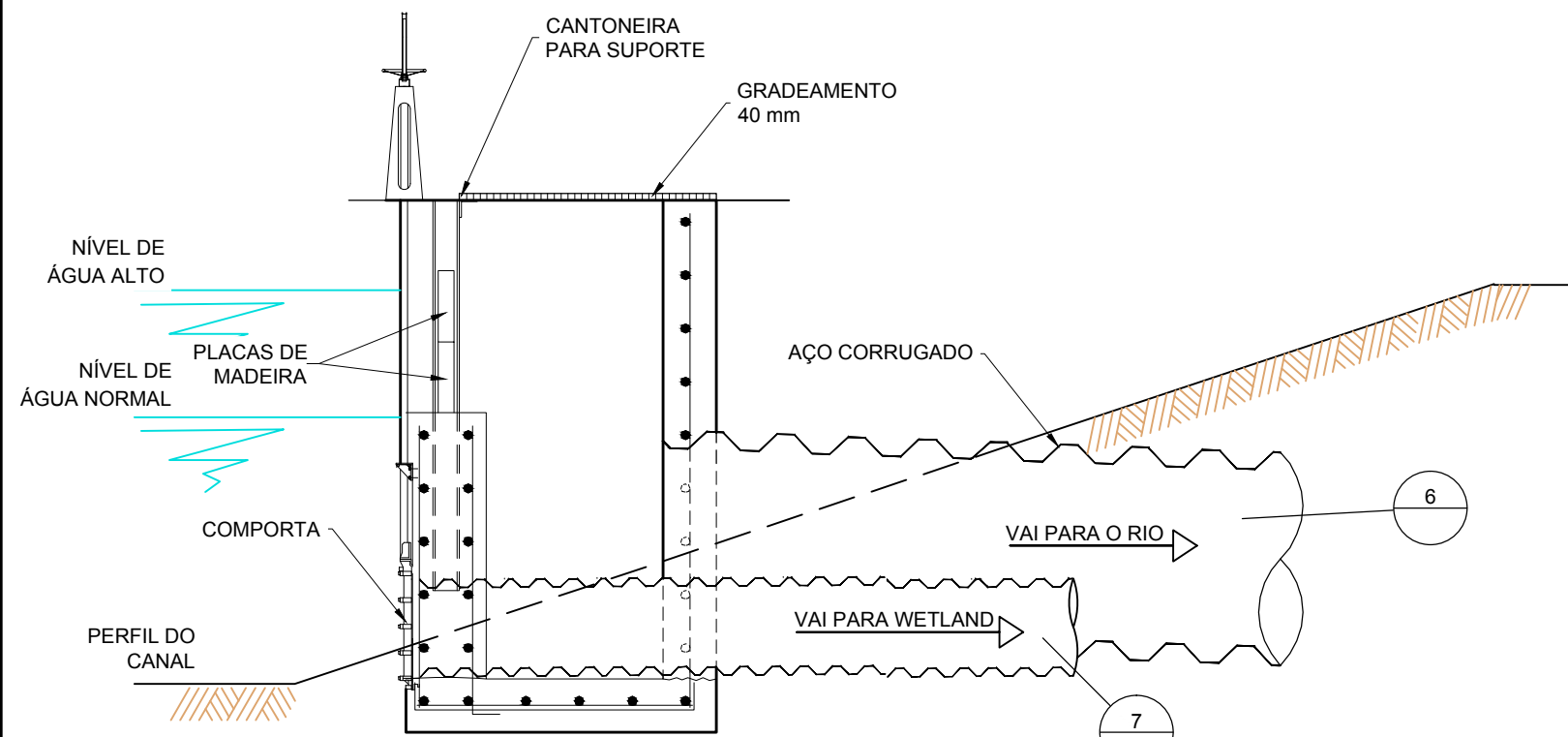


1 ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO: PERFIL

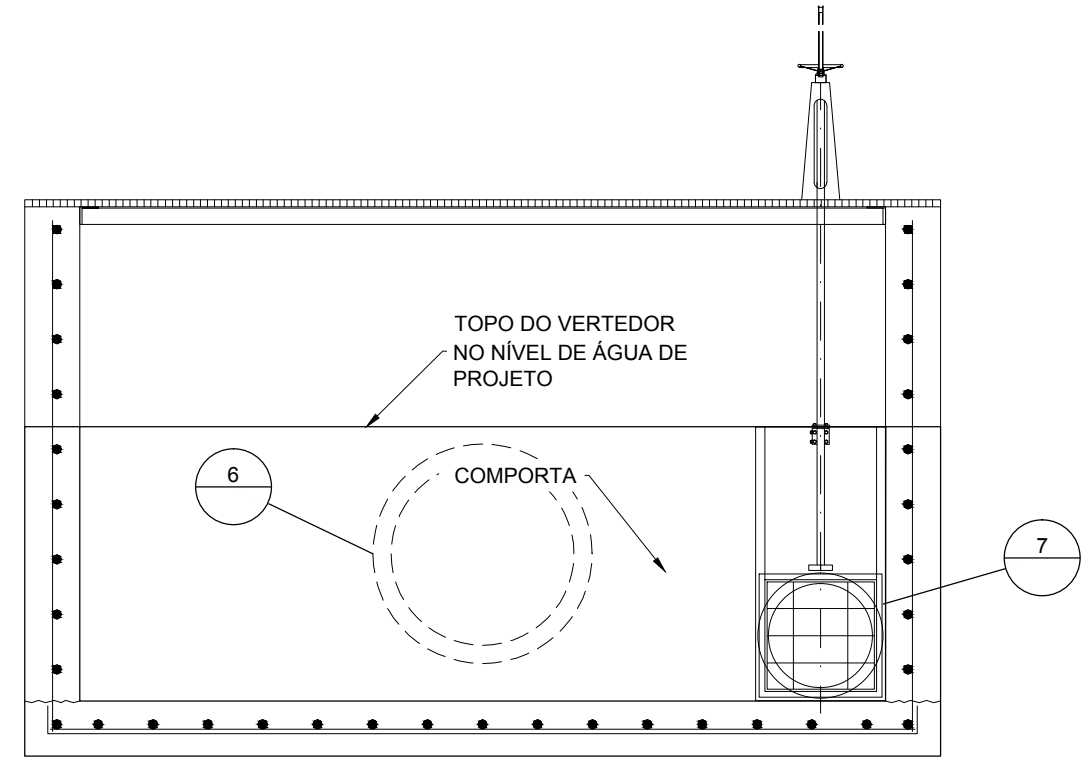


1 ESTRUTURA DE DESVIO DE VAZÃO: PLANTA

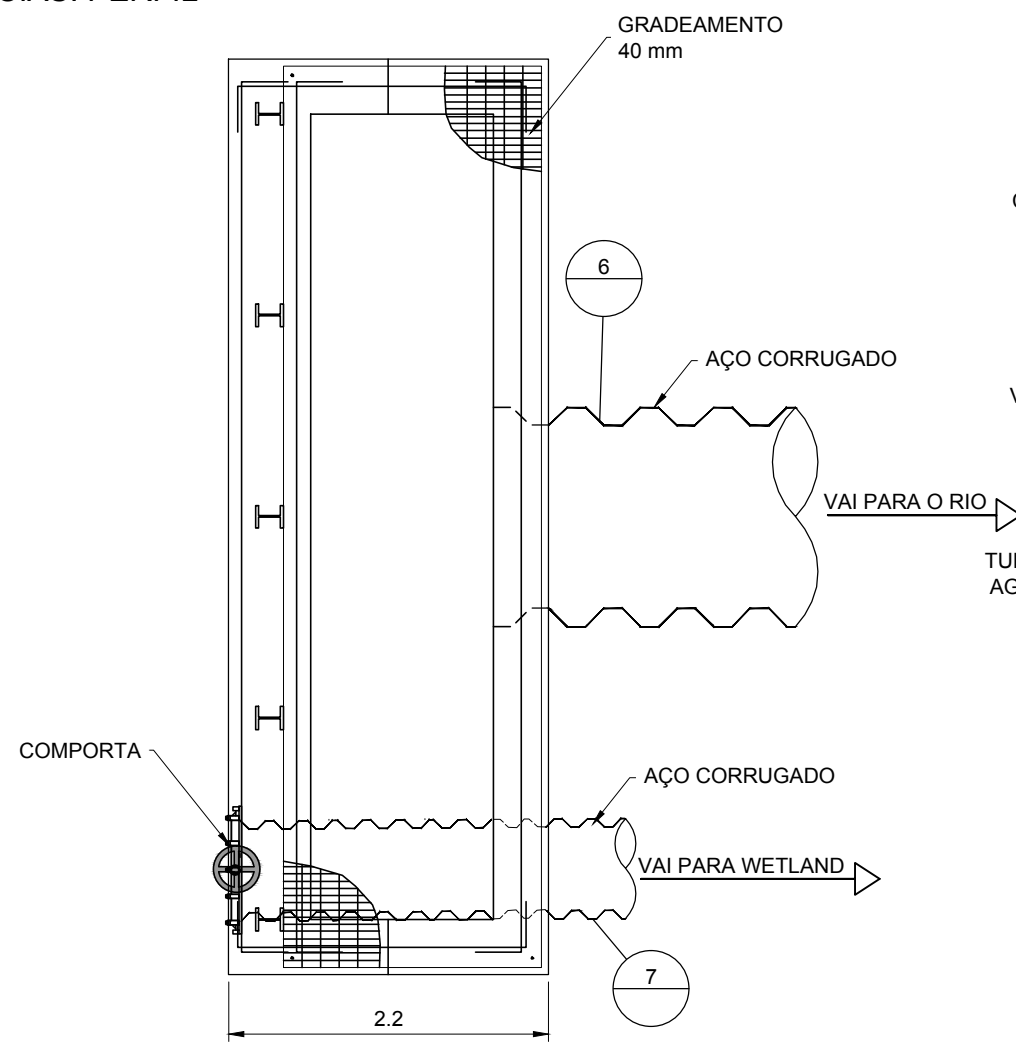
ch2m			
CH2M NR:	690862-CI-00STN-230-001	CLIENT NR:	
TITLE:	DETALHES CONSTRUTIVOS I DE IV	SHEET:	18 of 22
	FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: S/E	REV:	0



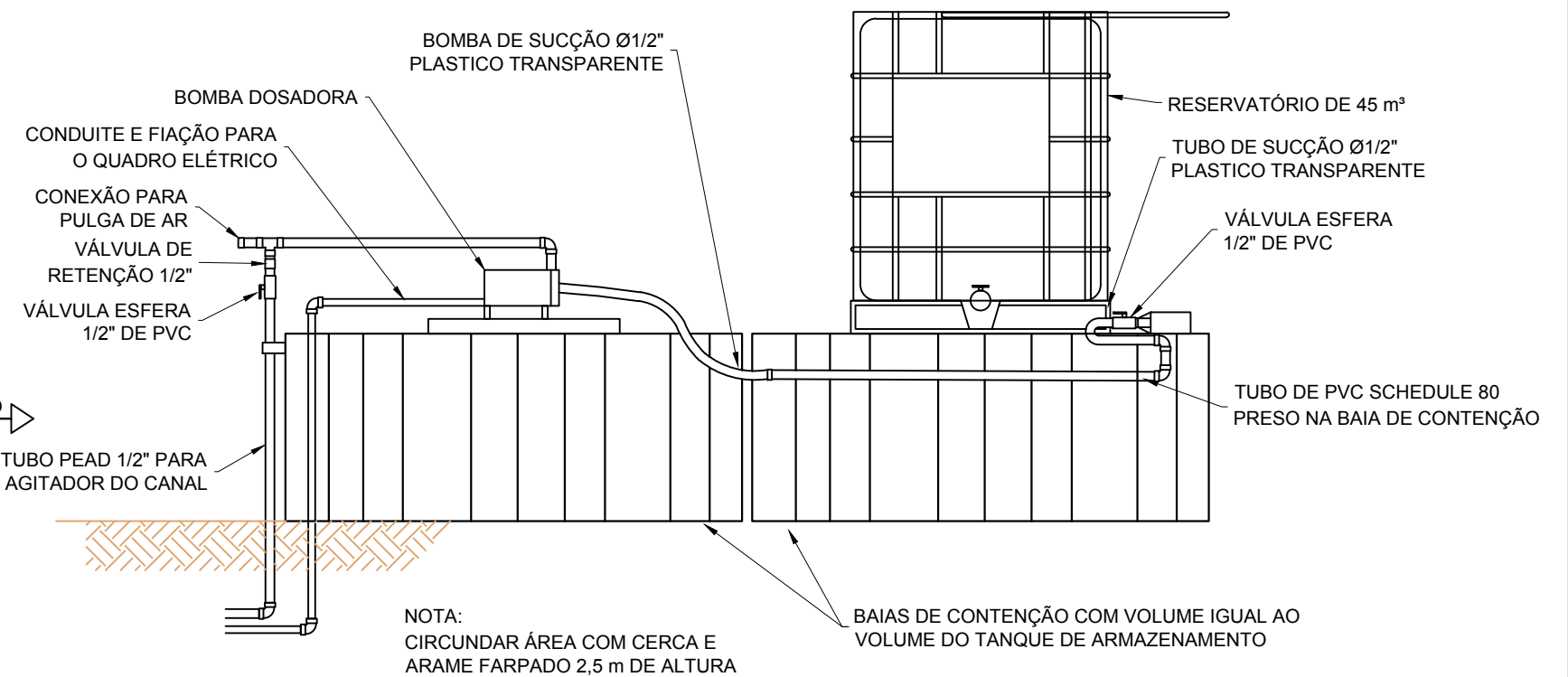
5 EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO E DE DESVIO DAS BACIAS: PERFIL



5 EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO E DE DESVIO DAS BACIAS: FRONTAL

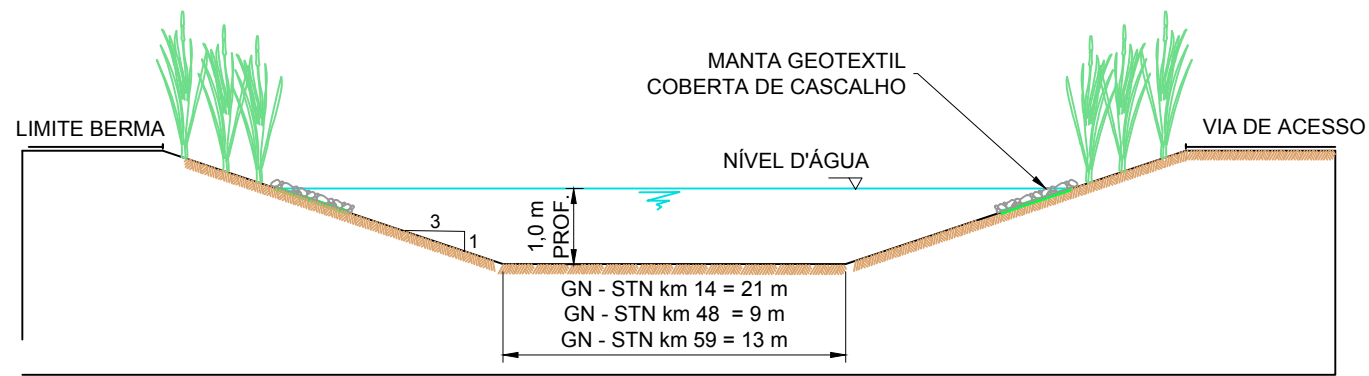


5 EXTRAVASOR DE EXCESSO DE VAZÃO E DE DESVIO DAS BACIAS: PLANTA

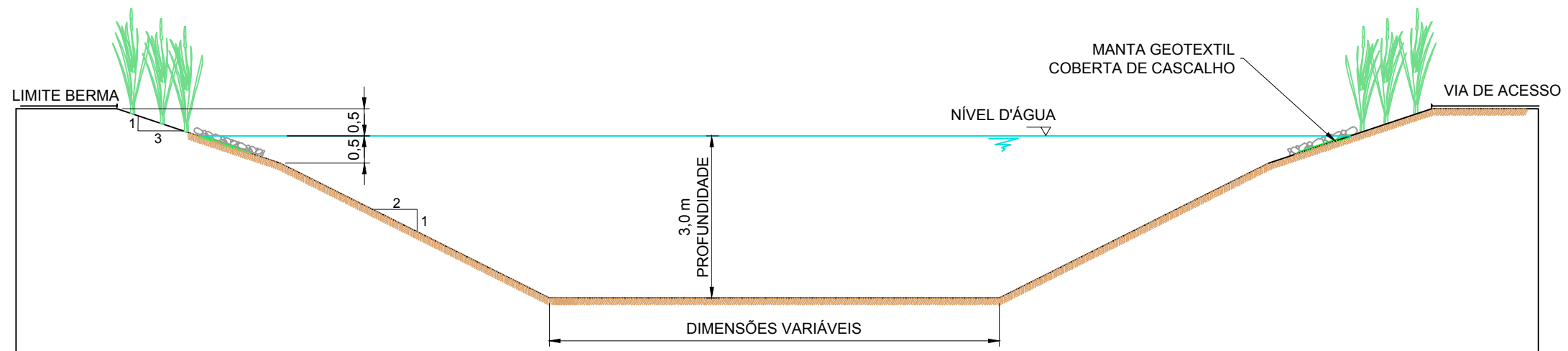


8 SISTEMA DE ACÚMULO E DOSAGEM DE QUÍMICO

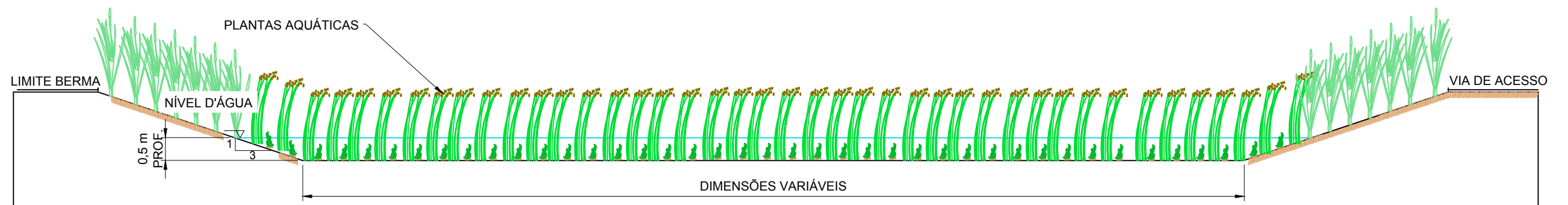
ch2m		FUNDAÇÃO renova	
CH2M NR:	690862-CI-00STN-230-002	CLIENT NR:	
TITLE:	DETALHES CONSTRUTIVOS II DE IV	SHEET:	19 of 22
FUNDAÇÃO RENOVA	ESCALA: S/E	REV:	0



14 SEÇÃO TÍPICA DO CANAL



15 SEÇÃO TÍPICA DA BACIA



16 SEÇÃO TÍPICA DA WETLAND

ch2m

FUNDAÇÃO
renova

CH2M NR: 690862-CI-00STN-230-003

CLIENT NR:

TITLE: DETALHES CONSTRUTIVOS III DE IV

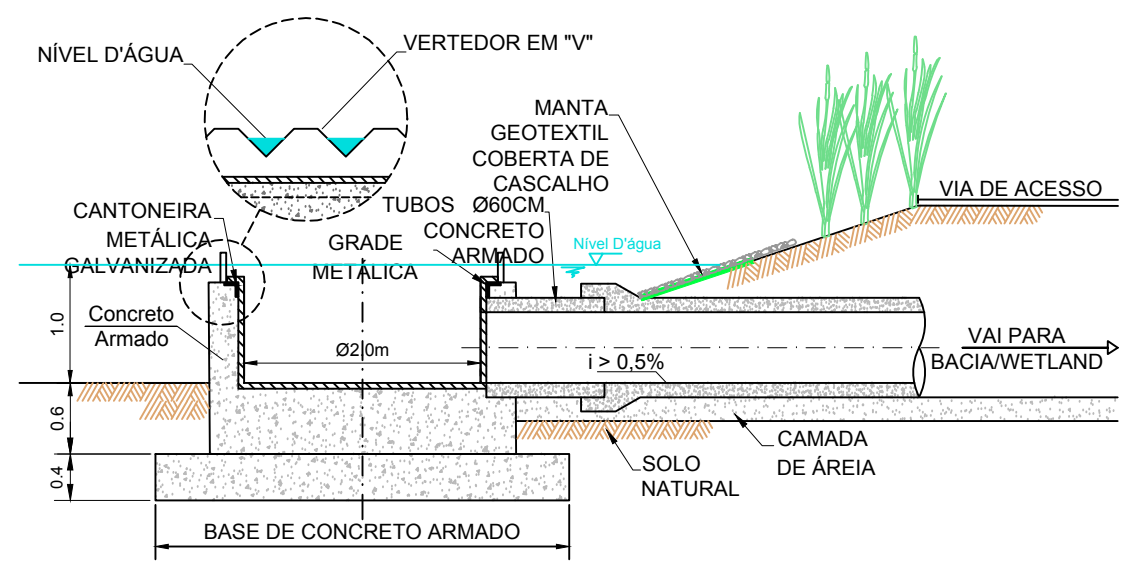
SHEET:
20 of 22

FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/E

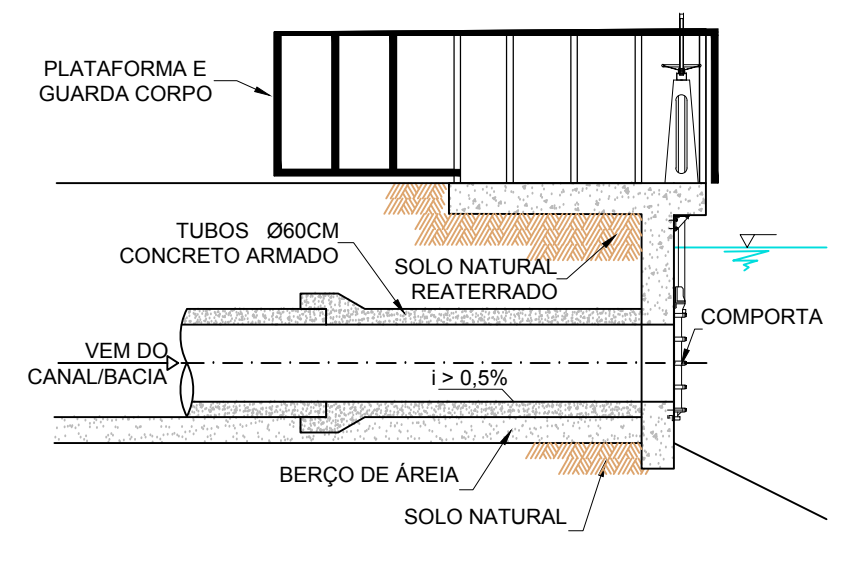
REV:
0

FORMATO A3 : 420 x 297 mm

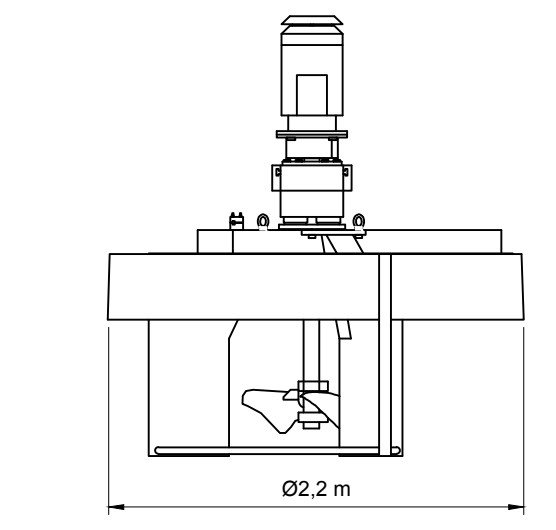
ARQUIVO: 690862-CI-00STN-230-003=0.dwg



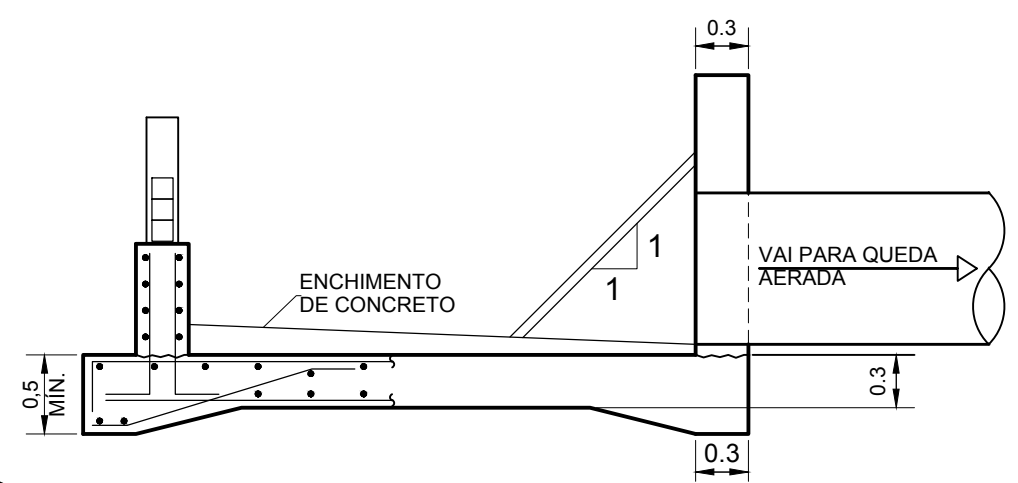
11 DETALHE TÍPICO
VERTEDOURO DE SAÍDA DO CANAL / BACIA DE SEDIMENTAÇÃO



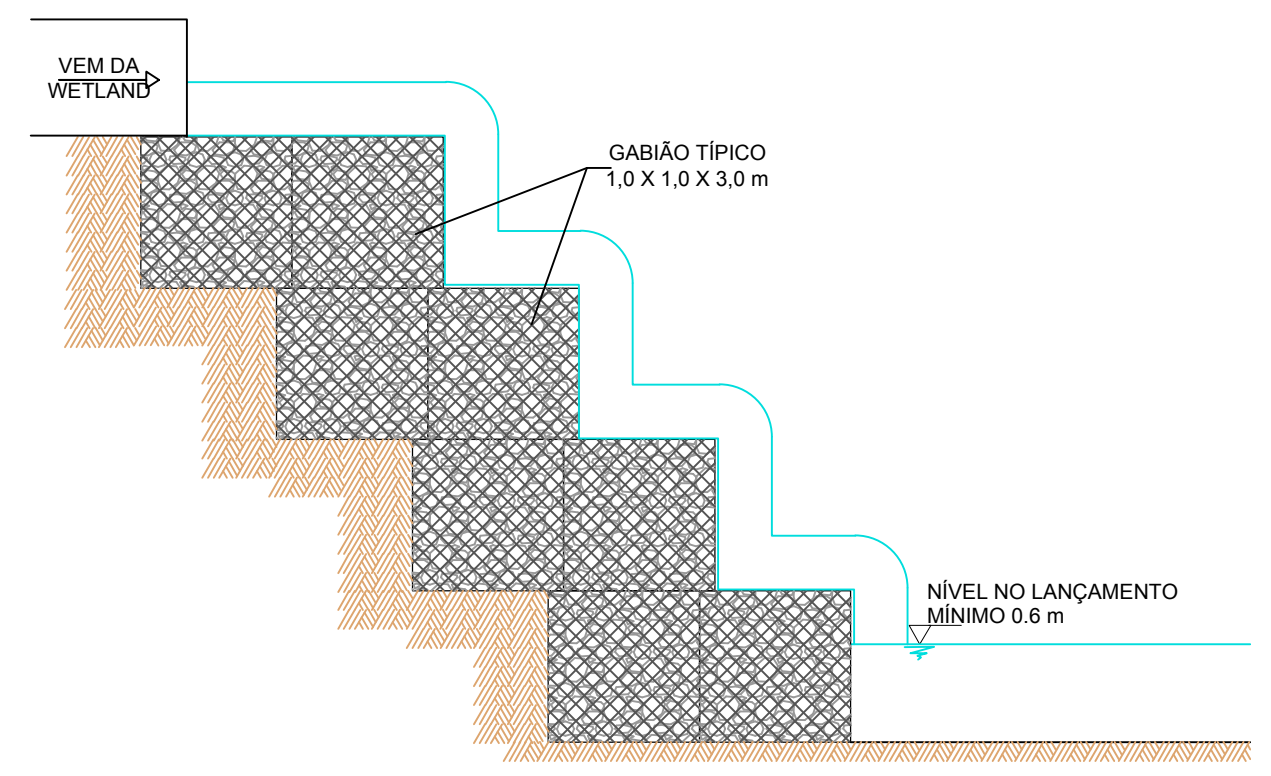
11 DETALHE TÍPICO: VERTEDOURO DE SAÍDA DO CANAL / BACIA DE SEDIMENTAÇÃO



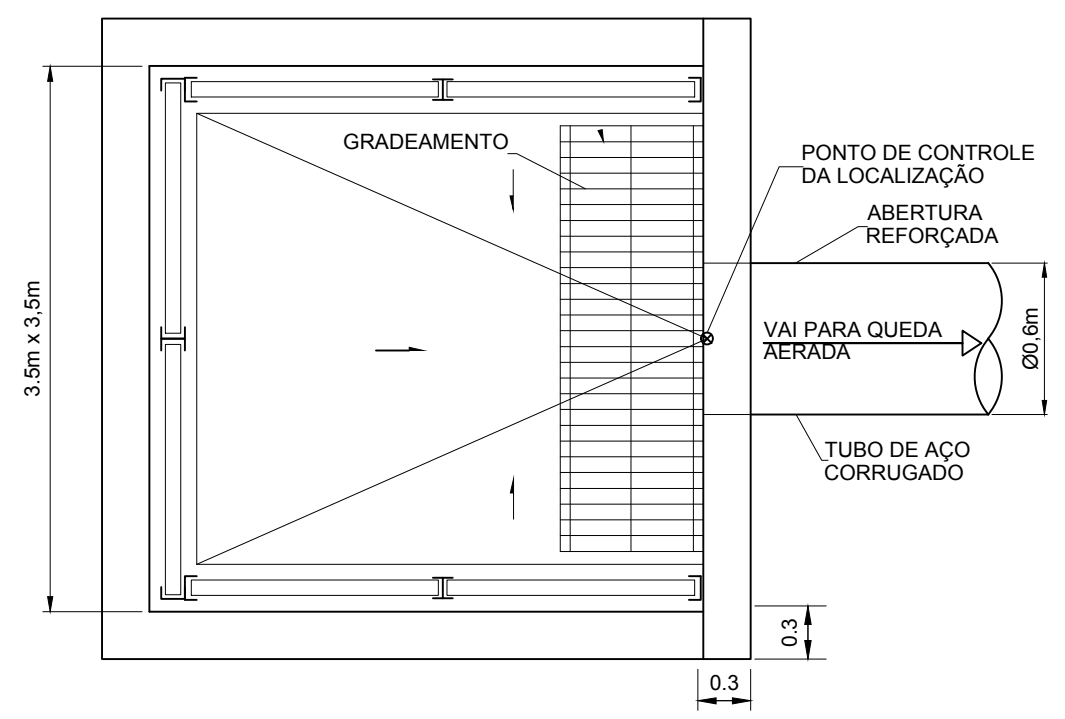
9 10 AGITADOR FLUTUANTE



12 VERTEDOR TÍPICO WETLAND PERFIL



13 DETALHE DA QUEDA AERADA TÍPICA



12 VERTEDOR TÍPICO WETLAND PLANTA

ch2m		FUNDAÇÃO renova	
CH2M NR:	690862-CI-00STN-230-004	CLIENT NR:	
TITLE:	DETALHES CONSTRUTIVOS IV DE IV	SHEET:	21 of 22
	FUNDAÇÃO RENOVA ESCALA: S/E	REV:	0

ZONA PROFUNDA

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	PORTE	FONTE
ALFACE-D'ÁGUA	<i>PISTIA STRATIOTES</i>	HERBÁCIA	1
SALVÍNIA	<i>SALVINIA AURICULATA</i> ; <i>SALVINIA BILOBA</i>	HERBÁCIA	1
AGUAPE	<i>EICHHORNIA CRASSIPES</i>	HERBÁCIA	1
	<i>HETERANTHERA RENIFORMIS</i>	HERBÁCIA	1 2

ZONA PANTANOSA

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	PORTE	FONTE
LIRIO DO BREJO	<i>HEDYCHIUM CORONARIUM</i>	HERBÁCIA	1
TABOA	<i>THYPHA</i>	HERBÁCIA	1
CAVALINHA	<i>EQUISETUM GIGANTEUM</i>	HERBÁCIA	1
PINHEIRINHO D'ÁGUA	<i>MYRIOPHYLLUM AQUATICUM</i>	HERBÁCIA	1

MARGEM DA WETLAND

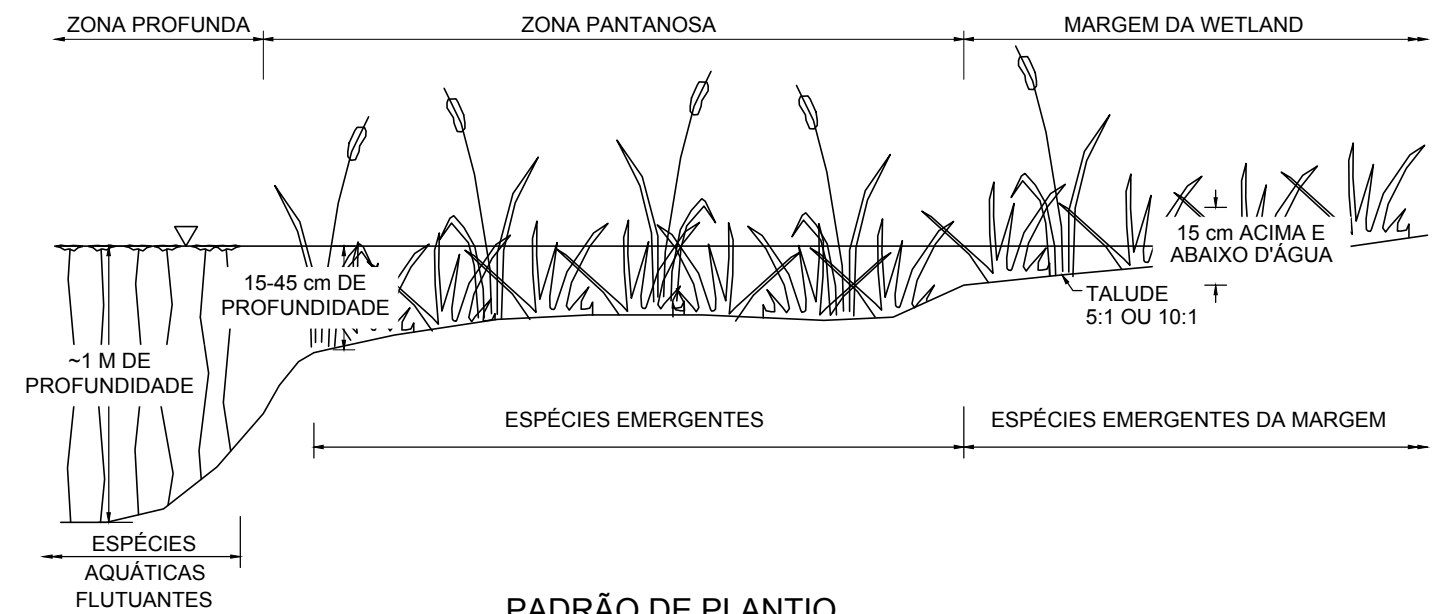
NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	PORTE	FONTE
	<i>POLYGONUM SP.</i>	HERBÁCIA	1
	<i>ELOCHARIS MUTATA</i>	HERBÁCIA	1
	<i>CYPERACEAE SP1.</i>	HERBÁCIA	1
	<i>POLYGONUM MEISNERIANUM</i>	HERBÁCIA	1
	<i>POLYGONUM ACUMINATUM</i>	HERBÁCIA	1
	<i>ACROSTICHUM DANAEIFOLIUMN</i>	HERBÁCIA	1
CANARANA	<i>HYMENACHNE AMPLEXICAULIS</i>	HERBÁCIA	1
PINHEIRINHO D'ÁGUA	<i>MYRIOPHYLLUM AQUATICUM</i>	HERBÁCIA	1 2

MARGEM DA ÁREA ALAGADA

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	PORTE	FONTE
	<i>CANNA PANICULATA</i>	ARBUSTIVA	1 2
	<i>LUDWIGIA ALBIFLORA</i>	ARBUSTIVA	1
	<i>LUDWIGIA DECURRENS</i>	ARBUSTIVA	1
SAMAMBAIA DO MANGUE	<i>ACROSTICHUM DANAEIFOLIUMN</i>	ARBUSTIVA	1
CANARANA	<i>HYMENACHNE AMPLEXICAULIS</i>	ARBUSTIVA	1
TRÊS-QUINAS	<i>PYCREUS POLYSTACHYOS</i>	SUBARBUSTIVO	1 2
	<i>ELOCHARIS RADICANS</i>	SUBARBUSTIVO	1

FONTE:

(1) LOURENÇO, ARTUR ET AL. (2016) - LEVANTAMENTO DE PLANTAS AQUÁTICAS NA BACIA DO RIO DOCE APÓS O DESASTRE AMBIENTAL DE MARIANA (RESULTADOS PRELIMINARES)

(2) FLORA DO BRASIL 2020 DISPONÍVEL EM [HTTP://REFLORA.JBRJ.GOV.BR/REFLORA/LISTABRASIL](http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/listabrasil); ACESSO EM 23/05/2017**ch2m**FUNDAÇÃO
renova

CH2M NR: 690862-AR-00STN-240-001

CLIENT NR:

TITLE: PALETA DE PLANTIO DA WETLAND

SHEET:
22 of 22FUNDAÇÃO RENOVA
ESCALA: S/EREV:
0

FORMATO A3 : 420 x 297 mm

Apêndice C

Modelo Hidráulico Simplificado no HEC-RAS do rio Gualaxo do Norte

1.1 Introdução

A fim de se analisar o comportamento hidráulico do rio Gualaxo do Norte, para se avaliar, principalmente, a ordem de grandeza do nível d'água nos sites de tratamento natural propostos, foram realizadas simulações utilizando-se o modelo matemático *Hydrologic Engineering Center River Analysis System* (HEC-RAS), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE), na sua versão 5.0.3.

Para a análise das condições de escoamento, foram realizadas simulações em regime estacionário. Este componente do sistema de modelagem é capaz de modelar regimes subcríticos, supercríticos e mistos dos perfis de superfície da água. O procedimento computacional básico é baseado na resolução da equação de energia unidimensional. As perdas de energia são calculadas pelo atrito (equação de Manning) e contração/expansão (coeficiente multiplicado pela mudança da velocidade).

1.2 Configuração do Modelo

Domínio

A primeira etapa para configuração do modelo foi a definição do domínio do sistema. A Figura 1 apresenta o limite da bacia hidrográfica de contribuição considerada, destacando a linha d'água configurada para a modelagem do rio Gualaxo do Norte. O trecho estende-se por, aproximadamente, 70 km, desde 5 km a montante da foz do Córrego de Santarém até a estação fluviométrica 56337000, a 9 km da foz do Gualaxo do Norte no rio do Carmo.



Figura 1. Domínio do modelo hidráulico fluvial do rio Gualaxo do Norte. Fonte: (Google Earth, 2016)

Geometria

A definição da geometria do modelo, que inclui o curso d'água, as seções transversais e o estabelecimento dos coeficientes de Manning foi desenvolvida com o auxílio da extensão HEC-GeoRAS, versão 10.4, um software de geoprocessamento desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) capaz de trabalhar de forma integrada informações georreferenciadas no ArcGIS e no HEC-RAS.

Por falta de informações topo-batimétricas ao longo do rio Gualaxo do Norte, foram utilizadas as informações obtidas através do LiDAR. Estas, foram processadas para a geração do arquivo de

elevação necessário para a delimitação da linha d'água e das seções transversais. A Figura 2 apresenta a camada TIN (do inglês *triangular irregular network* – rede triangular irregular) gerada a partir do modelo digital de elevação obtido com os dados do LiDAR.

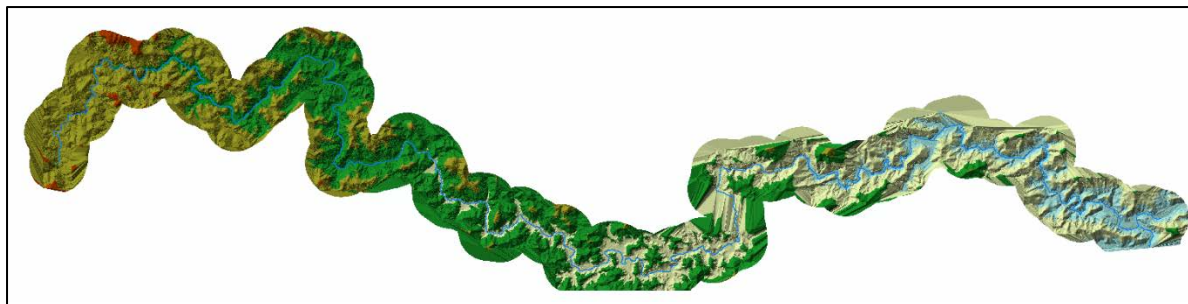


Figura 2. Camada de elevação TIN gerada a partir dos dados do LiDAR para obtenção da geometria do modelo.

As seções transversais foram desenhadas ao longo do rio em pontos estratégicos, considerando a extensão do trecho, as declividades e os potenciais sites de tratamento. Em geral, foi desenhada uma seção a cada quilômetro. Em trechos com declividade maior que 0,75% e nas áreas próximas aos sites de tratamento propostos, aumentou-se esta densidade para uma seção a cada 250m. Foram geradas, ainda, seções por interpolação numérica. O próprio modelo faz os cálculos de interpolação a partir das seções inseridas pelo usuário, assim, elas não têm representação geográfica exata, mas asseguram a estabilidade numérica do modelo em trechos de alto declive e aumentam a visibilidade dos resultados nos trechos de maior interesse, que são os sites de tratamento.

Assim, foram inseridas 137 seções (desenhadas no HEC-GeoRAS) e interpoladas outras 210. Por interpolação, foi gerada uma seção a cada 500 ao longo do rio e uma a cada 20 entre as seções a montante e jusante dos sites de tratamento. A título de informação, a progressiva de início do trecho modelado é a de número 76649, finalizando na progressiva 12.

Uma vez finalizada a etapa de inserção das seções transversais, foram especificados os valores dos coeficientes de rugosidade de Manning para cada seção inserida. Considerou-se quatro diferentes valores, dependendo do tipo do canal e da cobertura do solo da planície de inundação. Os valores foram baseados na literatura (Chow, 1959) e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes de rugosidade de Manning adotados

Tipo de Canal	Progressiva	Coefficiente de Manning
Natural	Todo trecho, exceto o "Natural com rochas (alta declividade)"	0,030
Natural com rochas (alta declividade)	69709 – 68701 62226 – 58995 53649 – 52637 47004 – 45010 25701 – 20798 7630 – 6966	0,045
Planície de inundação – Floresta densa	76649 – 44755	0,150
Planície de inundação – Campo desmatado, poucas árvores	43765 – 12	0,060

1.3 Dados de Entrada

Os dados de entrada utilizados no modelo foram obtidos das medições diárias realizadas na estação fluviométrica 56337000, no rio Gualaxo do Norte, indicada na Figura 3. A estação está localizada no município de Barra Longa/MG (20°16'2''S, 43°6'3''N) e está sob responsabilidade da ANA. A série de dados utilizada na modelagem contempla informações de vazões médias diárias de 1980 a 2015.

Com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia do rio Gualaxo do Norte, foram delimitadas as sub-bacias de drenagem. O mapa da Figura 3 apresenta a divisão estabelecida. Ao todo, foram definidas 81 sub-bacias e, com isso, foi possível estabelecer os pontos de aporte lateral no corpo receptor modelado. Algumas sub-bacias foram agrupadas para entrada em um único ponto. A Tabela 2 apresenta as sub-bacias agrupadas em cada ponto de entrada do modelo.

Tabela 2. Sub-bacias agrupadas em cada ponto de entrada

Ponto de Entrada	Sub-bacias			Ponto de Entrada	Sub-bacias		
76649	SB_27	SB_42	SB_75	43765	SB_17	SB_37	
75783	SB_50	SB_51	SB_58	42738	SB_13		
74775	SB_57			40747	SB_12	SB_23	
71819	SB_56	SB_63	SB_79	39747	SB_09	SB_49	
69709	SB_67	SB_73		38755	SB_18		
68701	SB_76			37759	SB_04		
66730	SB_69	SB_72		36760	SB_03		
64729	SB_65			35741	SB_20		
63760	SB_55	SB_59		34690	SB_07	SB_11	
62738	SB_52			31817	SB_02	SB_05	
61758	SB_53	SB_62		30718	SB_22	SB_16	
59748	SB_64	SB_70		29716	SB_06	SB_10	
58754	SB_78			28803	SB_08		
58515	SB_74			27473.5*	SB_14	SB_15	
56826	SB_61			25701	SB_36	SB_25	
55683	SB_54	SB_77		24698	SB_33		
54704	SB_60			23730	SB_81		
53649	SB_43			22723	SB_32		
52637	SB_38	SB_47		20798	SB_66		
51627	SB_30			19827	SB_26		
50614	SB_34	SB_48		18838	SB_24		
48588	SB_40	SB_71		17835	SB_44	SB_29	
48291	SB_68			16862	SB_28		
47729	SB_39			15864	SB_45		
47349	SB_35			14911	SB_41		
46647	SB_31			14235	SB_46		
45695	SB_21			12873	SB_01	SB_80	
44755	SB_19						

Assim, nesta etapa da modelagem, os valores diários medidos na estação fluviométrica foram distribuídos a montante proporcionalmente à área de cada sub-bacia de contribuição. Tal ação é suficiente para os objetivos atuais da modelagem. Em uma próxima fase, um modelo hidrológico deve ser apresentado para estabelecer vazões de aportes laterais mais precisas para um nível detalhado do projeto dos sites de tratamento natural.

Para análise do comportamento do nível d'água nos sites de tratamento natural, foram simuladas 12 vazões diferentes. Com isso, buscou-se criar subsídios para melhorias das condições de dimensionamento das estruturas do site a fim de buscar a disposição que melhor garanta o correto

funcionamento dos sistemas. A Tabela 3 apresenta as vazões totais utilizadas na modelagem, medidas na estação fluviométrica.

Tabela 3. Vazões simuladas no modelo de corpo receptor

Vazão	Descrição	Valor medido na Estação Fluviométrica [m³/s]
Q _{50%}	Vazão com frequência 50%	9,54
Q _{méd}	Vazão média diária (1980-2015)	13,19
Q _{5%}	Vazão com frequência 5%	29,82
Q _{1%}	Vazão com frequência 1%	69,81
Q _{0,5%}	Vazão com frequência 0,5%	98,39
TR2	Vazão com período de retorno de 2 anos	130,65
TR5	Vazão com período de retorno de 5 anos	232,64
TR10	Vazão com período de retorno de 10 anos	300,16
TR15	Vazão com período de retorno de 15 anos	338,26
TR20	Vazão com período de retorno de 20 anos	364,93
TR25	Vazão com período de retorno de 25 anos	385,48
Q _{máx}	Vazão diária máxima observada no período analisado (1980-2015)	483,51

Nota: a frequência indica a porcentagem em que determinada vazão foi igualada ou superada.

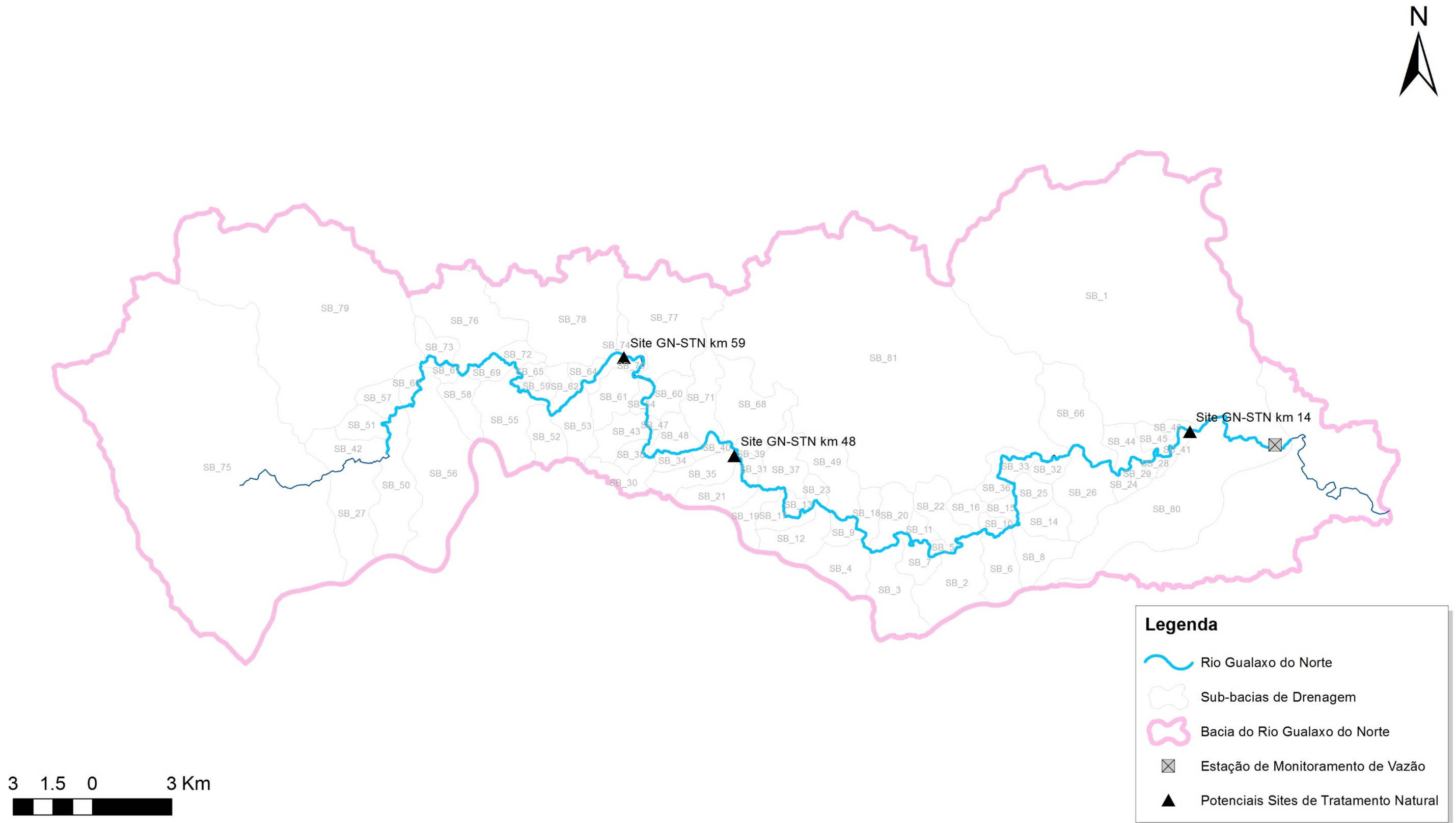
A Tabela 4 apresenta os dados acumulados inseridos no modelo. Nota-se que os maiores saltos nos valores ocorrem nas entradas 71819, 23730 e 12873, que, naturalmente, correspondem às entradas das maiores sub-bacias da área de estudo. Os pontos de entrada 58754, 47729 e 14911 correspondem às seções a montante dos sites de tratamento GN-STN km 59 GN-STN km 48 e GN-STN km 14, respectivamente.

Tabela 4. Vazões acumuladas inseridas no modelo de corpo receptor.

Ponto de Entrada	Vazão [m³/s]											
	Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
76649	1,7	2,4	5,5	12,8	18,0	23,9	42,5	54,9	61,9	66,7	70,5	88,4
75783	1,9	2,7	6,1	14,2	20,0	26,6	47,4	61,1	68,9	74,3	78,5	98,4
74775	2,0	2,7	6,2	14,4	20,3	27,0	48,1	62,1	69,9	75,5	79,7	100,0
71819	3,1	4,2	9,6	22,4	31,6	42,0	74,8	96,5	108,8	117,3	123,9	155,5
69709	3,1	4,3	9,7	22,8	32,1	42,6	75,9	97,9	110,3	119,0	125,7	157,7
68701	3,3	4,5	10,2	24,0	33,8	44,9	79,9	103,1	116,2	125,4	132,5	166,1
66730	3,3	4,6	10,4	24,3	34,2	45,5	81,0	104,5	117,7	127,0	134,1	168,3
64729	3,3	4,6	10,4	24,4	34,3	45,6	81,2	104,8	118,1	127,4	134,5	168,8
63760	3,4	4,7	10,7	25,1	35,4	47,1	83,8	108,1	121,8	131,4	138,8	174,1
62738	3,5	4,8	10,9	25,5	35,9	47,7	84,9	109,5	123,4	133,2	140,7	176,4
61758	3,6	4,9	11,1	26,0	36,7	48,7	86,8	111,9	126,2	136,1	143,8	180,3
59748	3,6	5,0	11,2	26,3	37,1	49,2	87,7	113,1	127,5	137,5	145,3	182,2
58754	3,9	5,3	12,1	28,3	39,9	52,9	94,3	121,6	137,1	147,9	156,2	195,9
58515	3,9	5,4	12,2	28,4	40,1	53,2	94,8	122,3	137,8	148,7	157,1	197,0
56826	3,9	5,4	12,3	28,8	40,6	53,9	96,0	123,9	139,6	150,6	159,1	199,6
55683	4,2	5,7	13,0	30,4	42,8	56,9	101,3	130,7	147,3	158,9	167,9	210,6
54704	4,2	5,8	13,1	30,7	43,2	57,4	102,2	131,9	148,6	160,4	169,4	212,5
53649	4,2	5,9	13,2	31,0	43,7	58,0	103,3	133,3	150,2	162,1	171,2	214,7
52637	4,3	5,9	13,3	31,2	44,0	58,4	104,0	134,1	151,2	163,1	172,3	216,1
51627	4,3	5,9	13,4	31,3	44,1	58,5	104,2	134,5	151,6	163,5	172,7	216,6
50614	4,3	6,0	13,5	31,7	44,6	59,3	105,5	136,1	153,4	165,5	174,8	219,3
48588	4,4	6,1	13,8	32,3	45,5	60,4	107,5	138,7	156,3	168,7	178,2	223,5
48291	4,5	6,3	14,1	33,1	46,7	62,0	110,4	142,4	160,5	173,1	182,9	229,4
47729	4,5	6,3	14,2	33,2	46,8	62,2	110,7	142,8	161,0	173,6	183,4	230,1
47349	4,6	6,4	14,4	33,6	47,4	62,9	112,1	144,6	163,0	175,8	185,7	232,9
46647	4,6	6,4	14,4	33,7	47,6	63,1	112,4	145,1	163,5	176,4	186,3	233,7
45695	4,7	6,4	14,6	34,1	48,1	63,8	113,7	146,7	165,3	178,3	188,3	236,2
44755	4,7	6,5	14,7	34,4	48,4	64,3	114,5	147,8	166,5	179,6	189,8	238,0
43765	4,8	6,6	14,9	34,9	49,3	65,4	116,5	150,3	169,3	182,7	193,0	242,0
42738	4,8	6,6	15,0	35,0	49,4	65,6	116,8	150,7	169,8	183,2	193,5	242,7

Ponto de Entrada	Vazão [m³/s]											
	Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
40747	4,9	6,7	15,2	35,6	50,2	66,6	118,6	153,1	172,5	186,1	196,6	246,6
39747	5,0	6,9	15,6	36,4	51,3	68,2	121,3	156,6	176,4	190,4	201,1	252,2
38755	5,0	6,9	15,6	36,6	51,6	68,5	122,0	157,4	177,4	191,4	202,2	253,6
37759	5,1	7,0	15,8	37,1	52,3	69,4	123,6	159,5	179,7	193,9	204,8	256,9
36760	5,2	7,1	16,1	37,8	53,3	70,8	126,0	162,6	183,2	197,6	208,8	261,8
35741	5,2	7,2	16,3	38,2	53,8	71,4	127,2	164,1	184,9	199,5	210,7	264,3
34690	5,3	7,3	16,5	38,5	54,3	72,1	128,4	165,7	186,7	201,4	212,8	266,9
31817	5,4	7,4	16,8	39,4	55,5	73,7	131,2	169,3	190,8	205,8	217,4	272,7
30718	5,5	7,6	17,1	40,0	56,3	74,8	133,2	171,9	193,7	209,0	220,8	276,9
29716	5,5	7,7	17,3	40,5	57,1	75,9	135,1	174,3	196,4	211,9	223,8	280,7
28803	5,6	7,7	17,5	40,9	57,7	76,6	136,4	176,0	198,3	213,9	226,0	283,5
27473.5*	5,6	7,8	17,6	41,3	58,2	77,3	137,7	177,6	200,2	216,0	228,1	286,1
25701	5,7	7,9	17,8	41,8	58,9	78,2	139,2	179,6	202,4	218,3	230,6	289,3
24698	5,7	7,9	17,9	41,9	59,0	78,4	139,6	180,1	203,0	219,0	231,3	290,1
23730	7,2	10,0	22,6	52,8	74,5	98,9	176,1	227,2	256,0	276,2	291,7	365,9
22723	7,2	10,0	22,6	53,0	74,7	99,2	176,6	227,8	256,7	277,0	292,6	367,0
20798	7,4	10,2	23,0	53,9	75,9	100,8	179,6	231,7	261,1	281,7	297,5	373,2
19827	7,5	10,3	23,3	54,6	76,9	102,1	181,9	234,6	264,4	285,3	301,3	378,0
18838	7,5	10,3	23,3	54,7	77,0	102,3	182,1	235,0	264,8	285,7	301,8	378,6
17835	7,5	10,4	23,5	55,0	77,5	103,0	183,4	236,6	266,6	287,6	303,8	381,1
16862	7,5	10,4	23,5	55,1	77,6	103,1	183,6	236,9	266,9	288,0	304,2	381,5
15864	7,6	10,4	23,6	55,2	77,9	103,4	184,1	237,6	267,7	288,8	305,1	382,7
14911	7,6	10,5	23,6	55,3	78,0	103,6	184,4	238,0	268,2	289,3	305,6	383,3
14235	7,6	10,5	23,7	55,4	78,1	103,7	184,7	238,3	268,5	289,7	306,0	383,9
12873	9,5	13,2	29,8	69,8	98,4	130,7	232,6	300,2	338,3	364,9	385,5	483,5

Figura 3. Sub-bacias de drenagem na bacia do rio Gualaxo do Norte.



1.4 Resultados

Como o objetivo da modelagem desta fase do estudo é verificar o efeito de determinadas vazões sobre os sites de tratamento propostos, foram selecionadas seções estratégicas em cada site para se analisar, a partir de um referencial, a altura do nível d'água, que podem causar alagamentos indesejados. Tomou-se como referência as cotas de topo das bermas delimitadoras de canais, *wetlands* e bacias de sedimentação de cada site, uma vez que é importante conhecer a capacidade de proteção dessas estruturas para dimensioná-las maximizando o funcionamento correto do sistema de tratamento, dentro de condições aceitáveis.

A **Tabela 5** apresenta as seções transversais selecionadas para análise. Nas subseções seguintes, os resultados estão apresentados separadamente para cada site.

Tabela 5. Seções transversais de análise e cotas de elevação de referência para análise do nível d'água nos sites de tratamento propostos.

Site GN-STN km 59	Site GN-STN km 48	Site GN-STN km 14
58515	47463.0*	14235
58400.5*	47349	14006
58305.1*	47253.1*	13855
58267	47176.5*	13720.9*
58138.0*	47119.0*	13606
58046		
57889.7*		

GN-STN km 59

Quando analisada a disposição das estruturas do site de tratamento GN-STN km 59, que pode ser vista na Figura 4, nota-se que a *wetland* é a estrutura que sofreria o primeiro impacto em caso de vazões extremas no rio Gualaxo do Norte. Considerando a cota de elevação do topo das bermas, a altura do nível d'água começaria a ultrapassá-las a partir de vazões com um TR de 15 anos (137 m³/s), como apresentado na Tabela 6.

A grande preocupação com a elevação do nível do rio seria o seu transbordamento até atingir as bacias de sedimentação, onde estaria acontecendo o tratamento com produtos químicos da do rio. A entrada de água fora do percurso de tratamento estabelecido poderia ocasionar a lavagem das bacias. Assim, a análise da altura d'água atingida na seção 58305.1* mostra que vazões superiores a um Q max implicaria em transbordamentos para a *wetland* e para as bacias de sedimentação 1 e 2.

É importante ressaltar que, devido às informações utilizadas considerarem dados do LiDAR (sem a realização de batimetria) e aproximações para os cálculos das vazões, os resultados aqui apresentados indicam uma ordem de grandeza conservadora de possíveis implicações de cenários de vazão, não devendo ser considerados em seu valor literal. Estas informações serão refinadas na próxima etapa do projeto.

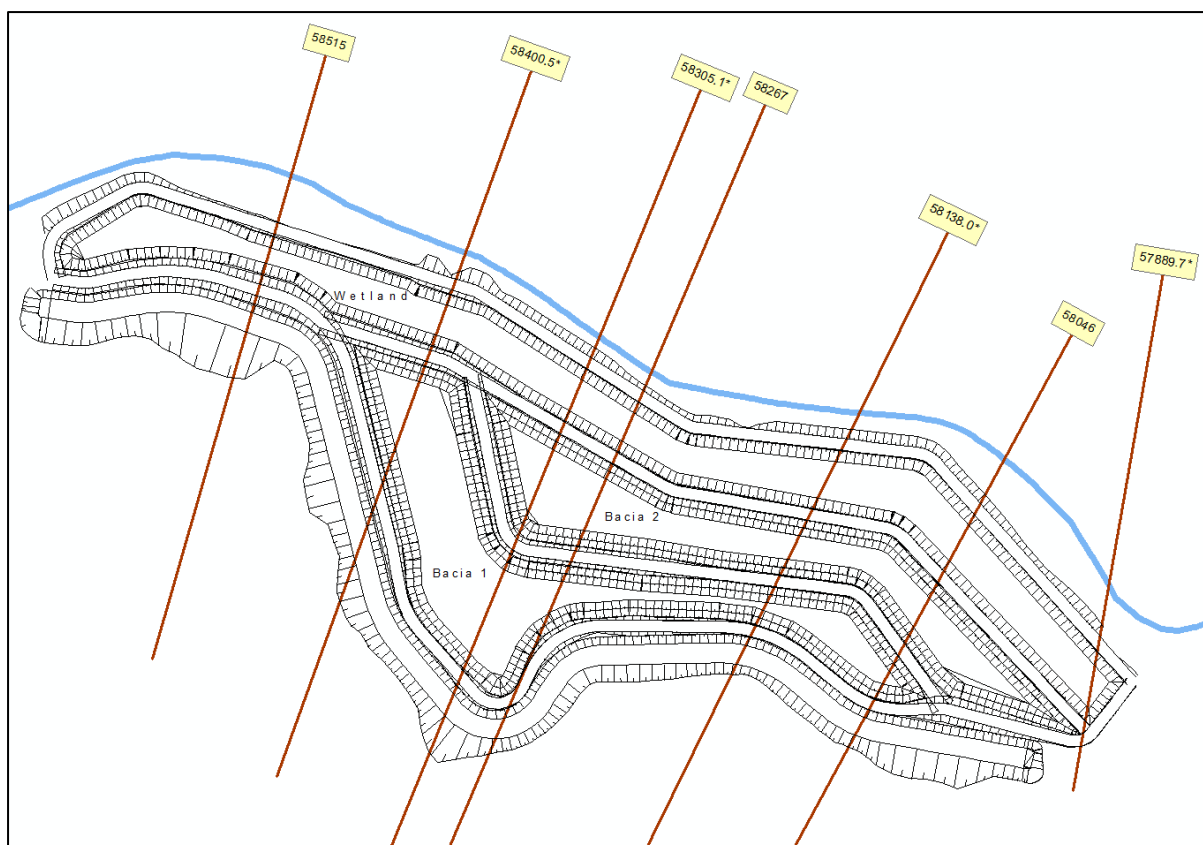


Figura 4. Site GN-STN km 59 – Seções transversais analisadas na modelagem.

Tabela 6. Resultados na modelagem – Site GN-STN km 59. Altura do nível d'água acima da superfície das bermas.

	Seções	Nível d'água acima da superfície das bermas [m]											
		Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
Wetland 1	58515	-2,27	-2,18	-1,88	-1,46	-1,24	-1,05	-0,62	-0,41	-0,31	-0,24	-0,19	0,05
	58400.5*	-2,86	-2,77	-2,46	-2,02	-1,79	-1,60	-1,17	-0,95	-0,85	-0,78	-0,73	-0,49
	58305.1*	-2,07	-1,98	-1,69	-1,25	-0,98	-0,77	-0,33	-0,09	0,01	0,08	0,14	0,37
	58267	-2,19	-2,10	-1,81	-1,38	-1,11	-0,90	-0,45	-0,19	-0,09	-0,03	0,03	0,27
	58138.0*	-2,30	-2,22	-1,95	-1,56	-1,33	-1,14	-0,69	-0,36	-0,25	-0,19	-0,14	0,12
	58046	-2,45	-2,37	-2,12	-1,74	-1,53	-1,33	-0,86	-0,62	-0,51	-0,43	-0,38	-0,14
	57889.7*	-2,72	-2,65	-2,40	-2,01	-1,79	-1,59	-1,11	-0,86	-0,74	-0,66	-0,60	-0,34
Bacias 1 e 2	58515	-3,65	-3,56	-3,26	-2,84	-2,62	-2,43	-2,00	-1,79	-1,69	-1,62	-1,57	-1,33
	58400.5*	-2,90	-2,81	-2,50	-2,06	-1,83	-1,64	-1,21	-0,99	-0,89	-0,82	-0,77	-0,53
	58305.1*	-2,07	-1,98	-1,69	-1,25	-0,98	-0,77	-0,33	-0,09	0,01	0,08	0,14	0,37
	58267	-2,19	-2,10	-1,81	-1,38	-1,11	-0,90	-0,45	-0,19	-0,09	-0,03	0,03	0,27
	58138.0*	-2,30	-2,22	-1,95	-1,56	-1,33	-1,14	-0,69	-0,36	-0,25	-0,19	-0,14	0,12
	58046	-2,45	-2,37	-2,12	-1,74	-1,53	-1,33	-0,86	-0,62	-0,51	-0,43	-0,38	-0,14
	57889.7*	-2,72	-2,65	-2,40	-2,01	-1,79	-1,59	-1,11	-0,86	-0,74	-0,66	-0,60	-0,34
Bacia 1	58305.1*	-2,99	-2,90	-2,61	-2,17	-1,90	-1,69	-1,25	-1,01	-0,91	-0,84	-0,78	-0,55
	58267	-3,03	-2,94	-2,65	-2,22	-1,95	-1,74	-1,29	-1,03	-0,93	-0,87	-0,81	-0,57
	58138.0*	-2,30	-2,22	-1,95	-1,56	-1,33	-1,14	-0,69	-0,36	-0,25	-0,19	-0,14	0,12
	58046	-2,45	-2,37	-2,12	-1,74	-1,53	-1,33	-0,86	-0,62	-0,51	-0,43	-0,38	-0,14

GN-STN km 48

No site GN-STN km 48, os níveis d'água foram analisados em 5 seções transversais, conforme apresentado na Figura 5. As *wetlands* 1 e 2 estão às margens do rio, sendo as primeiras atingidas em caso de um evento extremo. Pelos resultados apresentados na Tabela 7, o nível d'água do rio ultrapassaria as bermas laterais das *wetlands* a partir de vazões com TR de 5 anos. Dentre as vazões simuladas, a bacia de sedimentação 1 seria atingida com um TR de 20 anos, enquanto a bacia 2, apenas caso a vazão máxima registrada voltasse a acontecer.

Novamente, vale lembrar que os níveis aqui apresentados indicam apenas uma ordem de grandeza, em uma situação conservadora, os impactos de diferentes cenários de vazão sobre os sites de tratamento propostos, não devendo ser considerados em seu valor literal.

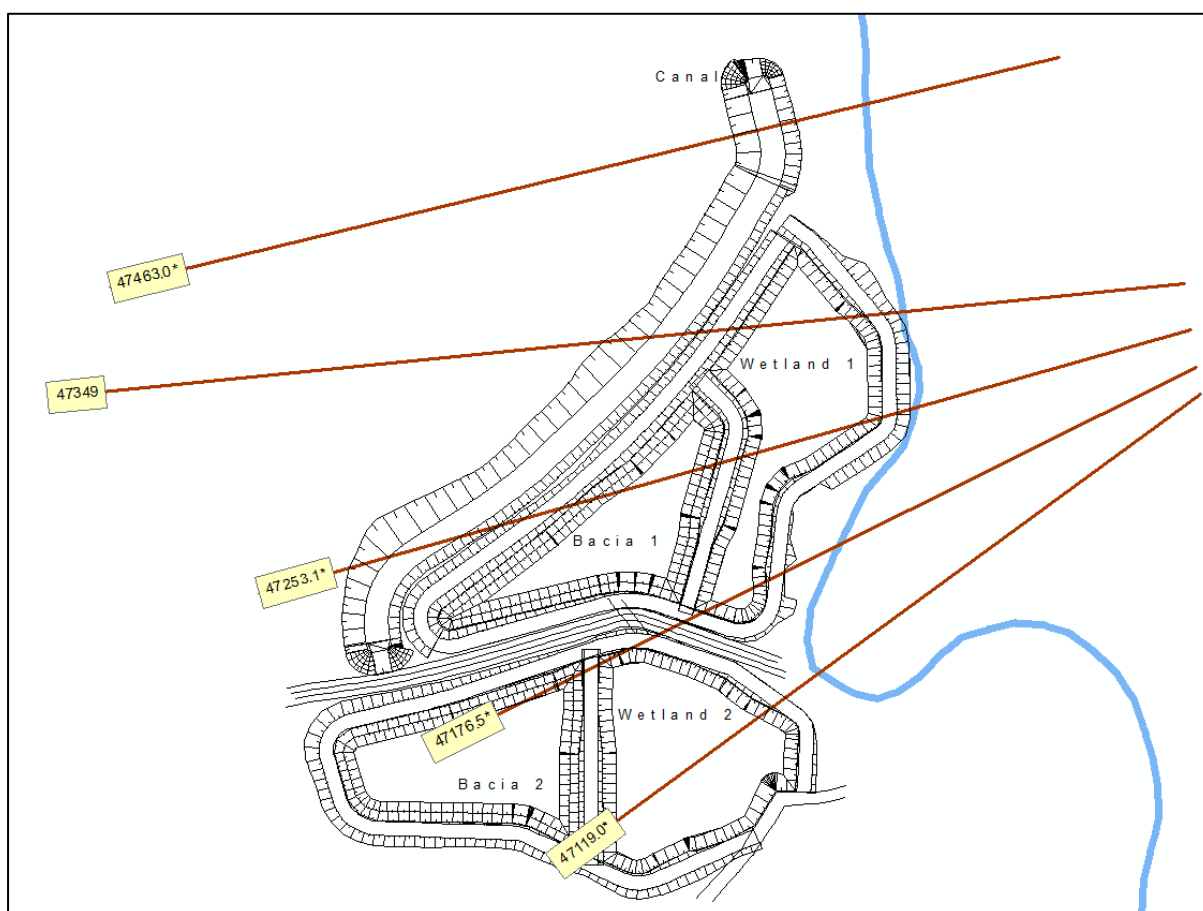


Figura 5. Site GN-STN km 48 – Seções transversais analisadas na modelagem

Tabela 7. Resultados na modelagem – Site GN-STN km 48. Altura do nível d'água acima da superfície das bermas.

	Seções	Nível d'água acima da superfície das bermas [m]											
		Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
Canal	47463.0*	-1,77	-1,71	-1,55	-1,28	-1,11	-0,92	-0,36	0,02	0,30	0,51	0,63	0,99
	47349	-2,99	-2,87	-2,51	-1,96	-1,68	-1,42	-0,77	-0,38	-0,13	0,05	0,15	0,55
	47253.1*	-2,78	-2,66	-2,27	-1,74	-1,47	-1,21	-0,59	-0,22	-0,03	0,10	0,19	0,58
Wetland 1	47349	-1,60	-1,48	-1,12	-0,57	-0,29	-0,03	0,62	1,01	1,26	1,44	1,54	1,94

	Seções	Nível d'água acima da superfície das bermas [m]											
		Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
	47253.1*	-1,74	-1,62	-1,23	-0,70	-0,43	-0,17	0,45	0,82	1,01	1,14	1,23	1,62
	47176.5*	-2,66	-2,54	-2,16	-1,61	-1,35	-1,10	-0,51	-0,16	0,01	0,13	0,22	0,59
Bacia 1	47253.1*	-2,58	-2,46	-2,07	-1,54	-1,27	-1,01	-0,39	-0,02	0,17	0,30	0,39	0,78
Wetland 2	47119.0*	-1,99	-1,87	-1,49	-0,96	-0,70	-0,46	0,12	0,44	0,61	0,72	0,80	1,16
Bacia 2	47119.0*	-2,89	-2,77	-2,39	-1,86	-1,60	-1,36	-0,78	-0,46	-0,29	-0,18	-0,10	0,26

GN-STN km 14

No site GN-STN km 14, a *wetland* e a bacia de sedimentação 2 estão às margens do rio Gualaxo do Norte, como indicado na Figura 6. Os resultados preliminares desta modelagem simplificada mostram que a *wetland* seria inundada já com uma vazão de TR 2 anos (104 m³/s). A bacia de sedimentação 2, por outro lado, seria inundada com vazões superiores às de TR 10 anos, assim como a bacia 1.

As simplificações adotadas para a modelagem devem ser consideradas ao se analisar os resultados do modelo, não sendo possível adotá-los como números absolutos e lembrando sempre que representam a ordem de grandeza das vazões.

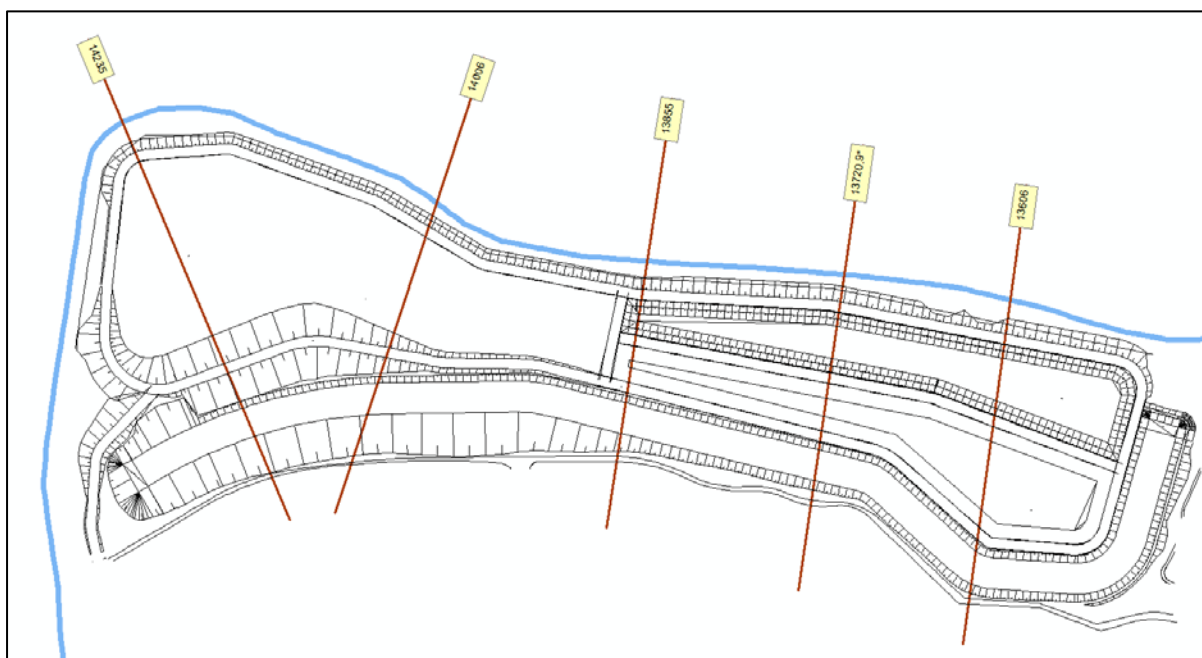


Figura 6. Site GN-STN km 14 – Seções transversais analisadas na modelagem

Tabela 8. Resultados na modelagem – Site GN-STN km 14. Altura do nível d'água acima da superfície das bermas.

	Seções	Nível d'água acima da superfície das bermas [m]											
		Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
Wetland 1	14235	-1,60	-1,47	-1,06	-0,43	-0,10	0,25	0,96	1,20	1,32	1,40	1,46	1,73
	14006	-1,83	-1,70	-1,29	-0,68	-0,37	-0,06	0,62	0,84	0,95	1,02	1,08	1,33
Bacia 2	13855	-2,04	-1,92	-1,52	-0,93	-0,63	-0,34	0,34	0,54	0,65	0,73	0,79	1,06
	13720.9*	-2,26	-2,15	-1,81	-1,24	-0,93	-0,63	0,11	0,30	0,43	0,52	0,58	0,89
Bacia 1	13606	-2,54	-2,43	-2,05	-1,46	-1,15	-0,87	-0,25	0,05	0,22	0,32	0,40	0,76
Bacia 1	13855	-2,04	-1,92	-1,52	-0,93	-0,63	-0,34	0,34	0,54	0,65	0,73	0,79	1,06

	Seções	Nível d'água acima da superfície das bermas [m]											
		Q _{50%}	Q _{méd}	Q _{5%}	Q _{1%}	Q _{0,5%}	TR2	TR5	TR10	TR15	TR20	TR25	Q _{máx}
	13720.9*	-2,26	-2,15	-1,81	-1,24	-0,93	-0,63	0,11	0,30	0,43	0,52	0,58	0,89
	13606	-2,54	-2,43	-2,05	-1,46	-1,15	-0,87	-0,25	0,05	0,22	0,32	0,40	0,76
Canal	14235	-8,51	-8,38	-7,97	-7,34	-7,01	-6,66	-5,95	-5,71	-5,59	-5,51	-5,45	-5,18
	14006	-5,46	-5,33	-4,92	-4,31	-4,00	-3,69	-3,01	-2,79	-2,68	-2,61	-2,55	-2,30
	13855	-2,15	-2,03	-1,63	-1,04	-0,74	-0,45	0,23	0,43	0,54	0,62	0,68	0,95
	13720.9*	-2,26	-2,15	-1,81	-1,24	-0,93	-0,63	0,11	0,30	0,43	0,52	0,58	0,89
	13606	-2,54	-2,43	-2,05	-1,46	-1,15	-0,87	-0,25	0,05	0,22	0,32	0,40	0,76

1.5 Conclusões

A modelagem desta fase do projeto foi feita de maneira simplificada com o objetivo de analisar a ordem de grandeza das vazões os níveis d'água subsídios do dimensionamento conceitual. Os resultados da modelagem desta fase do projeto foram baseados em informações de LiDAR, sem a realização de relevamentos topo-batimétricos, sendo o suficiente para o projeto de concepção dos sites de tratamento natural off-line.

Da análise observou-se que nas bacias de sedimentação existe a possibilidade de lavagem por evento de cheias em:

- GN-STN km 59: Q_{max} observada nos últimos 35 anos (196 m³/s)
- GN-STN km 48: TR 20 anos (174 m³/s)
- GN-STN km 14: TR 10 anos (238 m³/s)

É importante ressaltar que, devido às informações utilizadas considerarem dados do LiDAR (sem a realização de batimetria) e aproximações para os cálculos das vazões, os resultados aqui apresentados indicam uma ordem de grandeza conservadora de possíveis implicações de cenários de vazão, não devendo ser considerados em seu valor literal. Estas informações serão refinadas na próxima etapa do projeto. Estas informações deverão ser refinadas na próxima fase do projeto executivo em função dos relevamentos topo-batimétricos a serem realizados e uma vez aprimorados os cálculos hidrológicos e hidráulicos.



CH2M HILL
Vila Olímpia
Rua do Rócio, 351 – 1° andar
São Paulo, Brasil 04.552-000
Tel: +55 11 3040 0800