



FUNDAÇÃO
renova

**PG-25- PROGRAMA DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA AMBIENTAL 1,
NOS MUNICÍPIOS DE MARIANA, BARRA LONGA, RIO DOCE E
SANTA CRUZ DO ESCALVADO – MG**

Outubro/2018

CONTROLE DE MUDANÇAS DO PROGRAMA

DATA	ID	RESUMO DA MUDANÇA
11/2017	00s	Emissão Inicial
08/2018	00s	Atendimento as recomendações da CT-Flor e GT Indicadores

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este documento tem como finalidade apresentar as bases para definição do Programa de Recuperação da Área ambiental 1, de acordo com Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta - TTAC, no âmbito da subseção II – Restauração Florestal e Produção de Água, referente as cláusulas 158, 159 e 160 conforme anexo 1 e deliberações CIF Nº 11/2016, Nº 26/2016 e Nº 89/2017 - documentos complementares.

O programa tem como objetivo a recuperação da área diretamente impactada pelo rompimento da barragem de Fundão (área com depósito de rejeitos localizada nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Ponte Nova e Santa Cruz do Escalvado – MG), por meio de: (i) revegetação emergencial; (ii) reconformação das calhas, margens e controle de processos erosivos, (iii) restauração florestal das áreas de preservação permanente e florestas afetadas, e (iv) restituição dos ambientes agrícolas produtivos, sendo este último, realizado no âmbito do Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias. De forma estruturada em médio e longo prazo, as ações propostas por estes programas visam harmonizar objetivos múltiplos por meio da reparação integrada das propriedades rurais, com vistas a potencializar a efetividade ações implementadas.

A proposta considera como estratégia central, uma abordagem sistêmica no “Locus” de atuação dos diversos programas sob responsabilidade executiva da Fundação Renova, considerando a propriedade rural e as famílias atingidas no centro das soluções que buscam o retorno do uso e ocupação das áreas afetadas através de um Plano de Adequação Socioeconômico e Ambiental – PASEA, ainda em interface direta com o Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias, Programa de fomento do Cadastro Ambiental Rural, Programa de Regularização Ambiental e Programa de Manejo de Rejeitos, que podem, de forma integrada, contribuir para uma nova dinâmica do uso da terra e dos recursos naturais.

O custo total do Programa de Recuperação da Área Ambiental 1 é de R\$382,6 Milhões.

SUMÁRIO

1.0	Apresentação	1
2.0	Justificativa.....	4
3.0	Diretrizes, requisitos e restrições	9
3.1	Diretrizes.....	9
3.2	Requisitos.....	11
3.3	Restrições:	11
4.0	Objetivo	12
4.1	Objetivos específicos.....	12
5.0	Projeto de Plantio Emergencial	12
5.1	Etapas de execução	12
5.1.1	Mapeamento inicial das áreas impactadas pelo evento.....	12
5.1.2	Seleção de um “Mix” de espécies herbáceas de rápido crescimento visando a cobertura inicial do solo.....	15
5.1.3	Preparo do Solo e Semeadura	17
5.2	Critérios de avaliação e monitoramento	20
5.2.1	Índice de Cobertura da Vegetação Herbácea/Arbustiva	21
5.2.2	Mapeamento de vegetação e não vegetação para as imagens de alta resolução	22
5.2.3	Avaliação da biomassa da vegetação herbácea/arbustiva	29
5.2.3.1	Seleção de Áreas Amostrais	31
5.2.3.2	Amostragem em campo para estimação da biomassa de formações herbáceas e arbustivas.....	32
5.2.3.3	Amostragem e estimação da biomassa epígea em formações florestais	33
5.2.3.4	Verificação de tendências na evolução da biomassa das formações herbáceas e arbustivas	35
5.2.3.5	Estimação integrada da biomassa no conjunto das áreas afetadas a partir de modelagem em sistema de informação geográfica	36

5.2.4	Indicadores e metas.....	38
6.0	Projeto de Regularização das Calhas, Margens, e Controle de Processos Erosivos nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, no Trecho Montante da UHE Risoleta Neves.....	39
6.1	Objetivo	39
6.2	Etapas de Execução	39
6.2.1	Caracterização das Áreas Afetadas.....	39
6.2.2	Regularização Topográfica do Terreno e Disciplinamento do Sistema de Drenagem por Técnicas de Bioengenharia.....	44
6.2.2.1	Reabilitação dos Rios Principais	44
6.2.2.1.1	Metodologia.....	46
6.2.2.1.1.1	Levantamentos de Campo.....	46
6.2.2.1.1.2	Proposição de seções tipo	47
6.2.2.1.1.3	Elaboração de projeto.....	48
6.2.2.1.1.4	Topografia	48
6.2.2.1.1.5	Estudos hidrológicos.....	48
6.2.2.1.1.6	Modelagem hidráulica.....	49
6.2.2.1.1.7	Bioengenharia de solos no controle da erosão	50
6.2.2.1.1.8	Dimensionamento do Enrocamento	53
6.2.2.1.1.9	Definição dos subtipos de seção dos projetos	53
6.2.2.1.1.10	Desenhos.....	55
6.2.2.2	Reabilitação de Tributários.....	57
6.2.2.2.1	Estudos hidrológicos	63
6.2.2.2.1.1	Pluviometria	63
6.2.2.2.1.2	Chuva de Projeto	63
6.2.2.2.1.3	Fluviometria	63
6.2.2.2.2	Dimensionamento Hidráulico.....	64
6.2.2.2.3	Premissas e critérios de Projeto.....	65

6.2.2.2.4	Metodologia	66
6.2.2.2.4.1	Mapeamento inicial	66
6.2.2.2.4.2	Levantamento de campo.....	67
6.2.2.2.4.3	Proposição de seção de projeto.....	67
6.2.2.2.4.4	Elaboração do projeto.....	70
6.2.2.2.4.5	Construção com acompanhamento de campo	72
6.2.2.3	Critérios de avaliação e monitoramento das Taxas de Erosão em Planícies de Inundação	75
6.2.2.3.1	Parcelas de Monitoramento.....	76
6.2.2.3.1.1	Coleta de amostras de sedimentos do escoamento superficial, suficiência amostral e análises estatísticas.....	81
6.2.2.3.1.2	Cálculo da taxa de erosão	83
6.2.2.4	Indicadores e metas.....	84
7.0	Projeto de Restauração florestal em propriedades Rurais	85
7.1	Objetivo	85
7.2	Premissas	85
7.3	Metodologia	87
7.4	Etapas de execução	88
7.4.1	Mapeamento inicial das áreas passíveis de restauração florestal no âmbito da cláusula 159 do TTAC	88
7.4.2	Realização de Plantios Pilotos de Restauração Florestal.....	94
7.4.3	Implantação de Unidades Demonstrativas de Sistemas Agroflorestais e Silvicultura de espécies nativas da Mata Atlântica	97
7.4.4	Avaliação de Oportunidades de Restauração de Florestas Nativas (ROAM)	98
7.4.5	Índice de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) e Plano de Adequação Socioeconômico e Ambiental de Propriedades Rurais (PASEA)	101
7.4.6	Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER Sustentabilidade) no âmbito das interfaces com a Restauração Florestal (CT-Flor)	103
7.4.7	Gestão de Interfaces – Educação para Revitalização.....	104

7.4.8	Restauração das Florestas Nativas	104
7.4.8.1	Planejamento das atividades	104
7.4.8.1.1	Definição das espécies e proporção dos grupos funcionais	105
7.4.8.1.2	Diagnóstico dos cenários e estratégias de recomposição da vegetação nativa	107
7.4.8.1.3	Modalidades de restauração ecológica	109
7.4.8.1.3.1	Condução da regeneração natural	110
7.4.8.1.3.2	Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural (Enriquecimento)	111
7.4.8.1.3.3	Plantio de espécies nativas em área total	112
7.4.8.1.3.4	Sistemas agroflorestais com fins à restauração ecológica	116
7.4.8.1.3.5	Tratos culturais e manutenções periódicas	119
7.4.8.2	Elaboração de projeto executivo	119
7.4.8.2.1	Coleta e análise de solo	119
7.4.8.2.2	Preparo Do Solo	121
7.4.8.2.3	Sulcagem	122
7.4.8.2.4	Roçada manual	122
7.4.8.2.5	Roçada semi-mecanizada	123
7.4.8.2.6	Combate as formigas cortadeiras	124
7.4.8.2.7	Espaçamento	126
7.4.8.2.8	Plantio	126
7.4.8.2.9	Regeneração natural com enriquecimento:	126
7.4.8.2.10	Alinhamento das mudas em campo	127
7.4.8.2.11	Coroamento	127
7.4.8.2.12	Adubação	128
7.4.8.2.13	Execução do plantio	129
7.4.8.3	Manutenção das atividades	131
7.4.8.3.1	Gestão e Controle da Qualidade do Plantio	132

7.4.8.3.2	Monitoramento dos indicadores de efetividade	137
7.4.8.3.3	Parâmetros/Indicadores	139
7.4.8.3.3.1	Diversidade de espécies.....	140
7.4.8.3.3.2	Densidade de regenerantes	142
7.4.8.3.3.3	Controle de espécies invasoras	144
7.4.8.3.3.4	Solo exposto	145
7.4.8.3.4	Periodicidade do monitoramento, análises estatísticas e emissão de relatórios de progresso	149
8.0	Interface com outros programas	152
9.0	Planejamento consolidado do programa	154
9.1	Custo do programa (R\$ milhão).....	154
9.2	Cronograma do programa	155
10.0	Anexos	156
11.0	Referências Bibliográficas	157
12.0	Glossário	166
13.0	Equipe Técnica	175

1.0 Apresentação

Em 05 de novembro de 2015, com o rompimento da Barragem de Fundão, de propriedade da SAMARCO S.A, localizada no Complexo Industrial de Germano, no município de Mariana – MG, foi liberado um volume estimado em cerca de 39 MMm³ (milhões de metros cúbicos) de rejeitos, sobre o curso do córrego Santarém, e por consequência nos rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo, e Rio Doce.

Ao longo destes cursos hídricos, uma mistura de rejeitos, detritos vegetais e estruturas foram arrastados e depositados, ao longo das planícies de inundação, leitos dos rios principais e tributários, quando a onda de sólidos e água teve sua velocidade de deslocamento reduzida na Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candongá), localizada a aproximadamente 113 km da barragem de Fundão, trecho que corresponde aos maiores impactos físicos, sociais e ambientais.

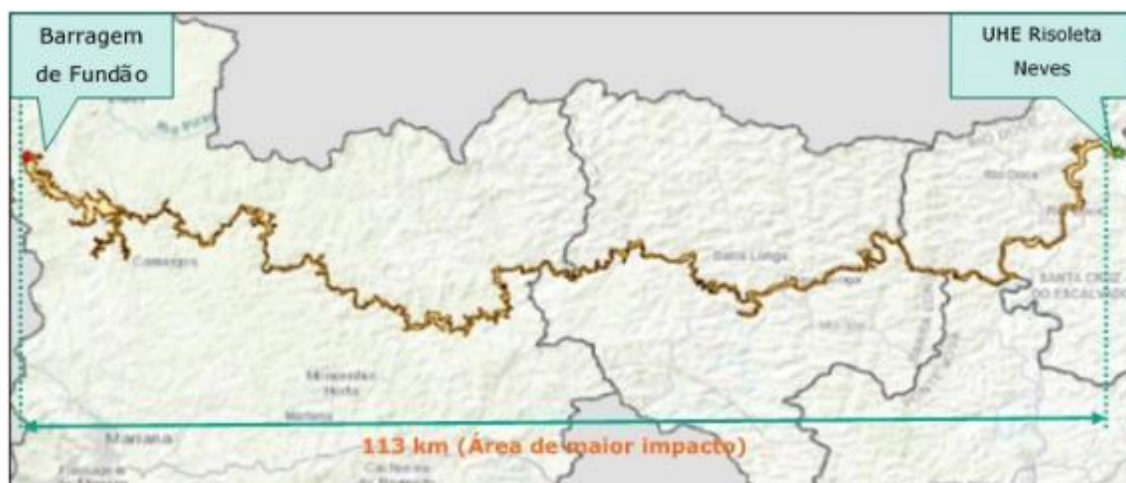


Figura 1: Área impactada entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves

Com o objetivo de reparar e compensar os danos causados pelo rompimento da barragem, em 02 de março de 2016 o Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC) foi assinado pela Samarco, e suas acionistas, Vale S.A e BHP Billiton, com o Governo Federal, os Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a Agência Nacional de Águas (ANA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Fundação Nacional do Índio (Funai), o Instituto Estadual de

Florestas (IEF), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF) e a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH).

O TTAC estabeleceu as bases para criação de uma fundação privada, sem fins lucrativos, com a atribuição de elaborar e executar todas as medidas socioambientais e socioeconômicas de reparação e compensação dos danos. Nesse contexto, as ações relacionadas a este tema foram transferidas da Samarco para a Fundação Renova (Fundação).

A Fundação Renova foi instituída em agosto de 2016 com a missão de implementar e gerir os programas de reparação, restauração e reconstrução das regiões impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão. Seu papel é restaurar e restabelecer as comunidades e os recursos impactados pelo rompimento e, também, substituir ou compensar o que não é passível de remediação, sempre de forma eficiente, idônea, transparente e ética.

Um modelo de Governança para execução dos programas Socioambientais e Socioeconômicos foi estabelecido com objetivo de garantir o controle do Poder Público e/ou da sociedade, em instâncias de fiscalização e consultiva, e, mais recentemente, em um nível ativo de participação da população atingida na proposta e execução das soluções (TAC Governança). Foi estabelecido ainda um Comitê Interfederativo, constituído por representantes da União, do Governo dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, de municípios impactados, além de representante do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CDH-Doce), que possui atribuições de orientação e validação dos atos da Fundação, bem como monitoramento, avaliação e fiscalização do alcance dos resultados previstos.

No âmbito da execução do Programa de Recuperação da Área Ambiental 1, foi instituído pelo CIF por meio da Deliberação 07/2016 a Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água, com atribuição auxiliar o CIF no desempenho da sua finalidade de orientar, monitorar e fiscalizar a execução das

medidas impostas no TTAC, compete à Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água:

- I. Convidar representantes de órgãos ou entidades públicas diversas, considerando as respectivas competências institucionais, para compor a Câmara Técnica;
- II. Solicitar à Fundação ou entidades públicas ou privadas estudos e projetos quanto aos programas
- III. Propor ao CIF as ações prioritárias dentro dos programas
- IV. Elaborar notas técnicas com sugestão de encaminhamentos para deliberação do CIF;
- V. Receber documentos que se refiram aos programas;
- VI. Solicitar informações necessárias ao desempenho de suas atribuições
- VII. Criação de grupos permanentes ou temporários para tratar de temáticas específicas.

A Cláusula 15, item II do TTAC, institui o eixo temático de RESTAURAÇÃO FLORESTAL E PRODUÇÃO DE ÁGUA, onde se define o Programa de Recuperação da ÁREA AMBIENTAL 1, a ser executado nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, incluindo biorremediação.

Foram atribuídas a este programa as cláusulas a seguir:

CLÁUSULA 158: “Caberá à FUNDAÇÃO efetuar a revegetação inicial, emergencial e temporária, por gramíneas e leguminosas, visando a diminuição da erosão laminar e eólica, com extensão total de 800 ha (oitocentos hectares) e conclusão até o último dia útil de junho de 2016, de acordo com o programa aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS”.

CLÁUSULA 159: “Deverá, também, recuperar 2.000 ha (dois mil hectares) na ÁREA AMBIENTAL 1 nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, de acordo com o programa aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS”.

CLÁUSULA 160: “Deverá ser feita pela FUNDAÇÃO a regularização de calhas e margens e controle de processos erosivos nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce no trecho a montante da UHE Risoleta Neves, a ser aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS, com conclusão até o último dia útil de dezembro de 2017”.

A área definida no TTAC para implantação do **Programa de Recuperação da ÁREA AMBIENTAL 1**, está situada entre a barragem de Fundão e a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candonga) geograficamente localizado entre os municípios de Mariana-MG e Santa Cruz do Escalvado-MG, em uma extensão de 113 km, correspondente a uma área de aproximadamente 2000 hectares.

A estratégia de recuperação ambiental das áreas impactadas pela deposição de rejeitos localizadas entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves (Candonga) considera fases distintas de implementação, a saber: (i) revegetação emergencial, (ii) Regularização das calhas, margens e controle de processos erosivos, e (iii) recuperação dos sistemas florestais e agrícolas. Esta proposta mantém uma robusta gestão de interfaces entre Programas, especificamente o Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias, Programa de Manejo de Rejeitos, e Programa de Fomento ao Cadastro Ambiental Rural, Programa de Regularização Ambiental e Programa de Educação para Revitalização. De forma não menos importante, considera-se ainda interfaces entre os Programas de Conservação da Biodiversidade e Qualidade da Água.

2.0 Justificativa

Em 05 de novembro de 2015, com o rompimento da Barragem de Fundão, de propriedade da SAMARCO S.A, localizada no Complexo Industrial de Germano, no município de Mariana – MG, foi liberado um volume estimado em cerca de 32 Mm³ (milhões de metros cúbicos) de rejeitos, sobre o curso do córrego Santarém, e por consequência nos rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo, e Rio Doce, causando impactos severos sobre o solo, rios principais, tributários, vegetação e componentes da pedofauna.

Ao longo dos vales dos rios afetados em que os sedimentos de granulometria fina (rejeitos) permanecem sem vegetação, observa-se uma rápida erosão superficial causada pela chuva. Esta erosão superficial rápida leva à liberação de rejeitos finos ao rio. A descarga de sedimentos finos nos canais de córregos e rios resulta em um aumento na suspensão de sedimentos finos, nos sólidos suspensos totais e na turbidez. Assim, quando chove, pode-se esperar que a turbidez aumente (ou apresente um pico) em resposta ao escoamento superficial e à erosão dos rejeitos nas planícies de inundação, bem como ao aumento da vazão do rio. À medida que a vegetação seja recomposta nas planícies de inundação, esta contribuição de rejeitos finos através do escoamento superficial diminuirá.

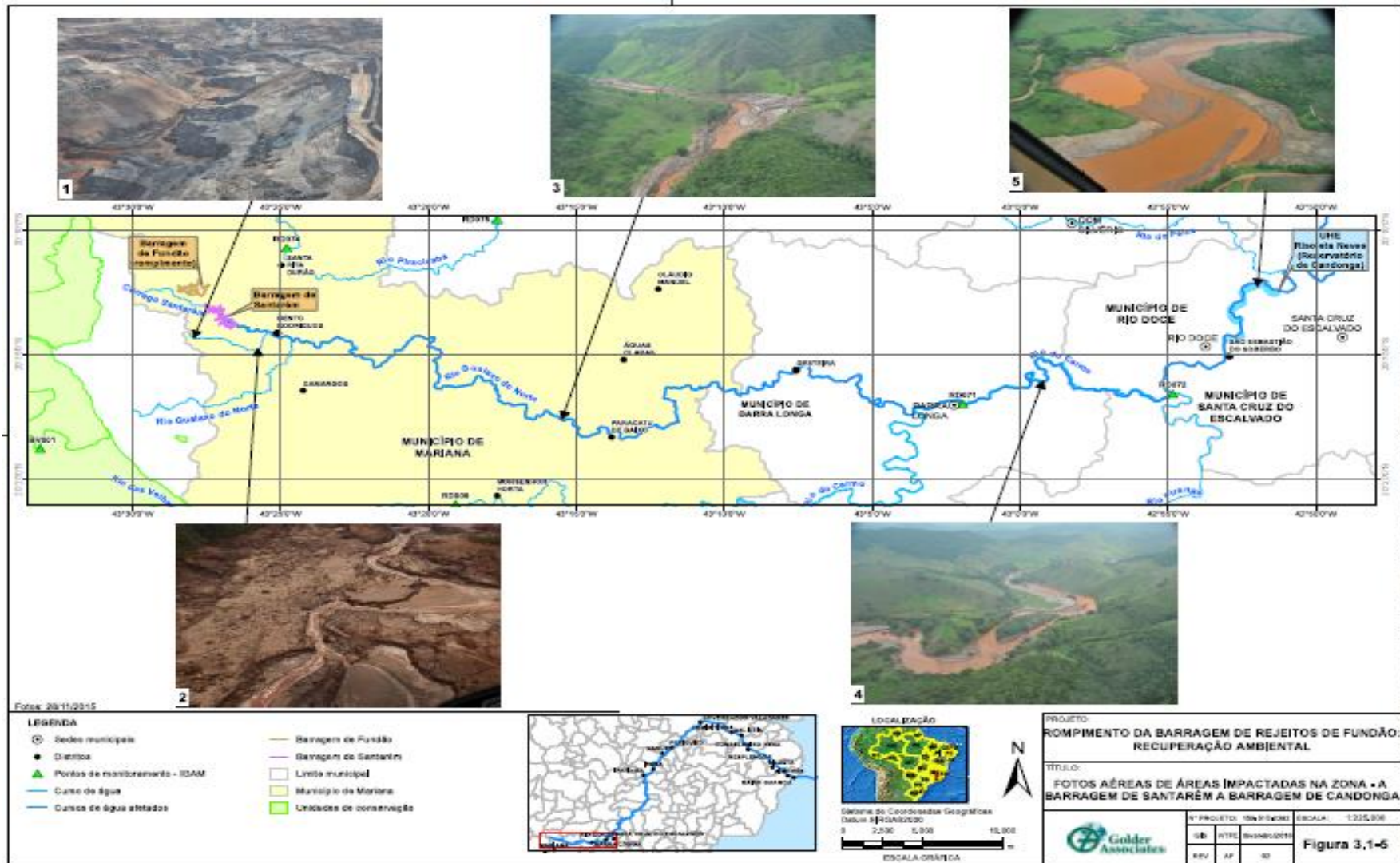


Figura 2: Áreas impactadas entre a barragem de Fundão e a UHE de Risoleta Neves.



Figura 3: Áreas impactadas na região da barragem de Fundão.

Nesse sentido, medidas emergenciais para a estabilização dos rejeitos depositados nas margens, deverão fundamentalmente permitir uma rápida tomada de decisão para escolha das formas de intervenção, combinando técnicas de revestimento, escavação, remoção e revegetação (Bioengenharia) reduzindo a fonte potencial de rejeitos que podem ser reintroduzidos nos rios. A recuperação das planícies de inundação incluindo a etapa estruturante de recomposição da vegetação nativa, incluindo zonas ripárias e fragmentos florestais impactados promoverá a estabilização de médio e longo prazo de rejeitos depositados nas margens e evitando o carreamento de grandes volumes para os canais dos rios em caso eventos recorrentes de chuvas intensas.

Em uma primeira etapa do processo de recuperação será realizada uma revegetação emergencial utilizando-se um mix de gramíneas e leguminosas herbáceas de crescimento rápido, visando inicialmente o controle de processos erosivos em virtude do escoamento superficial, considerando que o evento ocorreu na estação de chuvas. Sob condições de desenvolvimento vegetativo, a resistência das planícies de inundação (e, por conseguinte, rejeitos depositados a partir da inundação) quanto ao fluxo de água e erosão tenderá a ser mais elevada, reduzindo alguma erosão.

Como resultado do rompimento a barragem de Fundão foi verificado um aumento da carga de sedimentos nos cursos d'água principais, que chegou a até sete vezes quando comparada às condições anteriores ao rompimento. Verificou-se também que os rejeitos tendem a erodir a taxas cerca de 60% maiores que o solo natural na mesma condição. Esses fatores explicam o aumento dos níveis de turbidez na água, bem como o aumento da concentração de outros parâmetros associados à presença de material em suspensão, como cor e alguns metais na forma total. Por este motivo, técnicas de reabilitação por meio da reconformação topográfica do terreno, seguido pelo disciplinamento dos sistemas de drenagem e revegetação por meio de técnicas de bioengenharia torna-se uma alternativa altamente viável em curto e médio prazo, em substituição à remoção dos rejeitos das planícies de inundação.

De modo complementar, os resultados da avaliação geomorfológica, hidrodinâmica e hidrossedimentológica confirmaram ainda que é necessária a adoção de medidas visando controlar processos erosivos em rejeitos dispostos no ambiente, e dessa forma reduzir o impacto de qualidade da água associado a sólidos em suspensão, principalmente considerando o próximo período chuvoso. Foram definidas, portanto áreas prioritárias para ações de controle de erosão, que irão requerer o manejo de rejeitos de forma localizada. Os resultados dessa avaliação não indicaram a necessidade de remoção de rejeitos em larga escala, visto que ações de contenção ou estabilização devem ser suficientes para se atingir condições aceitáveis em relação à mitigação dos impactos associados a alterações morfológicas.

O objetivo principal das intervenções realizadas por este programa, portanto será promover inicialmente a estabilização física do ambiente, que é o primeiro passo em direção à recuperação do ecossistema, e em um segundo momento, a recuperação ambiental das áreas degradadas considerando

É importante destacar que para o alcance deste objetivo, outras medidas fora do escopo das cláusulas que compõe a subseção II.1 do TTAC, escopo deste programa, serão implementadas, também em carácter emergencial como a construção das Barreiras 1, 2, 3 e 4, definidas no escopo do Programa 24. Também para este propósito, bem como uso futuro a ser definido para cada

área, serão necessários estudos para intervenções adicionais a serem definidas e implementadas no âmbito do Programa de Manejo de Rejeitos (Programa 23).

Outro ponto de grande importância a ser mencionada refere-se ao escopo de abrangência da cláusula 159 do TTAC, que determina que a Fundação deverá recuperar 2.000 ha na Área Ambiental 1 nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado. A implantação destas ações se dará no prazo de 4 anos a partir da assinatura do TTAC, isto é, até março de 2020, considerando ainda 6 anos complementares para manutenção. Ou seja, o cronograma para a recuperação ambiental da área se encerra em março de 2026. Também estão previstos no TTAC programas específicos de recuperação de áreas de preservação permanente – APPs (Subseção II.2), conservação da biodiversidade (Seção III) e fomento à implantação do Cadastro Ambiental Rural – CAR e respectivo Programa de Regularização Ambiental – PRA (Seção VII - Gestão e Uso Sustentável da Terra) e Reconstrução das Infraestruturas Impactadas. Tais atividades e programas atuando dentro de uma perspectiva de gestão territorial, possuem relação direta com o atingimento dos objetivos e metas desta cláusula.

3.0 Diretrizes, requisitos e restrições

3.1 Diretrizes

- As soluções estabelecidas para execução deste programa contemplam o atendimento às diretrizes estabelecidas na Seção II do TTAC: RESTAURAÇÃO FLORESTAL E PRODUÇÃO DE ÁGUA, e sua Subseção II.1: Programa de recuperação da ÁREA AMBIENTAL 1, nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, englobando medidas de cunho estritamente reparatório.
- A Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água, instituída por meio de deliberação 07/2016 do Comitê Interfederativo, é a responsável por orientar, acompanhar, monitorar e fiscalizar a execução do Programa de Recuperação da Área Ambiental 1, no que se refere ao cumprimento das cláusulas 158, 159 e 160 do TTAC,

- Considera-se na construção das soluções deste Programa suas inter-relações no âmbito dos demais programas socioambientais e socioeconômicos, especialmente quanto a Retomada das Atividades Agropecuárias, Manejo de Rejeitos, Fomento ao Cadastro Ambiental Rural e Programa de Regularização Ambiental, Recuperação de Nascentes e Áreas de Preservação Permanentes.
- A condução do programa prevê o envolvimento da comunidade científica e notório saber, com vistas ao incremento e construção do conhecimento, visando embasar as tomadas de decisões, avaliação e divulgação imparcial dos resultados.
- O processo de recuperação das áreas impactadas devem promover soluções que influenciam e fortaleçam o uso consciente do solo, por meio de metodologias participativas desenvolvidas junto à comunidade rural atingida.

A condução do Programa será realizada com base no conceito de Gestão Adaptativa, contemplando, testes pilotos em escala reduzida para refinamento de metodologias, análises críticas periódicas de performance, eventuais adequações conceituais e/ou metodológicas.

- A recuperação ambiental das áreas impactadas será realizado em fases distintas, contemplando: (i) revegetação emergencial, (ii) reabilitação das áreas afetadas, por meio da recuperação ambiental e (iii) recuperação dos sistemas florestais e agrícolas, em interface direta com o Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias, Programa de Manejo de Rejeitos, e Programa de Fomento ao CAR e PRA.
- As soluções propostas para recuperação das áreas impactadas devem considerar questões relacionadas ao tipo de intervenção para recuperação ambiental e aptidão agrícola dos solos, com vistas a possibilitar o retorno aos diversos usos previstos, compatível a legislação em vigor.
- O planejamento das ações de recuperação ambiental deve considerar a gestão territorial por microbacias hidrográficas, através das recomendações do Zoneamento Ambiental e Produtivo, Cadastro Ambiental Rural e

Programa de Regularização Ambiental de propriedades rurais, adequados à legislação ambiental pertinente.

- As ações a serem realizadas na área impactada consideram a dinâmica natural da área afetada tais como processos erosivos e o histórico de uso ocupação do solo.

3.2 Requisitos

Normas vigentes na legislação ambiental que tangem a recuperação de áreas degradadas:

- Lei Nº 12.651/12;
- Lei Nº 11.428/2006;
- Decreto nº 8.972/17;
- IN IBAMA Nº 04/2011;
- IN ICMbio Nº 11/2014;
- NBR 10703/89;
- Notas Técnicas emitidas pela CT-Flor;
- Deliberações do CIF referente as ações relacionadas a este programa.

3.3 Restrições:

- Autorização dos proprietários de terras afetadas;
- Prazos definidos no TTAC para cumprimento das cláusulas 158 (junho/16), 159 (março/20) e 160 (Dezembro/17);
- A recuperação na área Ambiental 1 deverá ocorrer nas áreas impactadas pela deposição de rejeitos nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Ponte Nova e Santa Cruz do Escalvado - MG.
- Impedimento de realização das ações de recuperação nas às áreas de acesso restrito, interditadas e/ou que representam riscos operacionais, de acordo com o estabelecido nas deliberações do Comitê Interfederativo e documentos técnicos da Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água - CTFLOR

4.0 Objetivo

Este Programa tem como objetivo geral a recuperação da área diretamente impactada pelo rompimento da barragem de Fundão (ÁREA AMBIENTAL 1) nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Ponte Nova e Santa Cruz do Escalvado, em atendimento as cláusulas 158, 159 e 160 do TTAC.

4.1 Objetivos específicos

- Efetuar a revegetação inicial, emergencial e temporária, por gramíneas e leguminosas herbáceas de rápido crescimento, visando a diminuição da erosão laminar e eólica, em uma área total de 800 ha (oitocentos hectares).
- Realizar a regularização de calhas e margens e controle de processos erosivos nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce no trecho a montante da UHE Risoleta Neves.
- Recuperar as áreas de preservação permanente e remanescentes de vegetação nativa inseridas em, aproximadamente 2.000 ha (dois mil hectares) na ÁREA AMBIENTAL 1 nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa, Ponte Nova e Cruz do Escalvado - MG.

Com a finalidade de viabilizar a estratégia de recuperação das áreas diretamente impactadas pela deposição de rejeitos, o programa será estruturado em Projetos que abordam ações emergenciais de cobertura inicial e reabilitação solos, o disciplinamento de drenagens e controle de processos erosivos e uma fase estruturada de recuperação, que aborda em última etapa, a restauração das florestas nativas.

5.0 Projeto de Plantio Emergencial

Este projeto terá como objetivo efetuar a revegetação inicial, emergencial e temporária, por gramíneas e leguminosas de crescimento rápido, visando a diminuição da erosão laminar e eólica, em uma área total de 800 ha (oitocentos hectares).

5.1 Etapas de execução

5.1.1 Mapeamento inicial das áreas impactadas pelo evento

Com o rompimento da barragem da Fundão, será realizado um trabalho expedito de reconhecimento e avaliação dos impactos nas planícies de inundação e cursos d'água afetados, visando subsidiar a proposição de ações emergenciais, a identificação de rotas alternativas e abertura de estradas. Um trabalho paralelo de mapeamento por imagens de satélite será conduzido para fins de identificação das classes de uso e ocupação pretérita ao evento, em virtude da ausência em primeiro momento, de imagens pós rompimento.

Para fins de priorização das áreas de atuação, serão consideradas grandes superfícies expostas nas proximidades das comunidades afetadas e das Áreas de Preservação Permanente (APPs).

As primeiras ações de revegetação emergencial será realizada nas proximidades das comunidades de Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo, Gesteira e Barra Longa, bem como nas áreas próximas a PCH de Bicas. Estas áreas foram selecionadas pela proximidade das comunidades com os depósitos de rejeitos e vias de acesso destruídas ou severamente impactadas.

A etapa posterior será realizada nas Áreas de Preservação Permanente dos rios principais, tributários e planícies de inundação entre a comunidade de Bento Rodrigues e a UHE de Risoleta Neves (Candongia).

O mapeamento das áreas revegetadas será realizado por meio de levantamento topográfico com receptores de sinais de GPS Geodésicos, através da técnica de posicionamento estático com coletas dos dados em tempo real, utilizando a metodologia por ponto para as coletas dos dados. A partir da definição desse ponto, será realizada a mensuração dos pontos dos limites das áreas de plantio para concretização dos dados da planta topográfica. O sistema para realização desse trabalho será o SIRGAS 2000, como sistema de referência geodésico oficial do Brasil em 25 de fevereiro de 2005.

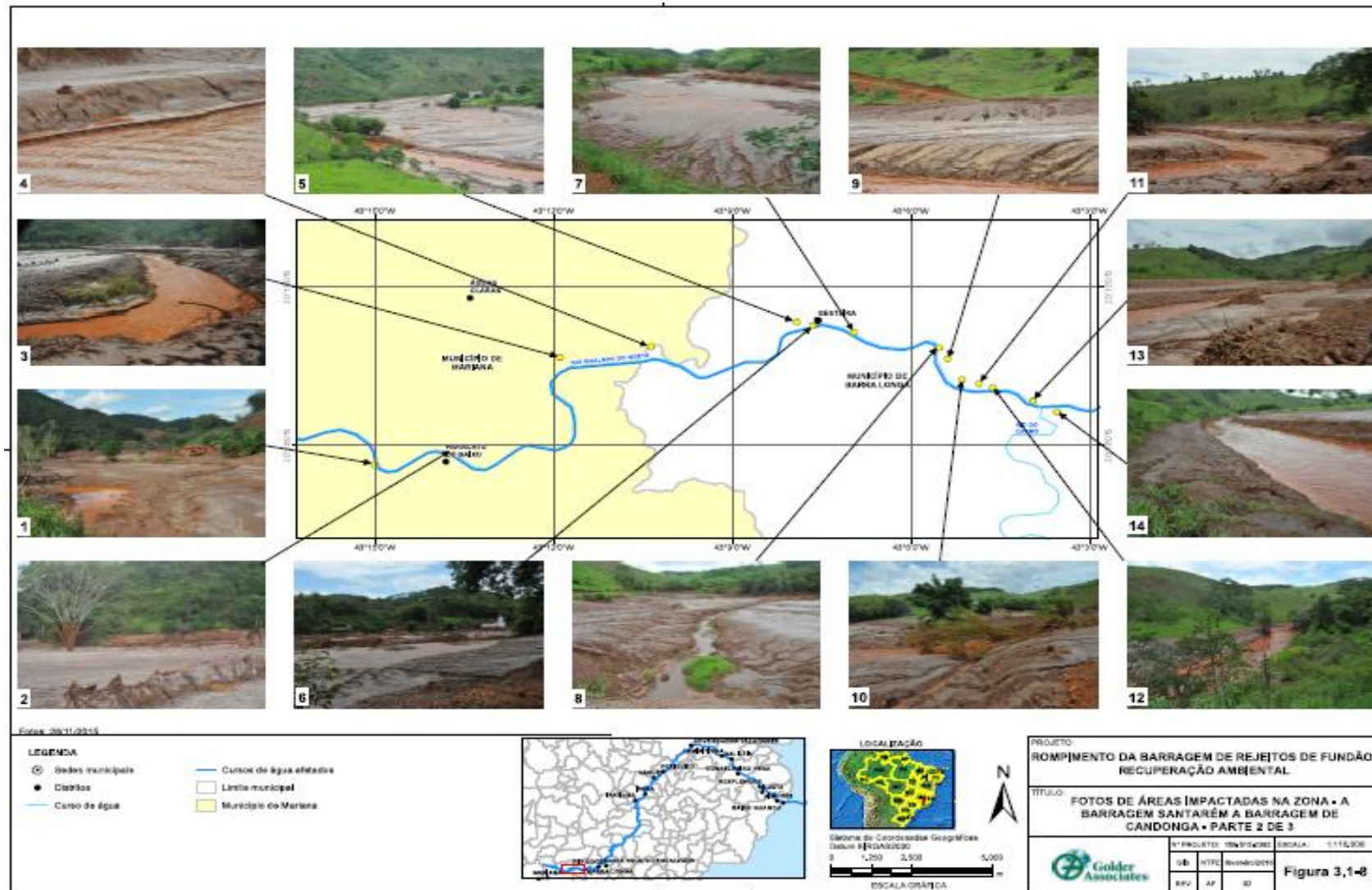


Figura 4: Mapeamento das áreas impactadas passíveis de revegetação emergencial.

5.1.2 Seleção de um “Mix” de espécies herbáceas de rápido crescimento visando a cobertura inicial do solo

A fim de reduzir a libertação de partículas sólidas para os cursos de água por erosão superficial ou para o ar por erosão eólica, medidas de controle dos processos erosivos serão realizadas emergencialmente por meio da implantação de uma cobertura vegetal de rápido crescimento sobre os rejeitos de minério depositados às margens dos cursos de água impactados. Para a semeadura serão selecionadas espécies de germinação e crescimento rápidos formando um “mix” de gramíneas (para geração de biomassa) e leguminosas (para fixação de nitrogênio) herbáceas e arbustivas. As espécies serão selecionadas de modo a permitir o estabelecimento de um ambiente favorável à formação de um novo substrato, por meio da incorporação de matéria orgânica, nutrientes e restabelecimento da pedofauna. A estratégia conjugada da utilização de espécies de gramíneas e leguminosas de rápido crescimento para geração de biomassa e fixação de nitrogênio, seguida pela condução da estratégia de sucessão ecológica é amplamente utilizada em recuperação ambiental no Brasil.

A seleção das espécies, proporção no mix e tratos culturais a serem utilizados na fase de revegetação emergencial, será definido de modo customizado por uma equipe de especialistas em recuperação ambiental. Uma importante premissa para recomendação das espécies a serem utilizadas será não inclusão daquelas que poderá impedir o futuro desenvolvimento sucessional das comunidades arbóreas, ou de espécies invasoras tais como a braquiária (*Brachiaria spp*) ou o capim gordura (*Melinis minutiflora*).

A lista final de espécies a serem empregadas nos trabalhos de revegetação é apresentada na Tabela . Além dos nomes científicos e populares, apresenta-se também o hábito, ciclo de vida, estação e quantidade de sementes no mix. Na composição, procurou-se utilizar uma variedade de espécies com diferentes ciclos de vida e época de germinação. Os diferentes ciclos de vida permitem que haja um enriquecimento de matéria orgânica no substrato pela morte e incorporação das plantas anuais e bianuais, porém sem que a área fique descoberta em função da presença das plantas perenes. As diferentes épocas de germinação também contribuem para que a cobertura vegetal seja

permanente, além de permitir que os trabalhos de revegetação sejam realizados com sucesso durante o ano todo.

Tabela 1: Lista de espécies para revegetação

Família	Nome Científico	Nome Popular	Hábito ¹	Ciclo de vida ²	Estação ³	Kg/ha
Fabaceae (Leguminosae)	<i>Crotalaria</i> spp.	Chocalho cascavel	H	An	V / I	30
	<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	A	An	V	35
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Pueraria	L	P	V	25
	<i>Glycine wightii</i>	Soja-perene	L	P	V	10
	<i>Stylosanthes</i> spp.	Estilosante	H	P	V	25
	<i>Lupinus albus</i>	Tremoço branco	H	An	I	30
	<i>Vicia sativa</i>	Ervilhaca	L	An	I	25
	<i>Desmodium</i> spp.	Pega-pegã	H	P	V	10
	<i>Trifolium repens</i>	Trevo-branco	H	An ou Bi	I	10
	<i>Lotus corniculatus</i>	Cornichão	H	P	I	10
Poaceae (Gramineae)	<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo-forrageiro	H	An	V	20
	<i>Avena strigosa</i>	Aveia-preta	H	An	I	35
	<i>Cynodon dactylon</i>	Capim-vaqueiro	H	P	V	5
	<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém	H	An	I	15
TOTAL (Kg/ha)						300

Legenda: ¹ H – herbáceo / A – arbustivo / L – liana; ² An – Anual / P – Perene / Bi – Bianual; ³ V – Verão / I – Inverno

Adicionalmente, foram selecionadas espécies para substituição em caso de indisponibilidade de sementes no mercado:

➤ Opções para substituição de leguminosas:

- ✓ *Crotalaria juncea* – crotalária;
- ✓ *Centrosema pubescens* – centrosema;
- ✓ *Canavalia ensiformis* – feijão de porco;
- ✓ *Helianthus annuus* - girassol forrageiro (asteraceae).

➤ Opção para substituição de gramínea:

✓ *Pennisetum americanum* – milheto.

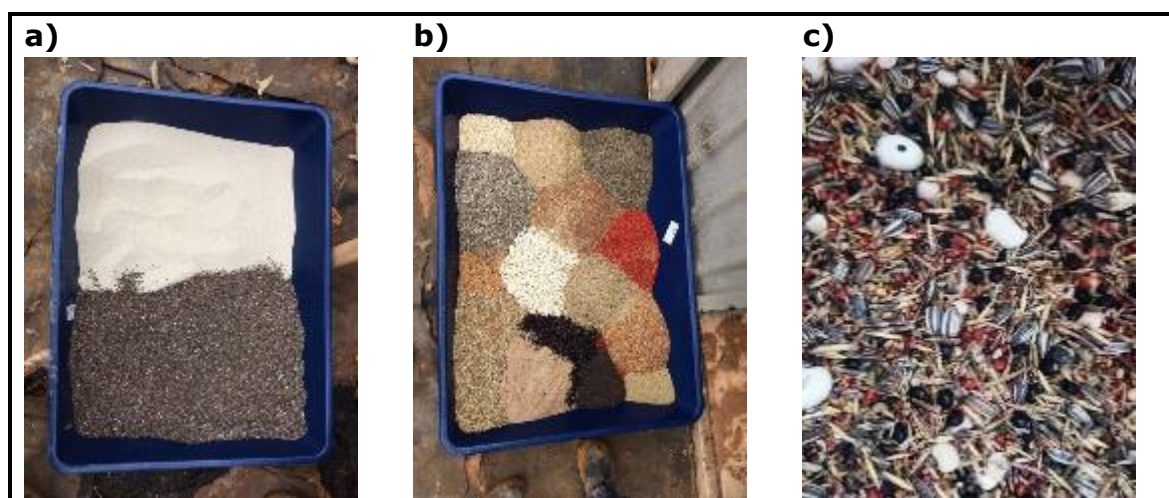


Figura 5: Adubos e sementes utilizados para revegetação – a) superfosfato simples (acima) e NPK 04-14-08; b) Sementes de gramíneas e leguminosas que compõem o mix de espécies e c). Detalhe do mix de sementes.

5.1.3 Preparo do Solo e Semeadura

O Preparo inicial do solo será realizado por meio técnicas manuais e/ou semi-mecanizadas, incluindo microcoveamento com uso de enxadinhas ou utilização de motocultivadores (Figuras 4, 5, 6 e 7). O microcoveamento será realizado tanto nos taludes quanto nas áreas de planícies (áreas planas) com o objetivo de aumentar a rugosidade das superfícies e permitir a retenção de adubos e sementes. Nos taludes o coveamento será realizado por meio da confecção de covas com dimensões de 0,10 x 0,10m e profundidade aproximada de 0,05m. As covas deverão estar espaçadas de 0,10 em 0,10m em linhas alternadas. Nas áreas planas o coveamento poderá ser realizado também com a utilização de motocultivador, considerando-se uma profundidade mínima de 0,10m.

Para a adubação de plantio, será utilizada a fertilização inorgânica com Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) (NPK 8-28-16) na taxa de 400 Kg/ha. A adubação de cobertura será realizada 60 dias após a semeadura, quando as folhas e raízes já estarão em desenvolvimento, será utilizado a formulação de NPK 20-05-20 na taxa de 200 Kg/ha dividida em duas aplicações de 100 Kg/ha de forma a permitir que as plantas absorvam os nutrientes por um período maior ao longo de seu desenvolvimento. Os adubos e as sementes serão aplicados manualmente logo após o coveamento na quantidade de 300 kg/ha para que haja uniformidade e homogeneidade na cobertura vegetal da área a ser tratada.

Durante a fase de plantio, os insumos (sementes e adubos) serão lançados o mais próximo possível do solo para evitar o carreamento pelo vento e garantir que os mesmos estejam retidos nas covas. As sementes e adubos não deverão ser misturados antes do plantio para aplicação conjunta quando o semeio for realizado de forma manual. Exceção se faz quando o plantio for realizado via hidrossemeadura, mesmo assim, neste caso a mistura será realizada apenas no tanque do caminhão e minutos antes da aplicação.



Figura 6: Exemplo1 - Microcoveamento manual do solo com uso de enxadinhas.



Figura 7: Exemplo 2 - Preparo semi mecanizado do substrato utilizando motocultivador.



Figura 8: Exemplo 3 - Preparo do solo utilizando métodos manuais e semi-mecanizados de escarificação do substrato, semeadura e fertilização.



Figura 9: Exemplo 4 - Plantio a lanço do mix de herbáceas de crescimento rápido

No plantio por hidrossemeadura será realizado inicialmente o enchimento do tanque com água limpa. O motor do tanque deverá ser colocado em funcionamento 20 minutos antes da aplicação para que as paletas realizem a mistura do material que será aplicado. Neste caso, uma solução responsável

pela fertilização e aderência das sementes ao substrato **Mulching** será adicionada ao caminhão na seguinte proporção:

- 900 kg/ha de bagaço de cana triturado;
- 1.200 kg/ha de esterco de curral curtido e peneirado;
- 2.000 kg/ha de celulose;
- 40 kg/ha de adesivo orgânico

A mistura contida no tanque será aplicada na área previamente coveada e cobrir uma superfície de aproximadamente 1.000 m². Deve-se avaliar a homogeneidade da mistura antes de se iniciar a aplicação da hidrossemeadura como forma de evitar falhas na cobertura vegetal. O jato deverá permitir que o produto fique aderido à superfície do substrato e gere o mínimo de escorrimento.

As atividades de plantio nas planícies deverão ser realizadas preferencialmente com semeio manual, em virtude dos riscos de acesso com o caminhão nas áreas úmidas. A hidrossemeadura será realizada preferencialmente em taludes e superfícies declivosas, com inclinação superior a 12%.

5.2 Critérios de avaliação e monitoramento

Os parâmetros para monitoramento das ações de revegetação emergencial se dará por meio da avaliação do Índice de Cobertura do solo pela vegetação herbácea/arbustiva do mix de espécies, e da Biomassa epígea desta mesma vegetação, atributos estes que possuem uma relação direta com a proteção inicial da superfície do solo contra a interceptação pluvial e escoamento superficial de sedimentos para o leito dos cursos d'água, bem como a disponibilização e incorporação de material orgânico indispensável à reabilitação de solos impactados, formação de serapilheira, melhoria de atributos físicos, químicos, e biológicos.

Os resultados serão apresentados por meio de relatórios de Monitoramento das Intervenções Prioritárias, que contemplarão uma avaliação da performance da vegetação tendo como base o ano agrícola, por se tratar de uma atividade que possui relação e dependência direta destes fatores.

5.2.1 Índice de Cobertura da Vegetação Herbácea/Arbustiva

O mapeamento da cobertura vegetal será realizado por meio da interpretação de imagens de satélite de alta e média resolução, através de técnicas de geoprocessamento. Imagens de diferentes épocas serão adquiridas pela Fundação Renova para avaliação do progresso da revegetação. Cada imagem (Insumo) será avaliada individualmente. De modo adicional à interpretação de imagens de satélite, serão obtidas imagens através do levantamento aerofotogramétrico, utilizando aeronave remotamente tripulada (VANT) modelo ECHAR 20C XMOBOTS para períodos de seca e estação chuvosa, o equipamento receberá sensores com quatro bandas espectrais, RGB-NiR, e o voo será realizado na resolução espacial de 10cm. As passagens deverão passar por processos de controle de qualidade para validar seu uso no projeto.

Após obtenção das imagens e insumos brutos, serão geradas amostras dos índices de vegetação (IAF - Índice de Área Foliar, SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo e NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) visando validar a metodologia proposta para monitoramento da vegetação

Visando ainda calibrar os resultados obtidos na geração dos índices de vegetação, será realizada a criação de índices ajustados, como o Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME. Com a utilização cruzada e posterior união do NDVI e do MLME, será possível obter resultados com uma acurácia superior as alcançadas com a utilização dos índices tradicionais.

Apresenta-se neste tópico a metodologia que será utilizada para a obtenção das áreas com vegetação através dos índices, para imagens de satélite de alta resolução (2 metros), referente aos períodos de obtenção das imagens, a metodologia ajustada para a utilização das imagens de satélite de média resolução (10 metros) e de altíssima resolução que serão obtidas a partir do processamento das ortofotos RGB NiR com GSD 10cm.

Será gerado o índice MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral) e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), onde ambos serão utilizados de forma complementar, ou seja, o NDVI gerando a fração não vegetação e o MLME gerando a fração vegetação. Com a união das duas frações será possível obter

resultados com uma acurácia superior as alcançadas com a utilização dos índices tradicionais.

Em virtude da influência direta do ciclo de chuvas e características sazonais sobre a vegetação e monitoramento das ações previstas neste escopo, a avaliação da efetividade do projeto será realizada por dois anos agrícolas após conclusão das atividades de revegetação emergencial determinada pela cláusula 158 do TTAC, ou seja:

- Ano agrícola para realização da revegetação emergencial: 2015/2016
- 1º Ano agrícola para monitoramento e avaliação de indicadores: 2016/2017
- 2º Ano agrícola para monitoramento e avaliação de indicadores: 2016/2017

5.2.2 Mapeamento de vegetação e não vegetação para as imagens de alta resolução

A metodologia a ser desenvolvida para o monitoramento da vegetação em áreas afetadas pelo rompimento da barragem seguirá o fluxograma apresentado na Figura 10. Esta metodologia será concebida para lidar com a diversidade do banco de dados, composto por imagens de satélite com resolução espacial média de 2 metros, adquiridas por diferentes sensores em diversas datas. A seguir serão descritas em detalhe cada uma das etapas referente ao processamento das imagens. É importante destacar que o procedimento será realizado para cada cena separadamente, apenas o produto final das imagens será unificado pelo processo de mosaicagem.

Posteriormente serão apresentados os ajustes metodológicos desenvolvidos para melhorar os resultados, quando da utilização de imagens de altíssima resolução e de media resolução.

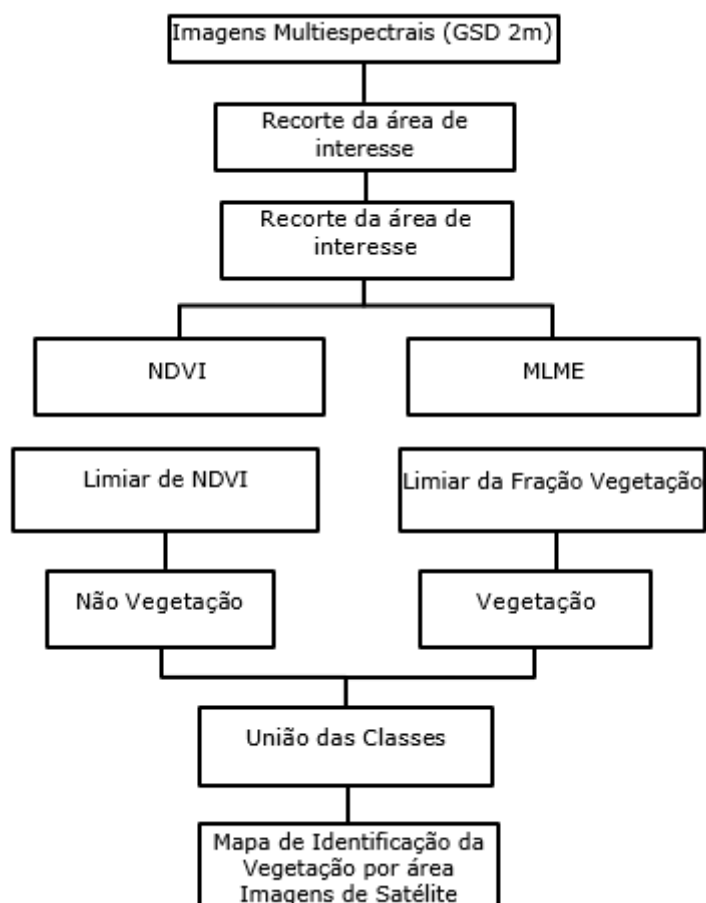


Figura 10: Fluxograma do processamento das imagens para obtenção do mapa nos períodos de aquisição das imagens

A utilização das imagens multiespectrais se dará preferencialmente em sua resolução original, ou seja, sem o processo de fusão. Embora a fusão eleve a resolução espacial da imagem, melhorando o nível de detalhe, ela é recomendada apenas para interpretação visual. A fusão modifica consideravelmente o valor do pixel, o que pode prejudicar a análise dos dados por métodos de processamento de imagens. Para compatibilizar a base de dados, a resolução espacial de todas as imagens deverá ser amostrada para 2 metros.

Visando otimizar o processamento e diminuir o tamanho da base de dados, as cenas serão recortadas utilizando o arquivo *shapefile* da área impactada, em um buffer 200m, visando correlacionar áreas vizinhas caso seja necessário em estudos futuros.

A correção atmosférica é um procedimento imprescindível para a análise multitemporal de imagens de satélite. Ao se trabalhar com cenas de diferentes sensores, adquiridas em épocas distintas, os efeitos de iluminação e visada podem impactar negativamente os resultados. A correção atmosférica é basicamente a conversão dos números digitais (ND) das imagens para valores de parâmetros físicos como radiância ou reflectância. Tal conversão permite a caracterização espectral dos alvos e possibilita a detecção de eventuais alterações da superfície remotamente sensoriada. A correção atmosférica das imagens será realizada pelo algoritmo Quick Atmospheric Correction (QUAC), disponível no software ENVI. QUAC é um método relativamente simples, rápido e eficiente para estimar o espectro de reflectância de forma acurada. (L.S. Bernstein 2012).

Entre as técnicas de processamento digital de imagens utilizadas na detecção de mudanças na vegetação, se destacam os Índices de Vegetação (IVs) e o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Diversos IVs foram propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices minimizam os efeitos de fatores externos sobre os dados espectrais e permitem a inferência de atributos da vegetação. Os IVs mais comuns são: razão simples (SR) e diferença normalizada (NDVI).

Segundo Jordan (1969), a razão simples (SR) entre o valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo (ρ_{ivp}) e o correspondente à faixa do vermelho (ρ_v) (Equação 1), foi o primeiro índice de vegetação a ser utilizado.

$$SR = \rho_{ivp} / \rho_v \quad (1)$$

Rouse *et al.* (1973) normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1, propondo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), de acordo com a Equação 2:

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v) \quad (2)$$

SR e NDVI realçam o contraste entre não vegetação e vegetação e minimizam os efeitos das condições de iluminação da cena. Porém, esses índices são sensíveis a propriedades ópticas da linha do solo que é um limite abaixo do qual

a reflectância refere-se ao solo desnudo. O NDVI também apresenta rápida saturação, ou seja, o índice estabiliza em um patamar e o torna insensível ao aumento de biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento.

Outra técnica usualmente empregada no estudo da vegetação com dados de sensoriamento remoto é o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Esta técnica se baseia no fato de que o valor de radiância que sensibiliza o detector é a soma das radiâncias dos alvos presentes em cada pixel.

O MLME assume que a resposta espectral de cada pixel pode ser modelada por uma combinação linear das respostas espectrais de suas componentes, ponderada pela fração da área ocupada pelas mesmas (HAERTEL; SHIMABUKURO, 2005). Essas componentes estão relacionadas aos tipos de cobertura da terra presentes na cena, normalmente vegetação, solo, pedra, telhado e sombra/água. Nessas condições, para qualquer imagem, e sendo as respostas espectrais das componentes conhecidas, suas proporções podem ser estimadas, de forma individual, por meio da geração de Imagens Fração (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). Este modelo estima as frações das componentes de mistura de cada pixel da imagem da seguinte forma (HAERTEL; SHIMABUKURO, 2005):

$$m$$

$$r_i = \sum_{j=1}^m a_{i,j} x_j + v_i$$

$$j=1$$

Onde r_i representa a reflectância média na banda espectral i , $a_{i,j}$ é a reflectância espectral do componente j da banda espectral i , x_j é a proporção do componente j dentro do pixel e v_i é o resíduo da banda espectral i .

A utilização de imagens fração tem sido muito frequente, substituindo e complementando outros métodos de processamento. Podemos citar a análise do desflorestamento, com base na proporção de solo exposto, ou no mapeamento das áreas de regeneração florestal, com base na proporção de sombra, associada com a estrutura (fase de desenvolvimento) da floresta.

Freitas e Shimabukuro (2008) utilizaram as frações vegetação e não vegetação, geradas pela aplicação do MLME para o desenvolvimento de um método para análise de mudanças de uso da terra. Ao representarem o comportamento dessas frações ao longo do tempo (Figura 4), os autores observaram claramente a dinâmica do processo de desmatamento que ocorreu na área de estudo. Pode-se notar na Figura 5 que a clara ascensão da fração não vegetação e declínio da fração vegetação quando ocorre supressão da cobertura vegetal, o que corrobora a escolha desse método.

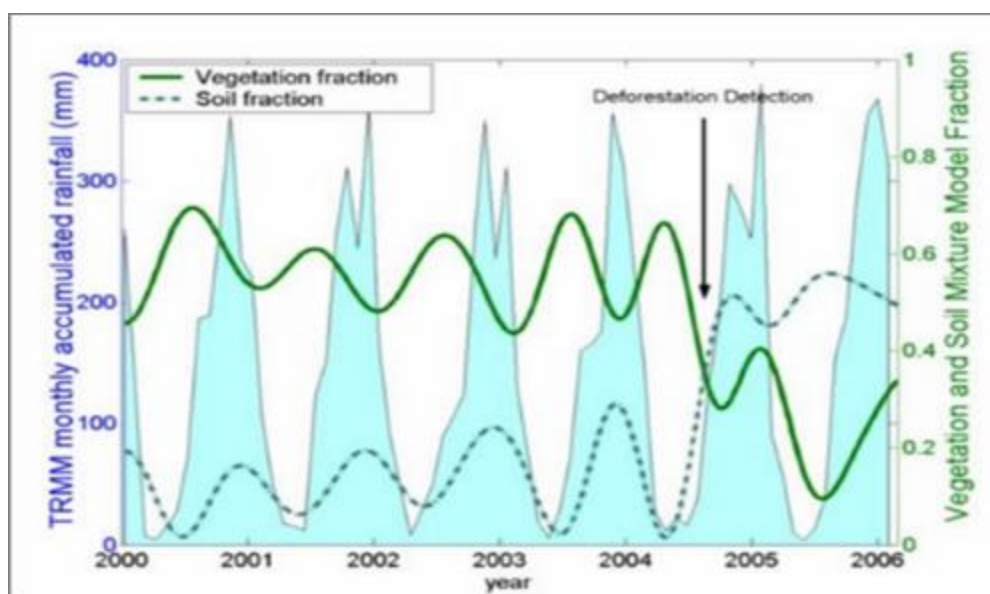


Figura 11 - Comportamento da fração vegetação e não vegetação, com destaque para áreas desflorestadas. Fonte: Freitas e Shimabukuro (2008)

Embora o NDVI tenha sido concebido para detectar superfícies vegetadas, aqui ele será utilizado no mapeamento de áreas de não vegetação. Testes anteriores demonstram que o estabelecimento de um limiar único de NDVI para detecção da vegetação ao longo de toda área de interesse não é viável. Entretanto, um baixo limiar desse índice que varia de -1 a 1, se mostrou eficaz no mapeamento de áreas com ausência de vegetação, neste caso o limiar utilizado foi o intervalo de -1 a 0,3.

A detecção da vegetação será realizada com um limiar da fração vegetação oriunda do MLME, conforme mostrado no fluxograma da Figura 8. Analogamente ao índice acima, este varia de 0 a 1, sendo utilizado neste caso o limiar utilizado foi de 0,1 à 1,0 e manteve-se fixo para todas as cenas em cada período.

Como os mapas Vegetação e Não Vegetação serão obtidos separadamente por duas técnicas distintas, será necessário realizar o mosaico entre os produtos para obter o mapa de cada cena. Esses mapas serão novamente mosaicados para gerar o mapa relativo a cada um dos cinco períodos.

A aplicação da metodologia descrita na Figura 8 sobre as imagens de altíssima resolução obtidas a partir do imageamento com o VANT, poderá identificar o efeito sombra de forma bastante significativa, que ao ser avaliado numericamente leva-se uma perda de informação importante.

Uma das causas para este efeito, é a resolução espacial de 10 cm das imagens produzidas pelo VANT. Se por um lado o nível de detalhamento da resolução espacial utilizada, apresentará enorme ganho na acurácia posicional e geométrica da informação, por outro lado o posicionamento relativo dos alvos analisados poderá gerar sombras indesejadas no modelo. Como a metodologia empregada é muito sensível a condição radiométrica do alvo, a sombra poderá interferir no resultado final.

Visando eliminar esta inconsistência, será considerado o desenvolvimento de uma alternativa metodológica, que deverá ser sensível a clorofila presente na vegetação e que ao mesmo tempo identifique, se a sombra mapeada pelo índice será resultante de vegetação, de solo ou de outro alvo, como por exemplo: pedra, água, telhado, entre outros.

Neste sentido, será adicionada na metodologia a aplicação do método de classificação automática supervisionada, utilizando a abordagem de classificação orientada a objeto (GEOBIA - Geographic Object-Based Image Analysis), apenas para as áreas identificadas como sombra.

Nesta concepção, as interpretações de imagens de sensores remotos não consideram somente os níveis de cinza dos objetos, mas também as suas formas e as relações de vizinhança, que são características igualmente importantes para a classificação de determinados usos (SCHIEWE e TUFTE, 2007). Dessa forma, torna-se possível descrever cada região usando parâmetros em relação à forma do objeto (área, largura, perímetro, entre outros), à textura, às relações entre objetos vizinhos, etc.

Na Figura 9 é apresentada a nova versão metodológica a ser utilizada, já contemplando a utilização da classificação orientada a objeto. Outra alteração metodológica a ser implementada para este tipo de produto será a eliminação das correções atmosféricas, já que a aeronave utilizada realiza um sobrevoo baixo, tendo uma camada atmosférica mínima entre o alvo e o sensor da câmera utilizada, atmosfera essa que não causa nenhum tipo de efeito negativo nas imagens resultantes.

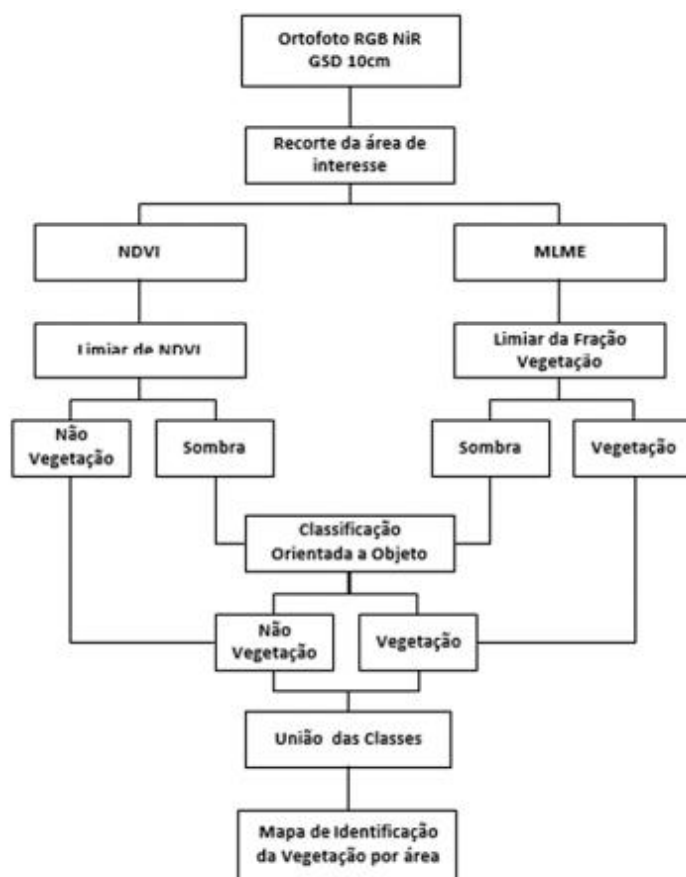


Figura 12: Fluxograma do processamento das imagens para obtenção do mapa de identificação da vegetação por área.

Os próximos tópicos detalham as metodologias a serem utilizadas para geração dos mapas de Vegetação e Não Vegetação para as imagens de altíssima e média resolução (neste caso, se a correção atmosférica for mantida) da metodologia proposta.

Com a conclusão dos processos de classificação das imagens, o resultado final do mapeamento será obtido separadamente por três técnicas distintas, sendo,

portanto, necessário realizar a união entre os produtos para obter o mapa de final de cada área.

Os resultados obtidos pelos três processos: NDVI, MLME e GEOBIA irão gerar mapas complementares da área de estudo que necessitarão de um processo de união. Neste sentido, será utilizado o algoritmo de união do sistema ArcGis da ESRI, que fornecerá como resultado, um mapa único de cada área no formato vetorial e raster.

Com os mapas de identificação de vegetação de cada área definido, será possível detectar as áreas de vegetação suprimidas pela onda de rejeitos, bem como identificar e quantificar a vegetação que cresceu nessas áreas durante os períodos de 2015 a 2018 (com as imagens de alta resolução), quando comparados ao período pré-rompimento da barragem.

Deve-se considerar nesta análise, que a metodologia empregada a detecta a presença ou não da vegetação, não qualificando a mesma quanto a sua altura, estágio de crescimento, e fenologia.

5.2.3 Avaliação da biomassa da vegetação herbácea/arbustiva

Considerações sobre o esforço e suficiência amostral:

De acordo com dados publicados pelo LERF – Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da ESALQ/USP (*BELLOTTO et. al., 2009*) “é fundamental o estabelecimento de um delineamento amostral adequado e padronizado, coerente na definição da unidade amostral e no estabelecimento do tamanho ótimo da amostra (suficiência amostral)”.

Nesse contexto, a publicação sugere uma percentagem mínima de 0,5% da área total da unidade de avaliação para que o monitoramento seja representativo e, também, economicamente viável. Com base nesta referência e em diversos outros estudos voltados ao monitoramento da vegetação, consideram-se representativos os valores de áreas amostrais sugeridos, uma vez que resultam em percentuais acima daqueles recomendados por *BELLOTTO et. al., 2009*:

No que se refere às áreas de planícies impactadas entre Fundão e Candonga, que somam cerca de 1.374 ha e que serão alvo de ações de revegetação inicial com gramíneas e leguminosas, prevê-se o monitoramento em 41,40 ha, o que

resulta em 3,01% de esforço amostral referente ao indicador Produção de Biomassa Vegetal a ser analisado.

Em relação aos tributários, estima-se que a área total alvo de ações de reabilitação alcançou, aproximadamente, 271,33 ha, sendo o monitoramento realizado em 48,76 há, ou seja, 17,97% de esforço amostral.

Considera-se, portanto, que os percentuais de amostragem ora propostos são representativos e refletem o esforço empreendido na busca do conhecimento a ser gerado nas áreas em processo de recuperação, contemplando as peculiaridades e nuances pertinentes ao seu contexto.

Serão utilizadas imagens multiespectrais do satélite Sentinel II, abrangendo toda a área impactada entre Fundão e Candonga ao longo de diferentes períodos analisados, para obtenção de um modelo de estimativa da biomassa a partir da correlação entre índices espectrais e teores de biomassa mensurados em campo. Esta técnica permite uma série de análises com abrangência em toda a área impactada entre Fundão e Candonga dentre elas:

- Análise comparativa de estimativas de biomassa vegetal epígea entre os momentos abril/2017 e janeiro/2018;
- Comparação dos resultados estimados em planícies e faixas de vegetação ripária;
- Investigação de potenciais influências da proximidade de remanescentes florestais e de cursos d'água sobre a produção de biomassa vegetal epígea.

Ao longo das 4 campanhas amostrais a serem realizadas no período 2017-2018 serão amostradas 323 parcelas em áreas impactadas e não impactadas (controle), em diferentes fisionomias da paisagem (planícies, tributários e matas de encosta) e com diferentes tipos de cobertura vegetal (herbácea, arbustiva, arbórea). O tipo de amostragem será determinado pelo porte da cobertura vegetal presente na parcela.

5.2.3.1 Seleção de Áreas Amostrais

Especificamente para o monitoramento do indicador Produção de Biomassa Vegetal, serão selecionadas Áreas Amostrais (AM) para cada tipo de área tratada (planícies de inundação e tributários), com o objetivo de avaliar este indicador em maior detalhe e, posteriormente, extrapolar as informações obtidas para a totalidade das Áreas Prioritárias (AP) e Áreas Não Prioritárias (ANP). Na seleção dessas áreas serão considerados critérios referentes à facilidade de acesso, técnicas de revegetação utilizadas e uso do solo/cobertura vegetal do entorno. As Áreas Amostrais selecionadas são designadas na Tabela 2.

Tabela 2: Áreas Amostrais para monitoramento da cobertura vegetal.

Tipo de Área	Subárea/Estaca	Área Prioritária	Dimensões (ha)
Planícies	M03	3	2,33
	B36	11	11,00
	M08	10	5,16
	B65	8	2,63
	B82	5	7,23
	B98	7	0,58
	B139	6	12,47
Tributários	TG03	3	3,43
	TG11	13	3,43
	TG16	11	9,77
	TG20	10	10,10
	TG34	7	4,79
	TG44	9	3,22
	TC02	15	9,37
	TC05	15	4,65
Total	15	15	90,16

Uma área controle (TG16/ITG 17 e planícies adjacentes), onde não serão realizadas intervenções, será selecionada com o objetivo de permitir a realização de comparações frente aos resultados dos tratamentos realizados. A planície B97, com cobertura vegetal exclusivamente voltada à formação de

pastagem, por iniciativa do proprietário, será também incluída no monitoramento para fins de comparação.

5.2.3.2 Amostragem em campo para estimativa da biomassa de formações herbáceas e arbustivas

Para estimativa da biomassa da cobertura vegetal herbácea e arbustiva serão selecionadas áreas amostrais dentro das planícies representativas pertinentes às áreas prioritárias previamente definidas. Para tanto, serão coletadas amostras em campo para determinação da biomassa através de método destrutivo, utilizando-se um gabarito de 1 m², alocado de 10 em 10 metros ao longo de um transecto de 20 metros (Figura 14). Os transectos serão instalados ao longo de manchas homogêneas de vegetação com características fitofisionômicas e percentual de cobertura vegetal, buscando-se a representação de todo o gradiente de evolução da cobertura vegetal resultante de ações de recuperação ou do manejo, mesmo que realizado pelos próprios agricultores, nas planícies-alvo.

Serão registradas respectivas coordenadas geográficas de cada parcela e obtida a estimativa da densidade de cobertura e medida a altura média das plantas utilizando uma régua graduada (Figura 15). Em seguida, toda vegetação presente dentro dos limites da parcela será cortada com tesoura de poda, ensacada em saco plástico de peso conhecido e aferido seu peso com pesola de 5 kg + 50 g para obtenção do peso úmido da vegetação contida na parcela (Figura 16). Após a obtenção do peso do material, será realizada a homogeneização da amostra e a retirada de três amostras em um saco de papel de tamanho adequado e peso conhecido para obtenção do peso úmido, utilizando-se pesolas de 5 kg + 50 g. Cada alíquota retirada será identificada e levada a uma estufa para secagem em temperatura constante de 60 °C por 36 hs, para obtenção do peso seco, utilizando-se balanças eletrônicas de precisão (+0,0001 g).

O teor de umidade de cada alíquota será obtido subtraindo-se, do seu peso úmido, o peso seco obtido após o período de secagem em estufa. O teor médio de umidade das alíquotas será então utilizado como estimativa do teor de umidade presente em cada amostra, sendo este subtraído do peso úmido total

de cada amostra para obtenção da estimativa do seu peso seco total. Os valores de biomassa de cada parcela serão então expressos em kg/m² e posteriormente convertidos em tonelada por hectare.



Figura 13: Parcela de 1m² utilizada para coleta da biomassa epígea.



Figura 14: Abertura do transecto de 20 m de comprimento para alocação das parcelas, a cada 10 m.



Figura 15: Estimativa de altura média das plantas encontradas dentro da parcela de 1m² através de régua graduada



Figura 16: Remoção de toda a vegetação presente na parcela para obtenção do peso úmido.

5.2.3.3 Amostragem e estimação da biomassa epígea em formações florestais

Amostragens de fitofisionomias arbustivo-arbóreas e arbóreas serão realizadas no último período chuvoso de cada campanha, utilizando-se parcelas aninhadas de diferentes tamanhos para a caracterização dos diferentes estratos vegetacionais ali representados, visando subsidiar a obtenção de modelo preditivo abrangente para estimação da biomassa em diferentes tipologias da cobertura vegetal nas áreas afetadas e adjacentes a partir da relação entre leituras espectrais de imageamentos por satélite e as medidas de biomassa epígea obtidas em campo.

Para a caracterização do estrato herbáceo-arbustivo serão utilizadas parcelas de 1 x 1 m (1m²) para amostragem destrutiva das espécies não lenhosas, utilizando-se os mesmos procedimentos descritos acima para as formações herbáceas e arbustivas, descritos neste capítulo. Para a caracterização do sub-bosque, serão utilizadas parcelas de 2,5 x 2,5 m (6,25 m²) sobreposta à parcela de 1 m², para amostragem de todos os indivíduos lenhosos com diâmetro entre 1 cm e 5 cm. Por fim, para a caracterização do estrato arbóreo, serão utilizadas parcelas de 10 x 10 m (100 m²), sobreposta à parcela de 6,25 m², dentro da qual foram medidos todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5 cm (Figura 17), bem como estimadas as alturas totais. Para os indivíduos que perfilharam ou bifurcaram abaixo de 1,30 metros de altura, todos os seus múltiplos troncos serão medidos e suas alturas estimadas.



Figura 17: Medição da Circunferência à Altura do Peito (CAP) dos indivíduos arbóreos na parcela.

Para obtenção de estimativas da biomassa lenhosa, incluindo a casca, será utilizado o método não destrutivo ou indireto, utilizando-se equação alométrica ajustada por Amaro (2010), para uma Floresta Estacional Semidecidual Montana no Município de Viçosa, MG, apresentada a seguir:

$$\mathbf{BFcc = 0,024530 \times DAP^{2,443356} \times Ht^{0,423602} \quad (R^2 = 95,01; Sy(x) = \pm 24,2)}$$

A biomassa dos galhos com casca (BFcc), segundo este mesmo autor, representa 25,96% da biomassa do fuste, conforme equação abaixo:

$$\mathbf{BGcc = 0,2596 \times BFcc}$$

A biomassa de folhas (BF) será estimada com base no estudo realizado por Drumond (1996), em duas áreas de Mata Atlântica do médio rio Doce, correspondendo a 4,45 % da biomassa do fuste com casca (BFcc), conforme a equação abaixo:

$$\mathbf{BFO = 0,0445 \times BFcc}$$

Desta forma, a biomassa total acima do solo para o componente lenhoso será obtida por meio do somatório da biomassa dos fustes, dos galhos e das folhas:

$$\mathbf{AGB = BFcc + BGcc + BFO}$$

5.2.3.4 Verificação de tendências na evolução da biomassa das formações herbáceas e arbustivas

Formações herbáceas e arbustivas consistirão nas tipologias de cobertura vegetal predominante nas planícies fluviais afetadas pela remoção da cobertura vegetal original e deposição de rejeitos em decorrência do rompimento da barragem de Fundão. Em grande parte, esta cobertura será resultado de intervenções executadas em âmbito emergencial para o controle de erosões, em particular pelo plantio de mix de espécies de gramíneas e leguminosas. O entendimento da dinâmica da biomassa dessas formações ao longo do tempo é, portanto, elemento chave das ações de monitoramento como subsídio a futuras ações de manejo destinadas à sua recuperação.

Para verificar eventuais tendências na evolução da biomassa epígea relacionada à cobertura herbácea e arbustiva a ser implantada nas planícies marginais afetadas pela deposição de rejeitos provenientes da barragem de Fundão, será feito o cruzamento de valores médios de biomassa (t/ha) obtidos ao longo de transectos amostrais executados ao final da estação chuvosa (março – abril) de 2017 e no mesmo período em 2018. Para esta análise, áreas amostradas nas duas ocasiões serão consideradas, sendo estas as áreas amostrais: M03, M08, B65, B82, B97, B98, B139 e Controle Regional (área livre de intervenções de recuperação), sendo que nestas incidirão de um a quatro transectos abrangendo três pontos amostrais cada. Dessa forma, para o conjunto das 8 planícies

selecionadas serão considerados dados de 24 transectos contendo 72 parcelas amostrais. Desse conjunto de dados, após análise de contexto e de documentação fotográfica de cada parcela amostrada, serão excluídas medidas de parcelas em vegetação herbácea que apresentarem valores extremos de biomassa (outliers), caso se confirme após interpretação dos dados.

Será então utilizada análise de regressão linear simples para a relação entre valores médios de biomassa obtidos nas campanhas amostrais. Premissas analíticas referentes à normalidade dos dados e heteroscedasticidade serão aferidas anteriormente às análises.

A linha de tendência obtida será então confrontada à linha representativa da progressão isométrica dos valores médios de biomassa ao longo deste intervalo de tempo visando avaliar a estabilidade dos valores. Uma análise comparativa dos valores de inclinação (coeficiente angular da regressão) da linha de tendência obtida versus a isometria será feita utilizando-se o teste de Fischer (F) frente à hipótese nula de que ambas as linhas possam representar a mesma inclinação.

O mesmo procedimento analítico será adotado para uma segunda seleção de transectos amostrais, representando o subgrupo de áreas para as quais, após aferição de dados e análise de registros fotográficos, possa-se constatar a ausência de interferências sobre a cobertura vegetal epígea no período (e.g., áreas que não sofreram expressiva remoção ou alteração da cobertura vegetal por capina ou pastejo pelo gado). O conjunto de dados consistirá de 14 transectos abrangendo 42 parcelas amostrais nas áreas amostrais M03, M08, B65, B82, B98 e Controle Regional.

5.2.3.5 Estimação integrada da biomassa no conjunto das áreas afetadas a partir de modelagem em sistema de informação geográfica

Conforme detalhado acima, estimativas de biomassa serão obtidas em campo a partir de amostragens destrutivas realizadas em parcelas amostrais estabelecidas sobre cobertura vegetal de porte herbáceo e herbáceo-arbustivo

e, também, da medição de indivíduos arbóreos em parcelas estabelecidas sobre testemunhos florestais.

Ao longo do período de monitoramento, serão previstas campanhas no início e ao fim de um ano hidrológico. Valores de biomassa mensurados nas parcelas amostrais serão convertidas para toneladas por hectare.

Com auxílio do software QGIS versão 2.18.15 "Las Palmas" serão extraídas leituras do satélite Sentinel II para cada coordenada de biomassa. Quatro bandas serão utilizadas (i. e. 2, 3, 4 e 8). A banda 8 registra leituras de infravermelho próximo (NIR), que apresenta alta sensibilidade à cobertura vegetal; já a banda 4 registra o vermelho visível (Red), pouco sensível à cobertura vegetal, mas sensível aos "ruídos" da leitura de vegetação do infravermelho próximo. Seguindo procedimento usual para tratamento das informações da banda de infravermelho, as bandas 4 e 8 serão unidas no cálculo de NDVI.

Com suporte do software "R" será desenvolvido um modelo linear no qual as leituras de abril de 2018 (bandas 2, 3 e NDVI) são predictoras da biomassa (dos pontos de biomassa conhecida). Em testes preliminares, o modelo inicial foi: (biomassa ~ NDVI + banda2 + banda3); e o modelo que apresentou melhor ajustes foi: ((biomassa)² ~ NDVI²:banda2 + NDVI²:banda3).

Para concluir a avaliação do modelo desenvolvido serão geradas previsões para os pontos de biomassa conhecida, sendo estas categorizadas pela tipologia de cada amostra.

Após a validação da regressão linear, os coeficientes identificados serão utilizados para extrapolar o cálculo da biomassa para toda a imagem Sentinel II de 2018 (Final do segundo ciclo hidrológico de monitoramento), operação realizada em QGIS com "álgebra de raster" biomassa = (0,011 x banda2 x NDVI²) + (-0,008 x Banda 3 x NDVI²). Em seguida será extraída a área recoberta por nuvens e sombra de nuvens. O modelo espacial de biomassa resultante (raster) será então recortado para a poligonal da área afetada, para cada uma das áreas prioritárias e para a faixa de 10 m de interface ripária (faixa de 10 m adjacente à drenagem principal). Para cada uma destas sub-regiões será calculada a biomassa média e sua variância.

O indicador PVH/A “Produtividade da Vegetação Herbácea/Arbustiva” será obtido a cada ciclo de monitoramento por meio do desenvolvimento de um modelo de leitura direta a partir de ferramentas de geoprocessamento, conforme metodologia descrita neste capítulo. Considera-se como meta, uma produtividade média anual igual ou superior a 6t/há, valor de referência na literatura para várias espécies utilizadas para fins de adubação verde e projetos de recuperação de áreas degradadas, (ALCÂNTARA, F. *et al.* 2000).

Os resultados de cada campanha serão publicados a cada ciclo hidrológico no relatório de “Monitoramento das Intervenções Prioritárias”

5.2.4 Indicadores e metas

- “**Índice de Cobertura Vegetal (ICV)**”. Este indicador será obtido por meio da análise do geoprocessamento para cada período de aquisição das imagens de satélite ou por meio de VANT, conforme metodologia supracitada visando o acompanhamento do progresso da revegetação, e será calculado por meio da equação.

$$ICV = \left(\frac{\text{Área recoberta por vegetação no período em ha}}{\text{Área total de vegetação impactada em ha}} \right) * 100$$

A meta para garantia de asseguarção deste indicador considera um Índice de cobertura igual ou superior a 80% ao final de 2 anos hidrológicos após as intervenções (ano hidrológico de 2017/2018).

- “**Biomassa Total da Vegetação (BTV)**”. Esse indicador será obtido a cada ciclo de monitoramento anual por meio do desenvolvimento de um modelo de leitura direta a partir de ferramentas de geoprocessamento, e medido por meio de produtividade em (**t/ha**) conforme metodologia descrita neste capítulo. Considera-se como meta, uma produtividade média anual igual ou superior a 6 toneladas por hectare, ao final de 2 anos hidrológicos após as intervenções (ano hidrológico de 2017/2018), valor de referência na literatura para várias espécies utilizadas para fins de adubação verde e projetos de recuperação de áreas degradadas, (ALCÂNTARA, F. *et al.* 2000), possuindo relação direta com atributos necessários para reabilitação de solos, como incorporação de nutrientes

e matéria orgânica, contribuindo com processos de formação/melhoria da pedofauna, bem como inferências diretas sobre a capacidade de retorno produtivo das áreas em processo de reabilitação.

6.0 Projeto de Regularização das Calhas, Margens, e Controle de Processos Erosivos nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, no Trecho Montante da UHE Risoleta Neves

6.1 Objetivo

Este projeto tem como objetivo efetuar a Regularização de calhas e margens e controle de processos erosivos nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce no trecho a montante da UHE Risoleta Neves, em consonância com a Cláusula 159 do TTAC.

6.2 Etapas de Execução

6.2.1 Caracterização das Áreas Afetadas

A ruptura da barragem do Fundão desencadeou processos erosivos severos nas margens e leitos dos cursos d'água afetados. As feições geomorfológicas produzidas pelo material depositado são altamente susceptíveis a continuidade de processos erosivos pós-evento, através do escoamento superficial de água de chuva, arraste de material particulado pelo vento e outros mecanismos, principalmente, em virtude da ausência de cobertura vegetal e de um sistema de drenagem estabelecido.

Nesse sentido, estudos foram conduzidos especificamente com o objetivo de avaliação dos impactos nas planícies para fins de priorização das ações emergenciais e definição das soluções de reabilitação. Os resultados destes estudos foram sistematizados no documento: "Avaliação dos Impactos no Meio Físico Resultante do Rompimento da Barragem de Fundão" e apresentado para apreciação do Comitê Interfederativo no âmbito da cláusula 150 do TTAC.

Ao longo dos vales dos rios afetados em que os sedimentos de granulometria fina (rejeitos) permanecem sem vegetação, observou-se uma rápida erosão superficial causada pela chuva. Esta erosão superficial rápida leva à liberação de rejeitos finos ao rio. A descarga de sedimentos finos nos canais de córregos

e rios resulta em um aumento na suspensão de sedimentos finos, nos sólidos suspensos totais e na turbidez. Assim, quando chove, pode-se esperar que a turbidez aumente (ou apresente um pico) em resposta ao escoamento superficial e à erosão dos rejeitos nas planícies de inundação, bem como ao aumento da vazão do rio. À medida que a vegetação seja recomposta nas planícies de inundação, espera-se que a contribuição de rejeitos finos através do escoamento superficial diminuirá.

Conceitualmente, o efeito global da revegetação de planícies de inundação afetadas, controla o escoamento superficial em áreas de depósitos de rejeitos expostos e reduz a descarga e a disponibilidade de sedimentos finos nos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce.

A estabilização dos rejeitos depositados nas margens por meio de técnicas de bioengenharia de solos combina revestimento, escavação, remoção e revegetação, reduzindo a disponibilidade da fonte potencial de rejeitos que podem ser aportados nos rios.

Durante inundações futuras onde o rio acessa as áreas das margens, normalmente com frequência de ocorrência de menos de 1 evento em 10 anos (e.g. 1 evento em 50 anos), existe o potencial de erosão localizada e remobilização do rejeito do leito maior. Este potencial é relativamente maior durante os primeiros anos seguintes a revegetação, já que a cobertura florestal não estará plenamente desenvolvida ou não atingiu a maturidade. Sob estas condições de desenvolvimento vegetativo, a resistência das planícies de inundação (e, por conseguinte, rejeitos depositados a partir da inundação) quanto ao fluxo de água e erosão tenderá a ser mais baixa permitindo alguma erosão. Durante eventos de inundação, quando a vegetação for reestabelecida no leito maior a água tende a ter velocidade menor em geral e comumente deposita uma camada de sedimentos sobre o solo existente. Esta deposição pode resultar na gradual sedimentação dos rejeitos em longo prazo. Em algumas áreas, aspectos hidráulicos pontuais podem resultar em processos erosivos do leito e mobilização de rejeitos em áreas revegetadas.

A variação natural da vazão dos rios está transportando parte dos sedimentos finos atualmente armazenados nos canais de rios e córregos para áreas de

armazenagem a jusante (p.ex., fluxo de águas lentas, como em reservatórios) durante eventos de grande descarga. Os processos hidrológicos naturais do rio gradual e eventualmente irão carrear os rejeitos acumulados nos rios e atingirão um estado de equilíbrio similar as condições pré-rompimento. Da mesma forma, os níveis de turbidez associados aos rejeitos diminuirão e serão similares aos outros rios na região.

Como resultado do rompimento da barragem de Fundão foi verificado um aumento da carga de sedimentos nos cursos d'água principais, que chegou a até sete vezes quando comparada às condições anteriores ao rompimento. Verificou-se também que os rejeitos tendem a erodir a taxas cerca de 60% maiores que o solo natural na mesma condição. Esses fatores explicam o aumento dos níveis de turbidez na água, bem como o aumento da concentração de outros parâmetros associados à presença de material em suspensão, como cor e alguns metais na forma total.

Os resultados da avaliação geomorfológica, hidrodinâmica e hidrossedimentológica confirmaram ainda que é necessária a adoção de medidas visando controlar processos erosivos em rejeitos dispostos nas planícies de inundação, ação que diretamente relacionada a redução do impacto de qualidade da água associado a sólidos em suspensão, principalmente considerando no período chuvoso. Foram definidas áreas prioritárias para ações de controle de erosão, que irão requerer o manejo de rejeitos de forma localizada. Os resultados dessa avaliação não indicaram a necessidade de remoção de rejeitos em larga escala, visto que ações de contenção ou estabilização devem ser suficientes para se atingir condições aceitáveis em relação à mitigação dos impactos associados a alterações morfológicas.

A fim de estabelecer uma ordem de prioridade para a reabilitação das áreas afetadas, foi desenvolvido um conjunto de princípios orientadores para auxiliar na determinação dos principais focos de intervenção. Os princípios orientadores para o estabelecimento das prioridades em termos de locais e atividades para controlar o aporte de rejeitos e, por conseguinte, os sólidos suspensos totais nos rios foram baseados em:

- A recuperação da bacia de drenagem para gestão de sedimentos deverá ser realizada a partir da área de drenagem superior para a inferior, de modo que obras executadas não sejam impactadas pelo contínuo influxo excessivo de sedimentos provenientes de pontos a montante (ATKINS *et al*, 2001);
- Cuidando-se da mecânica de erosão e transporte de rejeitos que gera altos níveis de sólidos suspensos cuida-se da causa dos sólidos suspensos totais. Atividades visando reduzir a contínua erosão excessiva de rejeitos podem ser avaliadas em ordem de prioridade como:
 - Proteger os rejeitos do contato direto com fluxo de água superficial;
 - Remover os rejeitos do contato direto com fluxo de água superficial; e
 - Impedir que os rejeitos entrem em contato com fluxo de água superficial.
- O trabalho deverá focar nos maiores volumes de rejeitos armazenados, de montante para jusante; assim, planícies de inundação largas devem ser tratadas antes de planícies de inundação estreitas, com flexibilidade para levar em consideração situações em que, por exemplo, uma planície de inundação ampla esteja situada a uma grande distância a jusante comparada com uma planície de inundação estreita a montante;

Com base nestas conclusões, foram definidas 16 (dezesesseis) áreas de alta prioridade e 11 (onze) áreas de baixa prioridade, para fins de reabilitação. As prioridades foram classificadas em função do potencial dessas áreas de contribuir com rejeitos para os rios principais. Dentro do Projeto de Reabilitação dos Tributários e Controle de Erosão da Calha Principal, as áreas de alta e baixa prioridade são denominadas de Áreas Prioritárias e Não Prioritárias, respectivamente.

Em relação às ordens de prioridade, as áreas com ordem de prioridade mais alta, 1 a 4, serão aquelas localizadas mais a montante e cuja geomorfologia favorece a acumulação de rejeitos, muito devido à área 19 de cânion que controlou o fluxo da onda de rejeitos. Em seguida serão priorizadas as áreas 5, 6 e 7 localizadas no rio Gualaxo do Norte com planície de inundação larga (BFL), seguidas pelas áreas 8, 9 e 10 com planície de inundação estreita (BFS) e áreas 11, 12 e 13 classificadas como estreitas (NR). Em sequência serão reabilitadas

as áreas prioritárias no rio do Carmo (14, 15 e 16). Por fim, as áreas não prioritárias, geomorfologicamente classificadas como confinadas (CF) ou cânions (CN), ordenadas de 17 a 27, considerando apenas a localização de montante para jusante.

Tabela 03: Áreas prioritárias e não prioritárias listadas de montante para jusante.

Ordem de Prioridade	Tipo	Bacia	Descrição
12	Prioritária	Santarém	Alto córrego Santarém
2	Prioritária	Santarém	Córrego Mirandinha (dique S3)
17	Não prioritária	Santarém	Córrego do Fraga (dique S3)
1	Prioritária	Santarém	Área de Bento Rodrigues (dique S4)
18	Não prioritária	Santarém	Córrego Ouro Fino (dique S4)
4	Prioritária	Gualaxo do Norte	Canal e planície de inundação do rio Camargo
3	Prioritária	Gualaxo do Norte	Remanso do Gualaxo do Norte (BFS-01)
19	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 3 e área 13 (CN-02 e CF-03)
13	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área da PCH Bicas (NR-04 e CF-05)
20	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 13 e área 11 (CF-05)
11	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área de Engenho Podre (NR-06)
21	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 11 e área 10 (CF-07)
10	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área de Ponte do Gama (BFS-08)
22	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 10 e área 8 (NR-09)
8	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área a montante de Paracatu (BFS-10)
5	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área de Paracatu (BFL-11)
23	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 5 e área 7 (CN-12)
7	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área de Pedras (BFL-13 a BFL-19)
24	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 7 e área 9 (CN-20 a NR-25)
9	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área de Campinas Barreto (BFS-26)
6	Prioritária	Gualaxo do Norte	Área de Gesteira (BFL-27)
25	Não prioritária	Gualaxo do Norte	Localizada entre área 6 e área 15 (CN-28 a BFS-32)
26	Não prioritária	Carmo	Localizada a montante da área 14

Ordem de Prioridade	Tipo	Bacia	Descrição
14	Prioritária	Carmo	Remanso do rio do Carmo
15	Prioritária	Carmo	Área de Barra Longa (BFS-BFL-33 a BFS35)
27	Não prioritária	Carmo/ Doce	Localizada entre área 15 e área 16 (CF-36 a CF-38)
16	Prioritária	Doce	Reservatório de Candonga

6.2.2 Regularização Topográfica do Terreno e Disciplinamento do Sistema de Drenagem por Técnicas de Bioengenharia

6.2.2.1 Reabilitação dos Rios Principais

As ações de regularização topográfica das áreas impactadas e disciplinamento dos sistemas de drenagem possuem como objetivo inicial a estabilização física da calha, margem e planícies dos cursos d'água.

O termo "estabilização física de calha, margem e planícies" no âmbito deste projeto, busca uma estabilidade relativa, suficiente para que se viabilize um projeto de recuperação em médio e longo prazo. Este grau de estabilização é diferente da estabilidade absoluta, aplicável a um projeto de canalização de curso d'água associado à infraestrutura urbana, por exemplo, onde não pode haver movimentação do canal. A estabilização física relativa com vistas à reabilitação ambiental será obtida com uso de materiais naturais, que irão se integrar à paisagem (ex.: enrocamento, madeira, biomantas, estacas vivas etc.), e finalmente a revegetação. A garantia de uma estabilidade física absoluta, ou o mais próximo deste patamar, exige um dimensionamento de maior robustez, que se reflete em uma quantidade maior de enrocamento de maior granulometria, ou até mesmo concreto, o que inviabiliza a recomposição do ecossistema. Durante eventos de cheias portanto, é esperado que haja erosão de margens em alguns pontos. Desta forma, garante-se que o curso d'água irá manter o seu dinamismo natural no longo prazo.

A reconformação e disciplinamento dos dispositivos de drenagem visam em primeiro momento minimizar processos erosivos nas planícies de inundação. As principais premissas do projeto consistirão em: (i) Manter limpa a água limpa:

O escoamento gerado em áreas naturais (não afetadas) a montante será desviado das áreas das planícies de inundação afetadas, e direcionados a um sistema de drenagem construído, de modo a reduzir novos aportes de rejeitos para o leito fluvial. Serão implementadas canaletas de crista (de desvio) antes de realizar qualquer atividade na planície de inundação, devendo a descarga destas canaletas de crista ser controlada por meio de um dissipador de energia (por exemplo, bacia de dissipação em enrocamento) para evitar erosão; (ii) Proporcionar drenagem superficial adequada: o gerenciamento da drenagem das estradas de acesso existentes e áreas de planície de inundação afetadas será feito por meio de estruturas de direcionamento de água desde a fonte até o ponto de descarga. Elementos de dissipação de energia serão instalados quando necessário para assegurar a estabilidade física do sistema de margens fluviais e planícies de inundação e para limitar a erosão nos pontos de descarga. As principais diretrizes adotadas para regularização das áreas e disciplinamento dos sistemas de drenagem consistem nos seguintes tópicos:

- A morfologia do canal será mantida o mais próximo possível da sua condição original (pré-rompimento);
- Movimentações de terra e rejeitos que possam levar ao aporte de sedimentos ao leito do rio serão minimizados;
- Movimentação dos rejeitos e sedimentos depositados no leito do rio serão minimizados, os trabalhos de remoção ou outra solução para o rejeito depositado no contexto intracalha serão definidas e executadas no âmbito do Plano de Manejo de Rejeitos (PG-23);
- Materiais naturais depositados ao longo dos cursos de água, como pedaços de madeira, serão aproveitados, após autorização dos órgãos de controle competentes;
- O distúrbio nas margens do canal será minimizado;
- A reconformação de áreas onde a vegetação natural já se restabeleceu será evitada, para melhorar a estabilização das margens;
- Da mesma forma, será evitada a reconformação de áreas onde existem remanescentes da vegetação ripária (ex.: sistema radicular);

- Técnicas de bioengenharia, conjugando materiais inertes com elementos vivos, serão favorecidas em detrimento às soluções de engenharia pesada, como o revestimento com rochas;
- As intervenções realizadas serão monitoradas e reparadas até que a área seja estabilizada e integrada com o ambiente de entorno.
- Os trabalhos de estabilização das planícies de inundação serão projetados para velocidade de escoamento com tempo de retorno de 10 anos;
- A altura do enrocamento nas proteções de pé para os rios principais e utilizará como referência o nível d'água com tempo de retorno de 2 anos.

6.2.2.1.1 Metodologia

A metodologia do projeto presente neste tópico seguiu as etapas:

- Levantamentos de campo;
- Definição de premissas de projeto;
- Definição de seções tipo;
- Elaboração do projeto:
- Estudos hidrológicos;
- Modelagem hidráulica;
- Dimensionamento das seções;
- Bioengenharia de solos;
- Desenhos.

6.2.2.1.1.1 Levantamentos de Campo

Será realizado um mapeamento das condições de campo de cada área prioritária e não prioritária, a fim de subsidiar a elaboração dos projetos de reabilitação.

Os seguintes parâmetros serão avaliados durante as expedições:

- Geometria dos taludes das margens: altura, inclinação;
- Característica do material das margens: se material natural ou rejeito, espessura da camada de rejeitos, granulometria, presença de afloramento rochoso;

- Feições erosivas nas margens: identificação de zonas de erosão (taludes verticais ou negativos) e deposição (barras de sedimentos, “praias”);
- Presença de vegetação nas margens: vegetação natural, vegetação de mix de sementes, presença de raízes, processos de regeneração natural.

A geometria das áreas a serem trabalhadas será caracterizada por meio de levantamentos topográficos a laser (LiDAR). Para o projeto da área prioritária 15 será utilizado ainda o levantamento batimétrico de trechos das calhas dos rios do Carmo e Gualaxo do Norte, no município de Barra Longa, que será realizado para fins de elaboração dos estudos de cheias.

Serão identificados os trechos com características similares e a possível solução aplicável a cada trecho. Para os levantamentos, serão utilizados mapas de campo em escala 1:1.000 elaborados com base na topografia disponível.

6.2.2.1.1.2 Proposição de seções tipo

Dados a extensão das obras e o seu caráter emergencial, serão definidas seções tipo a serem aplicadas na reabilitação dos rios e planícies afetadas. Nos trechos cujas características do canal não permitem a aplicação das seções tipo, são desenvolvidos projetos especiais.

Com base na avaliação preliminar de campo, foram definidas 5 seções tipo:

- Tipo A: Margem exposta com a presença de praia;
- Tipo B: Margem exposta sem a presença de praia;
- Tipo C: Margem exposta com talude alto e berma intermediária;
- Tipo D: Margem estabilizada onde são aplicadas medidas pontuais de contenção da erosão e de reforço da vegetação;
- Tipo E: Margem exposta: situação em que as seções tipo acima não são aplicáveis sendo necessário projeto específico.

Na elaboração do projeto, as cinco seções tipo serão desdobradas em subtipos conforme especificidades de cada local (Anexo 2). Durante os levantamentos, serão delimitados nos mapas de campo os trechos de margem em cada área prioritária e não prioritária com a identificação de qual seção tipo se aplica.

6.2.2.1.1.3 Elaboração de projeto

Após o levantamento de campo será realizada a elaboração do projeto de cada área. O projeto consistirá no cálculo de vazões, velocidades de escoamento e níveis d'água em cada local do rio a fim de dimensionar as proteções de margem. As vazões serão calculadas por métodos de regionalização, aos estudos hidrológicos. As velocidades e os níveis d'água serão calculados através de modelagem hidráulica.

6.2.2.1.1.4 Topografia

A geometria das áreas trabalhadas será caracterizada segundo levantamentos topográficos a laser (LiDAR), conforme detalhado na tabela abaixo.

Tabela 04: Base topográficas utilizadas para os projetos de recuperação ambiental dos rios principais.

Áreas	Descrição	Data Aprox. do Levantamento
Áreas prioritárias 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13 e 15; Áreas não prioritárias 19 e 21	Levantamento planialtimétrico de tributários realizado pela Arya Inventário Territorial/Fiducial Engenharia e Aerolevantamentos	Fevereiro/2016
Área não prioritária 20	Topografia obtida por aerolevantamento para perfilamento do sensor laser scanner LiDAR-OPTECH realizado pela Topocart	Agosto/2016
Áreas prioritárias 7, 9 e 14; Áreas não prioritárias 22, 23, 24, 25, 26 e 27	Topografia obtida por aerolevantamento para perfilamento do sensor laser scanner LiDAR-OPTECH realizado pela Arya Inventário Territorial / Fiducial Engenharia e Aerolevantamentos	Setembro/2016

6.2.2.1.1.5 Estudos hidrológicos

As vazões de projeto são necessárias para o dimensionamento das proteções de margem dos cursos d'água impactados pelo rompimento da barragem de Fundão. As vazões variam conforme as características hidrológicas das bacias, que afetam a metodologia de transferência (ou regionalização) a ser empregada.

A área de estudo abrange a bacia do rio Gualaxo do Norte, desde o córrego Santarém até a foz; a bacia do rio do Carmo, de Barra Longa até a foz, e a bacia do rio Doce até a UHE Candonga.

A bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte tem forma alongada e se desenvolve de Oeste para Leste, sendo caracterizada por uma expressiva variação no regime pluviométrico neste sentido, afetado pelo efeito orográfico observado nas cabeceiras pela presença da Serra do Caraça (TEC3, 2016). Nesta bacia estão localizadas as estações fluviométricas: Fazenda Ocidente (código Ana 56337000), que operou de 1941 até o dia da ruptura, e PCH Bicas (código ANA 56335800), que operou de 1938 a 1941.

A bacia hidrográfica do rio do Carmo, no trecho compreendido entre Barra Longa e a foz, desenvolve-se também no sentido Oeste-Leste (TEC3, 2016). No município de Acaiaca, a cerca de 12 km a montante da foz do rio Gualaxo do Norte no rio do Carmo, encontram-se localizadas as estações fluviométricas de Acaiaca e Acaiaca Jusante (código ANA 56335000 e 56335001, respectivamente), que abrangem o período 1940-2015.

Em ambas bacias, observam-se valores de precipitação anual média que variam de 1400 mm a 2100 mm anuais (Pinheiro, 2011). Portanto, a precipitação média é um fator relevante ao transportar valores de vazões observadas para outras áreas destas bacias (TEC3, 2016).

A bacia do rio Doce, desde sua origem na confluência dos rios Carmo e Piranga até a UHE Candonga, desenvolve-se no sentido SW-NE, em um domínio de precipitações anuais médias praticamente constantes, que variam entre 1300 mm e 1400 mm anuais. Neste caso, considera-se adequada que a transferência de vazões seja realizada considerando apenas a área de drenagem como variável de regionalização (TEC3, 2016). No trecho em questão, a cerca de 25 km a jusante da UHE Candonga, encontra-se localizada a estação fluviométrica de Fazenda Cachoeira D'Antas (código ANA 56335000).

6.2.2.1.1.6 Modelagem hidráulica

A modelagem hidráulica será realizada para simular o efeito das diferentes vazões de projeto nas seções do rio e obter as velocidades de escoamento e

manchas de inundação. A partir destas informações será possível realizar o dimensionamento das proteções e definir os subtipos de seções.

As principais informações referentes à modelagem hidráulica estão resumidas a seguir:

- Simulação hidráulica em regime de escoamento permanente e gradualmente variado;
- Geometria obtida a partir dos levantamentos topográficos conforme a área onde se insere o curso de água modelado;
- Modelagem hidráulica a ser realizada por meio do programa HEC-RAS do United States Army Corps of Engineers (USACE, 2010);
- Condições de contorno adotadas iguais à profundidade normal ou elevações do nível de água conhecidas. Nesse último caso, as elevações conhecidas são aquelas obtidas de modelagens das áreas a montante ou a jusante;

O dimensionamento das canaletas e canais de drenagem será realizado a partir da equação de Manning, a mesma utilizada no dimensionamento hidráulico dos tributários.

Para definição do revestimento de canaletas e canais será considerado as seguintes velocidades máximas permissíveis:

6.2.2.1.1.7 Bioengenharia de solos no controle da erosão

Bioengenharia é definida como a combinação de conceitos biológicos, mecânicos e ecológicos para controlar a erosão e estabilizar o solo através do uso de vegetação ou uma combinação dos mesmos e materiais de construção (USACE, 1997).

A velocidade de escoamento usualmente é o fator que limita e determina os tratamentos possíveis para a bioengenharia no controle da erosão em margens de rio. A publicação Bioengineering for Streambank Erosion Control estabelece como limite para utilização de bioengenharia velocidades entre 1,8 e 2,4 m/s (USACE, 1997).

De maneira geral, quando as velocidades são inferiores a 2 m/s, a maioria das técnicas de bioengenharia são capazes de estabelecer vegetação. Já a partir de

2 m/s as forças de tração que o fluxo do escoamento gera sobre as superfícies submersas indicam a necessidade de utilização de técnicas que evitem o arraste do solo (erosão) e da vegetação, como a utilização de revestimento em enrocamento.

WOODS, 1982 relaciona tamanho de enrocamento (eixo y) com velocidade de escoamento (eixo x) em função da inclinação do talude da margem. Neste projeto foi admitido talude com inclinação máxima de 1,5H:1V. Observando o gráfico, a curva 1,5H:1V intercepta o eixo da velocidade de escoamento no valor de 1,75 m/s. Isto indica que, para taludes com inclinação de 1,5H:1V, velocidades inferiores a 1,75 m/s dispensam o uso de enrocamento, podendo ser protegidos apenas com bioengenharia.

Assim, a velocidade de 1,75 m/s foi adotada como a máxima admissível para aplicação de biomantas e bioretentores como revestimento de proteção das margens dos rios principais.

Li e Eddlemen (2002) apresentaram soluções de bioengenharia para a estabilização de margens de cursos d'água, das quais 5, apresentaram grande viabilidade de utilização no projeto em virtude da disponibilidade de mercado e viabilidade construtiva, conforme listado a seguir:

➤ Estacas vivas (live stakes);

Consiste em enterrar estacas vegetativas, já enraizadas. É um procedimento fácil, econômico e rápido e independe da época do ano para ser utilizado. Esse método pode ser utilizado como um tratamento primário, ou em conjunto com outros métodos.

➤ Rolos de galhos (live fascines);

São galhos e ramos de material vegetal, com potencial de enraizamento, amarrados com cordas em grandes fardos em valas rasas com estacas de madeira e/ou estacas vivas.

➤ Enrocamentos plantados (joint planting);

Consiste na combinação de material inerte (pedras) e material vivo (mudas, estacas vivas, ramos inteiros) (SOUSA; SUTILI, 2017) com o objetivo de

umentar a rugosidade hidráulica e proteger física-mecanicamente a base do talude ou encosta contra o efeito adverso do fluxo da água (STUDER; ZEH, 2014).

➤ Troncos e chumaço de raízes (root wad);

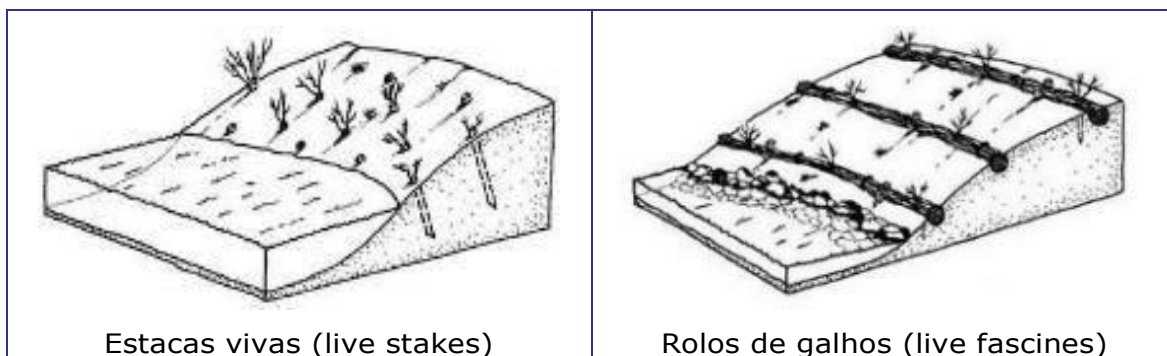
Consiste na combinação de materiais as vegetações inertes e propágulos que se encontram no local, dado que estas estão adaptadas às características locais. Têm como função assegurar a estabilidade do local enquanto a vegetação se desenvolve.

➤ Muro de Gabião

Muro construído com elementos modulares, com formas variadas, confeccionados a partir de telas metálicas em malha hexagonal de dupla torção que, preenchidos com pedras de granulometria adequada e costurados juntos, formam estruturas destinadas à solução de problemas geotécnicos, hidráulicos e de controle da erosão (MACCAFERRI, 2018).

➤ Biomanta bi e tridimensional

Manta constituída por fibras naturais de coco, ou sisal, ou ainda outros tipos de fibras vegetais. Pode ser do tipo trama e urdidura ou agulhada, disposta entre malhas sintéticas.



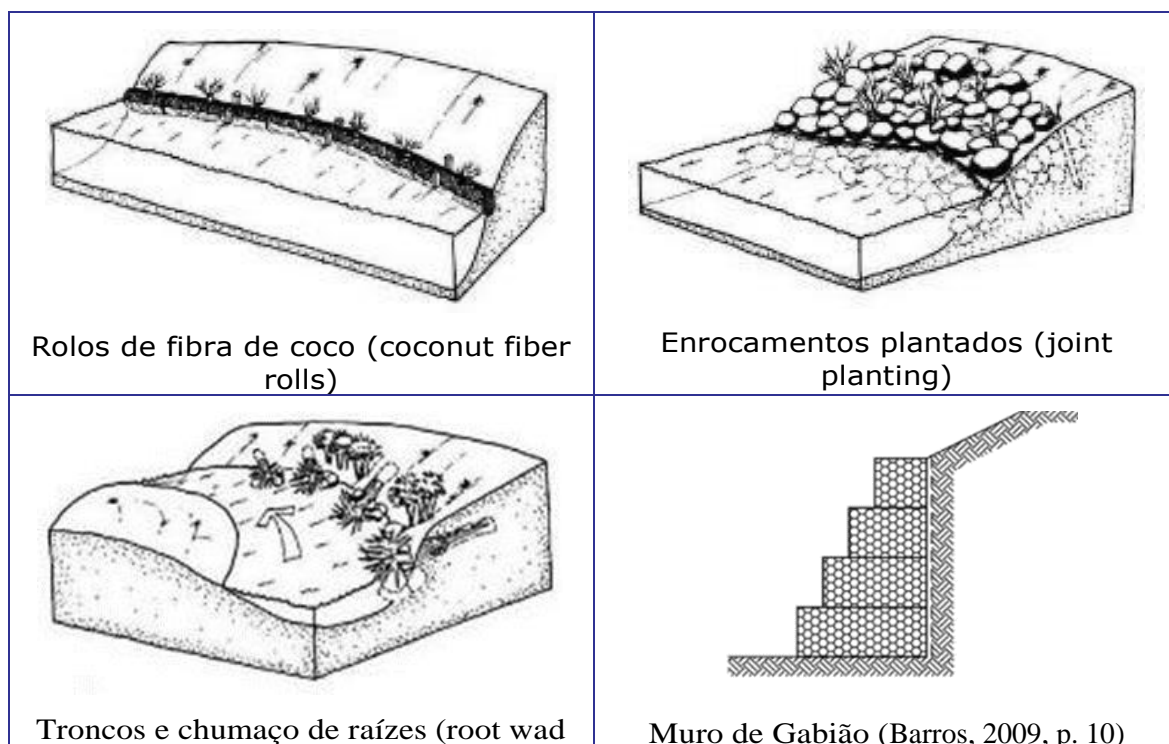


Figura 18 Soluções listadas acima, poderão ser consideradas para revestimentos de utilizando bioengenharia.

6.2.2.1.1.8 Dimensionamento do Enrocamento

Para as seções tipo em que se faz necessária a implantação de enrocamento – B1, C1 e E – será realizado o dimensionamento do tamanho médio dos blocos (D50). O dimensionamento do D50 será realizado segundo metodologia proposta no documento Hydraulic Design of Flood Control Channels do USACE (1994). O D50 mínimo a ser adotado no projeto foi definido igual a 300 mm (pedra de mão). Assim, a partir das informações de profundidade do fluxo e velocidade do escoamento determinados na modelagem hidráulica para a vazão de 10 anos de tempo de retorno, o D50 é calculado adotando-se o valor imediatamente superior disponível.

6.2.2.1.1.9 Definição dos subtipos de seção dos projetos

Cada seção tipo apresenta uma variação de subtipos que são estabelecidos segundo condições específicas de campo e informações de projeto obtidas a partir da modelagem hidráulica. O critério para definição do subtipo é baseado, principalmente, nas seguintes informações:

- Altura do talude da calha, estimada no levantamento de campo realizado para cada área prioritária e não prioritária;
- Velocidade do escoamento estimada para a vazão com tempo de retorno de 10 (dez) anos, obtida a partir da modelagem hidráulica apresentada anteriormente. Nos trechos em curva a velocidade média obtida na modelagem (VM) foi majorada para as margens externas ou opostas à direção da curva (VE) e reduzida para as margens internas (VI), considerando a seguinte proporção: $VE=1,33VM$ e $VI=0,67VM$. (WATER MANAGEMENT BRANCH, 2000).

A descrição dos subtipos e os critérios associados estão apresentados a seguir na Tabela 5.

Tabela 5: Descrição e critérios para definição dos subtipos.

Tipo	Subtipo	Descrição	Solução de bioengenharia	Critério de Projeto
A	A1	Talude revestido com biomanta; instalação de um retentor de sedimentos no pé do talude	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco	$h \leq 1,5$ m
	A2	Talude revestido com biomanta; instalação de dois retentores de sedimentos no pé do talude	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco	$h > 1,5$ m
B	B1	Talude revestido com enrocamento até 0,15 m acima do NA_{Q2} e biomanta até fim do talude ou NA_{Q10}	Biomanta tridimensional + Enrocamentos simples ou plantados	$V_{Q10} > 1,75$ m/s
	B2	Talude revestido com biomanta; instalação de um retentor de sedimentos no pé do talude	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco	$V_{Q10} \leq 1,75$ m/s e $h \leq 1,5$ m
B	B3	Talude revestido com biomanta; instalação de dois retentores de sedimentos no pé do talude	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco	$V_{Q10} \leq 1,75$ m/s e $1,5 < h \leq 2,5$ m
	B4	Talude revestido com biomanta; instalação de dois retentores de sedimentos no pé do talude e um retentor na altura do NA_{Q10}	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco	$V_{Q10} \leq 1,75$ m/s e $2,5 < h \leq 5$ m
	B5	Possível implantação de berma intermediária na altura do NA_{Q10} ; talude revestido com biomanta; instalação de dois retentores de sedimentos no pé do talude e um retentor na berma intermediária	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco + Rolos de galhos	$V_{Q10} \leq 1,75$ m/s e $5 < h \leq 7,5$ m
C	C1	Talude revestido com enrocamento até 0,15 m acima do NA_{Q2} e biomanta até fim dos taludes	Biomanta tridimensional + Enrocamentos simples ou plantados	$V_{Q10} > 1,75$ m/s
	C2	Taludes revestidos com biomanta; instalação de dois	Biomanta tridimensional + Rolos de fibra de coco	$V_{Q10} \leq 1,75$ m/s

Tipo	Subtipo	Descrição	Solução de bioengenharia	Critério de Projeto
		retentores de sedimentos no pé do talude		
D	D1	Preenchimento de ravinas com retentor de sedimentos	Rolos de fibra de coco + Rolo de Galhos	Identificação visual
	D2	Implantação de paliçada de madeira ou bambu em erosões na crista do talude	Rolos de fibra de coco + Estacas Vivas ou Rolo de Galhos	
	D3	Preenchimento de sulcos com retentor de sedimentos	Rolos de fibra de coco + Troncos e chumaço de raízes	
	D4	Preenchimento de concavidade erosiva no pé do talude com retentor de sedimentos	Rolos de fibra de coco + Troncos e chumaço de raízes	
	D5	Aplicação de semeio manual ou hidrossemeadura em áreas onde foram removidos galhos e troncos caídos	Biomanta bi e tridimensional + Rolos de fibra de coco	Identificação visual e $h \leq 1,5$ m
	D6	Aplicação de semeio manual ou hidrossemeadura em áreas de solo exposto com vegetação deficiente	Biomanta bi e tridimensional + Rolos de fibra de coco	
	D7	Implantação de um retentor de sedimentos no pé de talude revegetado que apresente rejeitos e risco de erosão	Biomanta bi e tridimensional + Rolos de fibra de coco	
	D8	Implantação de dois retentores de sedimentos no pé de talude revegetado que apresente rejeitos e risco de erosão	Biomanta bi e tridimensional + Rolos de fibra de coco	
E	-	Talude revestido com enrocamento até 0,5 m acima do NA_{Q10}	Biomanta bi e tridimensional + Enrocamentos simples ou plantados	Identificação visual

Obs.: **h**: altura do talude na margem; **V_{Q10}**: velocidade do escoamento estimada para a vazão com 10 anos de tempo de retorno; **NA_{Q2}**: nível de água estimado para a vazão com 2 anos de tempo de retorno; **NA_{Q10}**: nível de água estimado para a vazão com 10 anos de tempo de retorno.

6.2.2.1.1.10 Desenhos

Os desenhos são a representação física dos resultados do projeto de recuperação dos rios principais. Além dos desenhos das seções tipo e especificações técnicas, para cada área prioritária foram produzidos:

- Plantas: apresenta a topografia local, eixo do canal, indicações das seções tipo por trecho, nível d'água para as vazões de 2 e 10 anos de tempo de retorno, APP, tributários, acessos e limite da área impactada;

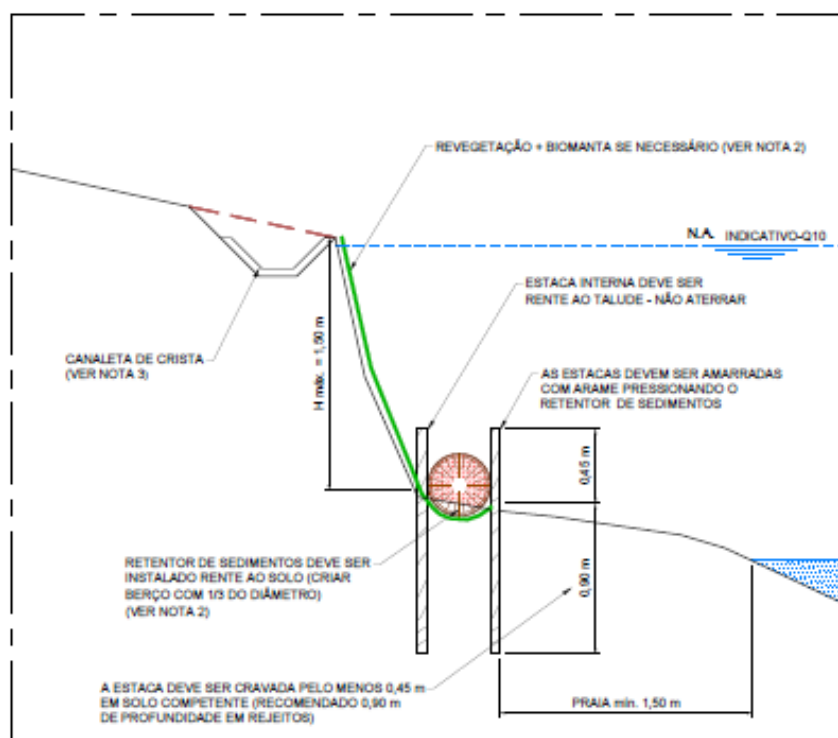


Figura 19: Exemplo de seção tipo A1 – Talude com altura máxima de 1,5m Fonte: Projeto Golder Associates.

- Tabelas resumo do dimensionamento: apresenta as estacas, coordenadas, níveis d'água para as vazões de 2 e 10 anos de tempo de retorno, seções tipo, tipo de proteção de pé e tamanho de enrocamento, e velocidades para as vazões de 2 e 10 anos de tempo de retorno.

No caso das áreas não prioritárias, além destes, foram produzidos desenhos indicando o sistema de drenagem superficial.

O nível de detalhe dos desenhos emitidos equivale a um projeto básico de engenharia, uma vez que faz uso de seções típicas. Considerou-se que este nível de detalhe é adequado ao projeto de recuperação dos rios principais uma vez que se trata de uma obra de recuperação ambiental e do caráter emergencial do trabalho.

Nesse contexto, alguma variação de projeto é permitida para refletir as condições de campo, sendo devidamente acompanhadas pelo ATO responsável. Eventuais desvios em relação ao projeto são registrados nos RDO e nos desenhos *As Built*.

6.2.2.2 Reabilitação de Tributários

Tributários são cursos d'água afluentes aos rios principais, no caso deste Projeto, referentes ao (córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce) por onde o fluxo de detritos sólidos e água passou. Houve impactos severos pela deposição de rejeitos e sedimentos nas calhas e margens dos tributários, principalmente nas regiões mais próximas à foz, área que coincide com as planícies de inundação dos rios principais.

O comprimento médio do trecho impactado dos tributários do rio Gualaxo do Norte é de cerca de 300 m e as dimensões da seção de escoamento, geralmente, são da ordem de 2 m de largura de base e 1 m de altura de margem. Uma estimativa aproximada da quantidade de material manejado, considerando o volume de rejeitos dentro da calha como o produto da base do canal pela altura da margem e pelo comprimento impactado, resulta em 600 m³ de material em média por tributário. Considerando intervenção em 85 tributários, o volume de rejeitos manejado na bacia do Gualaxo do Norte é da ordem de 51.000 m³. A título de comparação, de acordo com as estimativas dos estudos geomorfológicos, o volume de rejeitos depositado nas planícies de inundação do rio Gualaxo do Norte é da ordem de 5,0 Mm³, o que corresponde a cerca de 1% do volume de rejeitos depositado nas planícies de inundação da bacia do rio Gualaxo do Norte.

Fazendo uma comparação entre as áreas de contribuição das bacias de drenagem do rio Gualaxo do Norte e de seus afluentes, temos que a soma das áreas de drenagem dos tributários impactados (249 km²), representa 45% da área total da bacia do rio Gualaxo do Norte na sua foz junto ao Carmo (559 km²). Considerando que a vazão é proporcional a área de contribuição da bacia de drenagem, a vazão dos tributários impactados equivale à 45% da vazão do rio Gualaxo do Norte.

Concluindo o exercício, observa-se que, manejando apenas 1% do volume de rejeitos depositados, é possível afetar positivamente a qualidade da água de 45% da vazão do rio Gualaxo do Norte. Portanto, uma ação eficaz e eficiente, como mencionado anteriormente. A efetividade das ações de recuperação

ambiental de tributários poderá ser demonstrada pelos bons resultados do monitoramento de qualidade de água dos tributários.

O material removido da calha dos tributários será depositado em áreas impactadas pelo evento nas planícies de inundação no entorno do próprio curso d'água. Considerando que a área impactada média no entorno dos tributários é de 2,69 ha, o espalhamento do material da calha (600 m³) na planície de inundação de cada tributário resulta em uma camada de apenas 2 cm. Cabe ressaltar que, quando da concepção do projeto de recuperação ambiental de tributários, ainda não havia diretriz sobre o manejo de rejeitos determinando se deveria ser feita a remoção e disposição do material em outro local ou a estabilização in situ. Neste contexto, optou-se pela estabilização in situ de maneira temporária, até que houvesse tal definição. As áreas das planícies de inundação foram alvo de trabalhos da revegetação, seja no âmbito da revegetação inicial emergencial (cláusula 158), seja no âmbito dos trabalhos de regularização das margens, calhas e controle de erosão (cláusula 160).

As ações de reabilitação ambiental de tributários envolverão basicamente: a limpeza dos cursos d'água incluindo a remoção dos rejeitos presentes na calha e a reconstrução de uma seção de escoamento adequada, incluindo a proteção de margens para evitar novos aportes de sedimentos e rejeitos aos cursos de água. Vale lembrar que o objetivo das obras de implementadas até o momento foi a estabilização física do ambiente para possibilitar etapas futuras da recuperação do ecossistema via recomposição da vegetação florestal.

Mesmo tendo iniciado em uma fase emergencial, a reabilitação será embasada por estudos técnicos e realizada de acordo com projetos de bioengenharia específicos para cada tributário. A fim de subsidiar os projetos, foi realizado um estudo de alternativas onde serão avaliadas diferentes técnicas de proteção de canais incluindo desde métodos baseados no uso de enrocamento e técnicas de bioengenharia como as listadas por Li e Eddleman (2002).

A lista dos tributários mapeados com as respectivas coordenadas está apresentada na Tabela 06. O número de tributários listados totaliza 114, sendo 103 projetos, 5 tributários sem acesso (TG07, TG08, TG09, TG12 e TG12A), 5 tributários em que não são necessárias intervenções (TG17A, TG17C, TG24A,

TG42A e TD04), além do TG04 que coincide com a área prioritária 4 e, por isso, teve seu projeto emitido, porém cancelado.

Tabela 06: Lista de tributários mapeados.

#	Nome	Código	Coordenadas UTM de referência (Fuso 23S, datum SIRGAS 2000)	
			E (m)	N (m)
1	Tributário 01 do Rio Gualaxo do Norte	TG01	665.129	7.758.864
2	Tributário 01A do Rio Gualaxo do Norte	TG01A	664.483	7.758.512
3	Tributário 01B do Rio Gualaxo do Norte	TG01B	664.427	7.758.613
4	Tributário 02 do Rio Gualaxo do Norte	TG02	664.841	7.759.291
5	Tributário 03 do Rio Gualaxo do Norte	TG03	665.541	7.759.718
6	Tributário 04 do Rio Gualaxo do Norte	TG04	666.336	7.759.034
7	Tributário 05 do Rio Gualaxo do Norte	TG05	665.677	7.760.602
8	Tributário 06 do Rio Gualaxo do Norte	TG06	666.182	7.761.358
9	Tributário 07 do Rio Gualaxo do Norte	TG07	666.718	7.760.715
10	Tributário 08 do Rio Gualaxo do Norte	TG08	667.550	7.760.370
11	Tributário 09 do Rio Gualaxo do Norte	TG09	668.765	7.761.597
12	Tributário 10 do Rio Gualaxo do Norte	TG10	669.273	7.760.107
13	Tributário 11 do Rio Gualaxo do Norte	TG11	669.586	7.759.664
14	Tributário 11A do Rio Gualaxo do Norte	TG11A	670.005	7.759.812
15	Tributário 12 do Rio Gualaxo do Norte	TG12	670.692	7.759.650
16	Tributário 12A do Rio Gualaxo do Norte	TG12A	670.726	7.759.189
17	Tributário 13 do Rio Gualaxo do Norte	TG13	671.744	7.759.786
18	Tributário 14 do Rio Gualaxo do Norte	TG14	673.192	7.761.384
19	Tributário 14A do Rio Gualaxo do Norte	TG14A	672.970	7.761.357
20	Tributário 14B do Rio Gualaxo do Norte	TG14B	673.566	7.761.324
21	Tributário 15 do Rio Gualaxo do Norte	TG15	673.950	7.760.328
22	Tributário 16 do Rio Gualaxo do Norte	TG16	674.869	7.760.589
23	Tributário 17 do Rio Gualaxo do Norte	TG17	675.051	7.760.139
24	Tributário 17A do Rio Gualaxo do Norte	TG17A	675.973	7.757.461
25	Tributário 17B do Rio Gualaxo do Norte	TG17B	676.939	7.758.354
26	Tributário 17C do Rio Gualaxo do Norte	TG17C	677.241	7.758.059
27	Tributário 17D do Rio Gualaxo do Norte	TG17D	674.849	7.759.900

#	Nome	Código	Coordenadas UTM de referência (Fuso 23S, datum SIRGAS 2000)	
			E (m)	N (m)
28	Tributário 17E do Rio Gualaxo do Norte	TG17E	675.591	7.757.386
29	Tributário 18 do Rio Gualaxo do Norte	TG18	677.706	7.758.140
30	Tributário 19 do Rio Gualaxo do Norte	TG19	677.999	7.757.672
31	Tributário 20 do Rio Gualaxo do Norte	TG20	677.721	7.757.228
32	Tributário 20A do Rio Gualaxo do Norte	TG20A	678.108	7.756.417
33	Tributário 21 do Rio Gualaxo do Norte	TG21	678.291	7.756.151
34	Tributário 22 do Rio Gualaxo do Norte	TG22	678.959	7.755.962
35	Tributário 21A do Rio Gualaxo do Norte	TG21A	679.689	7.755.263
36	Tributário 21B do Rio Gualaxo do Norte	TG21B	679.723	7.755.157
37	Tributário 23 do Rio Gualaxo do Norte	TG23	680.923	7.755.776
38	Tributário 24 do Rio Gualaxo do Norte	TG24	681.342	7.755.196
39	Tributário 24A do Rio Gualaxo do Norte	TG24A	681.506	7.755.426
40	Tributário 25 do Rio Gualaxo do Norte	TG25	682.025	7.754.803
41	Tributário 26 do Rio Gualaxo do Norte	TG26	682.186	7.755.157
42	Tributário 27 do Rio Gualaxo do Norte	TG27	682.609	7.754.948
43	Tributário 28 do Rio Gualaxo do Norte	TG28	682.352	7.754.632
44	Tributário 29 do Rio Gualaxo do Norte	TG29	682.781	7.753.741
45	Tributário 30 do Rio Gualaxo do Norte	TG30	683.689	7.753.828
46	Tributário 30A do Rio Gualaxo do Norte	TG30A	684.160	7.754.626
47	Tributário 30B do Rio Gualaxo do Norte	TG30B	684.509	7.754.556
48	Tributário 31 do Rio Gualaxo do Norte	TG31	684.854	7.753.970
49	Tributário 31A do Rio Gualaxo do Norte	TG31A	685.153	7.754.335
50	Tributário 31B do Rio Gualaxo do Norte	TG31B	685.295	7.753.547
51	Tributário 32 do Rio Gualaxo do Norte	TG32	686.202	7.753.547
52	Tributário 32A do Rio Gualaxo do Norte	TG32A	686.298	7.753.749
53	Tributário 33 do Rio Gualaxo do Norte	TG33	686.260	7.754.261
54	Tributário 34 do Rio Gualaxo do Norte	TG34	686.901	7.754.950
55	Tributário 35 do Rio Gualaxo do Norte	TG35	687.423	7.754.183
56	Tributário 36 do Rio Gualaxo do Norte	TG36	687.883	7.754.014

#	Nome	Código	Coordenadas UTM de referência (Fuso 23S, datum SIRGAS 2000)	
			E (m)	N (m)
57	Tributário 37 do Rio Gualaxo do Norte	TG37	688.152	7.754.638
58	Tributário 37A do Rio Gualaxo do Norte	TG37A	688.299	7.754.662
59	Tributário 38 do Rio Gualaxo do Norte	TG38	688.646	7.754.390
60	Tributário 39 do Rio Gualaxo do Norte	TG39	688.852	7.754.855
61	Tributário 39A do Rio Gualaxo do Norte	TG39A	688.644	7.755.339
62	Tributário 40 do Rio Gualaxo do Norte	TG40	688.378	7.755.793
63	Tributário 40A do Rio Gualaxo do Norte	TG40A	688.528	7.755.868
64	Tributário 41 do Rio Gualaxo do Norte	TG41	688.146	7.756.153
65	Tributário 42 do Rio Gualaxo do Norte	TG42	688.097	7.757.513
66	Tributário 42A do Rio Gualaxo do Norte	TG42A	689.252	7.757.541
67	Tributário 43 do Rio Gualaxo do Norte	TG43	689.443	7.757.076
68	Tributário 44 do Rio Gualaxo do Norte	TG44	691.868	7.756.884
69	Tributário 45 do Rio Gualaxo do Norte	TG45	692.561	7.756.565
70	Tributário 46 do Rio Gualaxo do Norte	TG46	693.026	7.757.474
71	Tributário 47 do Rio Gualaxo do Norte	TG47	693.784	7.757.865
72	Tributário 47A do Rio Gualaxo do Norte	TG47A	694.557	7.758.269
73	Tributário 47B do Rio Gualaxo do Norte	TG47B	694.656	7.758.342
74	Tributário 48 do Rio Gualaxo do Norte	TG48	695.324	7.757.676
75	Tributário 49 do Rio Gualaxo do Norte	TG49	695.658	7.758.922
76	Tributário 49A do TG49	TG49A	695.711	7.758.879
77	Tributário 49B do Rio Gualaxo do Norte	TG49B	696.359	7.758.915
78	Tributário 49C do Rio Gualaxo do Norte	TG49C	696.461	7.758.905
79	Tributário 49D do Rio Gualaxo do Norte	TG49D	697.571	7.758.108
80	Tributário 49E do Rio Gualaxo do Norte	TG49E	698.145	7.757.709
81	Tributário 49F do Rio Gualaxo do Norte	TG49F	699.315	7.758.190
82	Tributário 49G do Rio Gualaxo do Norte	TG49G	699.467	7.758.186
83	Tributário 50 do Rio Gualaxo do Norte	TG50	699.626	7.757.221
84	Tributário 51 do Rio Gualaxo do Norte	TG51	699.219	7.756.878
85	Tributário 52 do Rio Gualaxo do Norte	TG52	699.611	7.756.305

#	Nome	Código	Coordenadas UTM de referência (Fuso 23S, datum SIRGAS 2000)	
			E (m)	N (m)
86	Tributário 53 do Rio Gualaxo do Norte	TG53	699.857	7.755.954
87	Tributário 53A do Rio Gualaxo do Norte	TG53A	700.596	7.756.382
88	Tributário 54 do Rio Gualaxo do Norte	TG54	700.370	7.755.751
89	Tributário 54A do Rio Gualaxo do Norte	TG54A	700.643	7.755.734
90	Tributário 54B do Rio Gualaxo do Norte	TG54B	701.171	7.756.160
91	Tributário 55 do Rio Gualaxo do Norte	TG55	701.381	7.755.860
92	Tributário 56 do Rio Gualaxo do Norte	TG56	701.800	7.756.072
93	Tributário 56B do Rio Gualaxo do Norte	TG56B	701.987	7.755.731
94	Tributário 01 do Rio do Carmo	TC01	704.841	7.756.368
95	Tributário 01A do Rio do Carmo	TC01A	703.245	7.754.988
96	Tributário 01B do Rio do Carmo	TC01B	702.752	7.755.800
97	Tributário 01C do Rio do Carmo	TC01C	703.694	7.755.870
98	Tributário 02 do Rio do Carmo	TC02	705.110	7.756.677
99	Tributário 03 do Rio do Carmo	TC03	705.913	7.755.811
100	Tributário 03A do Rio do Carmo	TC03A	706.704	7.756.239
101	Tributário 04 do Rio do Carmo	TC04	709.456	7.757.055
102	Tributário 04A do Rio do Carmo	TC04A	709.498	7.757.095
103	Tributário 05 do Rio do Carmo	TC05	709.996	7.757.180
104	Tributário 06 do Rio do Carmo	TC06	708.924	7.758.074
105	Tributário 07 do Rio do Carmo	TC07	710.582	7.759.442
106	Tributário 08 do Rio do Carmo	TC08	711.494	7.759.040
107	Tributário 08A do Rio do Carmo	TC08A	713.553	7.756.786
108	Tributário 09 do Rio do Carmo	TC09	714.199	7.757.014
109	Tributário 09A do Rio do Carmo	TC09A	715.426	7.756.834
110	Tributário 10 do Rio do Carmo	TC10	715.949	7.756.480
111	Tributário 01 do Rio Doce	TD01	717.393	7.758.610
112	Tributário 02 do Rio Doce	TD02	719.190	7.758.899
113	Tributário 03 do Rio Doce	TD03	726.244	7.764.629
114	Tributário 04 do Rio Doce	TD04	727.388	7.765.701

6.2.2.2.1 Estudos hidrológicos

6.2.2.2.1.1 Pluviometria

Os estudos pluviométricos serão realizados a partir dos dados das estações regionais da ANA e do monitoramento local realizado pela Samarco.

A região de estudo será dividida em duas áreas de acordo com as suas características pluviométricas:

- Área A: da região da Samarco até o tributário TG43, inclusive; e
- Área B: a partir do tributário TG44, inclusive, e todos os demais tributários a jusante.

6.2.2.2.1.2 Chuva de Projeto

As alturas de chuva de projeto serão obtidas a partir de uma análise da frequência das precipitações diárias máximas anuais para as séries históricas selecionadas. O ano hidrológico da região de estudo (1º de outubro de um determinado ano a 30 de setembro do ano consecutivo) foi considerado para determinar a precipitação máxima anual.

A análise da frequência das séries de máximos anuais foi realizada utilizando o software ALEA (Análise de Frequência Local de Eventos Anuais) desenvolvido por Lima e Naghettini (2016). Para calcular o evento máximo de chuva de 24 horas os valores de precipitação de um (1) dia de duração foram multiplicados por um fator de ajuste fixo igual a 1,14, conforme recomendado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1986). O coeficiente de desagregação (C24) sugerido por Silveira (2000) foi utilizado para transformar a altura de precipitação de 24 horas em eventos com durações inferiores para todos os períodos de retorno.

6.2.2.2.1.3 Fluviometria

A análise de frequência para as vazões máximas anuais registradas na estação fluviométrica Fazenda Ocidente foi realizada através do software ALEA (LIMA e NAGHETTINI, 2016). O ano hidrológico (1º de outubro de um determinado ano a 30 de setembro do ano consecutivo) foi considerado para determinar as

vazões máximas anuais. Entre as distribuições estudadas, a distribuição de Gumbel foi selecionada.

Para o período de retorno de 1,01 ano foi adotado o menor valor de vazão da série de máximos anuais, que corresponde ao mesmo período de retorno considerando a probabilidade empírica. O tempo de retorno de 1,01 ano apresenta uma probabilidade de excedência de $1/1,01 = 0,99\%$. As vazões de projeto foram calculadas por meio de diferentes metodologias conforme o tamanho da área de drenagem da bacia do tributário. A seção hidráulica da calha principal dos tributários será dimensionada para uma vazão de projeto com 1,01 ano de tempo de retorno (Q1.01). Essa recorrência foi selecionada pois foi verificado em campo que, geralmente, equivale à descarga normal natural com a calha completamente cheia.

6.2.2.2 Dimensionamento Hidráulico

Em alguns tributários será possível identificar a seção original de escoamento, mesmo após o impacto. Isto é mais comum nos tributários de maior vazão e declividade, onde o próprio escoamento foi capaz de carrear o material depositado pelo evento para os cursos de água principais. Nestes casos, será mantida a seção de escoamento original, aplicando-se as proteções, onde necessário.

Nos tributários onde a calha foi mais severamente impactada ou se encontra completamente preenchida com rejeito, não será possível identificar a seção original de escoamento. Nestes casos são necessárias a remoção do material através de escavação e a conformação da seção.

Nos casos onde houve conformação da seção, o dimensionamento hidráulico da seção transversal dos tributários será realizado por meio da aplicação da equação de Manning,

O coeficiente de Manning adotado será 0,04, tendo em vista as opções de revestimento em rocha, bioengenharia ou terreno natural. O valor adotado está de acordo com as recomendações para canais naturais com largura inferior à 30 m propostas por Chow (1959). Considera-se que a declividade da linha d'água

é equivalente à declividade da calha, determinada a partir da base topográfica disponível para cada tributário.

Será adotada a geometria trapezoidal para o dimensionamento das seções. A partir da definição das dimensões da largura da base do canal (b) e altura da lâmina d'água (h), calcula-se a área (A) e o perímetro molhado (P), e determina-se a vazão que aquela seção é capaz de comportar. Esta vazão deve ser maior ou igual à vazão de projeto com 1,01 ano de tempo de retorno ($Q_{1.01}$).

6.2.2.2.3 Premissas e critérios de Projeto

As premissas do projeto de recuperação de córregos tributários estão em consonância com as diretrizes definidas no Plano de Manejo de Rejeitos e são as seguintes:

- Manter condições mais próximas do original (alinhamento e geomorfologia);
- Remover rejeitos da calha sempre que viável tecnicamente; e
- Promover calha estável.

Cabe ressaltar que em algumas exceções, poderá não ser possível atender a todas estas premissas, por exemplo, a reconstituição do traçado original do tributário poderá ser inviabilizada por inexistência de acesso ou questões de segurança operacional. Considera-se também, casos onde poderá não seria possível a remoção completa dos rejeitos até atingir terreno natural. Nestas situações, haverá revestimento total da calha do tributário de modo a isolar os rejeitos do fluxo hídrico natural e novos aportes de sedimentos para os rios principais.

O principal critério de projeto da reabilitação ambiental de tributários será a utilização da vazão de projeto com 1,01 ano de tempo de retorno ($Q_{1.01}$) para o dimensionamento das seções hidráulicas dos cursos d'água, nos casos onde será feita a reconformação de calha. Essa recorrência foi selecionada pois equivale à descarga normal natural destes cursos d'água com a calha completamente cheia.

Em projetos de recuperação ambiental de cursos d'água, diversos autores utilizam o conceito de channel-forming discharge, que é a vazão que determina

a dimensão da calha do curso d'água. Estes autores correlacionam esta vazão com um determinado tempo de retorno, que geralmente varia de 1 a 2 anos, podendo chegar a valores maiores (FISRWG, 2001).

No caso dos tributários afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, a adoção de vazões de projeto com tempo de retorno superior a 1,01 ano resultaria em estruturas de grandes dimensões, incompatíveis com os objetivos de projetos de dimensões que calhas maiores do que as observadas em campo.

6.2.2.2.4 Metodologia

A metodologia para reabilitação ambiental de tributários seguirá as etapas:

- Mapeamento inicial;
- Levantamento de campo;
- Proposição de seção de projeto;
- Elaboração do projeto:
- Construção com acompanhamento de campo;
- As Built;

6.2.2.2.4.1 Mapeamento inicial

O mapeamento inicial de tributários impactados será feito por meio de sensoriamento remoto usando ferramenta de sistema de informação geográfica (SIG). O objetivo deste mapeamento é identificar tributários elegíveis para as obras de reabilitação emergencial e os acessos a estes locais.

O SIG também será utilizado para:

- Delimitação de áreas afetadas: informação a ser apresentada nas plantas de projeto;
- Identificação do alinhamento original do tributário, antes do evento;
- Cálculo das áreas de drenagem de cada tributário: informação utilizada para cálculo de vazão de projeto.

6.2.2.2.4.2 Levantamento de campo

Cada tributário será alvo de levantamento de campo específico com objetivo de caracterizar o curso d'água e o grau de severidade dos impactos, bem como de subsidiar a proposição da seção de projeto.

Sempre que possível, será percorrida toda a extensão impactada do tributário. O curso d'água será dividido em trechos de acordo com as características da seção de escoamento e dos impactos observados. Geralmente o impacto nos trechos de montante foi menor do que nos trechos de jusante, ou seja, os trechos mais próximos do rio principal possuem maior quantidade de rejeito acumulado. Outra característica comum observada foi a existência de trechos com maior declividade e seções mais estreitas a montante e trechos com menor declividade e seções mais largas a jusante.

Durante os levantamentos de campo serão registradas as coordenadas do início e fim dos trechos impactados, com o auxílio de GPS. Também serão utilizadas coordenadas de campo para determinar o alinhamento in loco de cada curso d'água na situação pós evento.

O material do leito e das margens será caracterizado por inspeção visual e tátil, incluindo uma estimativa de espessura de rejeitos/ sedimentos depositados nestes ambientes utilizando uma haste de metal com 1 m de comprimento (varejão). O objetivo desta avaliação será basicamente a identificação do terreno natural ea característica do material (ex.: arenoso, argiloso, seixo rolado, afloramento rochoso). Serão realizadas medições das dimensões dos canais em cada trecho e a montante da área impactada. para os seguintes parâmetros: largura da base do canal, altura da lâmina d'água, altura das margens e inclinação dos taludes das margens.

6.2.2.2.4.3 Proposição de seção de projeto

A recomendação do tipo de revestimento de seção será feita em função das condições observadas durante o levantamento de campo. Conforme mencionado anteriormente, será realizado um estudo de alternativas para revestimento de canais utilizando diferentes técnicas de bioengenharia, conjugadas com enrocamento. serão definidas 12 seções típicas para a

recuperação dos tributários que serão aplicadas em função das condições de cada tributário e da severidade dos impactos. Estas opções podem ser combinadas ou ajustadas de acordo com as condições de campo. As seções típicas são apresentadas no Anexo 3 deste documento, descritas abaixo:

- **Opção 1 – Enrocamento – bermas:** esta opção é aplicável a áreas com grande espessura de rejeitos e sedimento, caracterizadas como aquelas mais severamente impactadas. A seção é conformada sobre manta geotêxtil, com leito em enrocamento e margens compostas por bermas de rocha;
- **Opção 2 – Enrocamento – margem e colchão:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. A seção é escavada até o solo competente e completamente revestida (base e taludes das margens) com rocha sobre manta geotêxtil. Uma pequena berma de enrocamento é construída na crista do talude para evitar o carreamento de rejeitos e sedimentos depositados na planície de inundação para dentro da calha;
- **Opção 3 – Enrocamento – margem e pé:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. É similar à opção 2, porém o enrocamento é colocado somente nos taludes das margens da seção. Uma pequena berma de enrocamento é construída na crista do talude para evitar o carreamento de rejeitos e sedimentos depositados na planície de inundação para dentro da calha;
- **Opção 4 – Enrocamento e vegetação – margem e pé:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. É similar à opção 3, mas inclui o estabelecimento de vegetação nos taludes internos das margens, junto com o enrocamento. Uma pequena berma de enrocamento é construída na crista do talude para evitar o carreamento de rejeitos e sedimentos depositados na planície de inundação para dentro da calha;
- **Opção 5 – Enrocamento e vegetação – margem e colchão:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais

rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. É similar à opção 2, mas inclui o estabelecimento de vegetação nos taludes internos das margens, junto com o enrocamento. Uma pequena berma de enrocamento é construída na crista do talude para evitar o carreamento de rejeitos e sedimentos depositados na planície de inundação para dentro da calha;

- **Opção 6 – Enrocamento e galhos – margem e pé:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. A seção é escavada até o solo competente, os pés dos taludes das margens são revestidos com enrocamento sobre manta geotêxtil e a face dos taludes são protegidas com galhadas. O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é limitado pela galhada que protege os taludes internos;
- **Opção 7 – Enrocamento e galhos – margem e colchão:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. É similar à opção 6, porém o enrocamento do pé do talude também é colocado sobre o leito. O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é limitado pela galhada que protege os taludes internos;
- **Opção 8 – Biomanta – margem e colchão:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente. A seção é escavada até o solo competente e toda a parte interna (leito e margens) é revestida com biomanta. A biomanta é ancorada na crista do talude e grampeada na parte interna da margem e fundo. O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é limitado pela biomanta. A eficiência da contenção de sedimentos aumenta após o estabelecimento da vegetação;
- **Opção 9 – Biomanta – margem e pé:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. É similar à opção 8, porém o revestimento com biomanta ocorre apenas no talude interno da margem. A biomanta é ancorada na crista do talude e grampeada na parte interna da margem. O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é

limitado pela biomanta. A eficiência da contenção de sedimentos aumenta após o estabelecimento da vegetação;

- **Opção 10 – Biomanta e enrocamento – margem e colchão:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. A seção é escavada até o solo competente e os taludes internos das margens são revestidos com biomanta. O leito é revestido com enrocamento sobre manta geotêxtil. O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é limitado pela biomanta. A eficiência da contenção de sedimentos aumenta após o estabelecimento da vegetação;
- **Opção 11 – Vegetação e tronco - margem:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. A seção é escavada até o solo competente e os taludes internos das margens são protegidos com vegetação. O pé do talude é protegido com troncos e galhos. O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é limitado pela vegetação das margens;
- **Opção 12 – Vegetação e rolo de fibra de coco – margem:** esta opção é recomendada para áreas com depósitos de rejeitos e sedimentos mais rasos em comparação com as áreas mais severamente impactadas. É similar à opção 11, porém o pé do talude é protegido com rolo de fibra de coco (ex.: retentor de sedimentos). O carreamento de rejeitos e sedimentos para o interior da calha é limitado pela vegetação das margens.

6.2.2.2.4.4 Elaboração do projeto

Após o levantamento de campo será feita a elaboração do projeto de cada tributário. O projeto consistirá basicamente em dimensionar a seção de escoamento de cada trecho do tributário, indicando o revestimento recomendado a partir do levantamento de campo. A seção calculada é ajustada em função das observações e medições do levantamento de campo. Para o dimensionamento da seção de escoamento, é necessário conhecer a vazão de projeto do tributário. A determinação da vazão é feita a partir da área de contribuição da bacia de drenagem e do regime de chuvas local.

Resumidamente os passos da elaboração do projeto são:

- Delimitação da área de contribuição da bacia de drenagem: feita através de ferramenta de SIG utilizando bases topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE);
- Cálculo da vazão de projeto usando método definido em função da área de drenagem e utilizando chuva de projeto;
- Definição do traçado do tributário: esta definição é feita a partir de imagens anteriores ao evento e informação de proprietários (quando disponível), e comparada com os pontos de GPS do levantamento de campo e a topografia disponível. Com o traçado e a topografia, é feita a determinação do perfil de declividade do leito para cada trecho;
- Dimensionamento da seção: a seção é dimensionada através na equação de Manning, utilizando a vazão de projeto e topografia (declividade). Também leva em consideração dimensões observadas durante o levantamento de campo;
- Produção dos desenhos: para cada tributário foram produzidos um par de desenhos, sendo um com planta e perfil e outro com seções típicas.

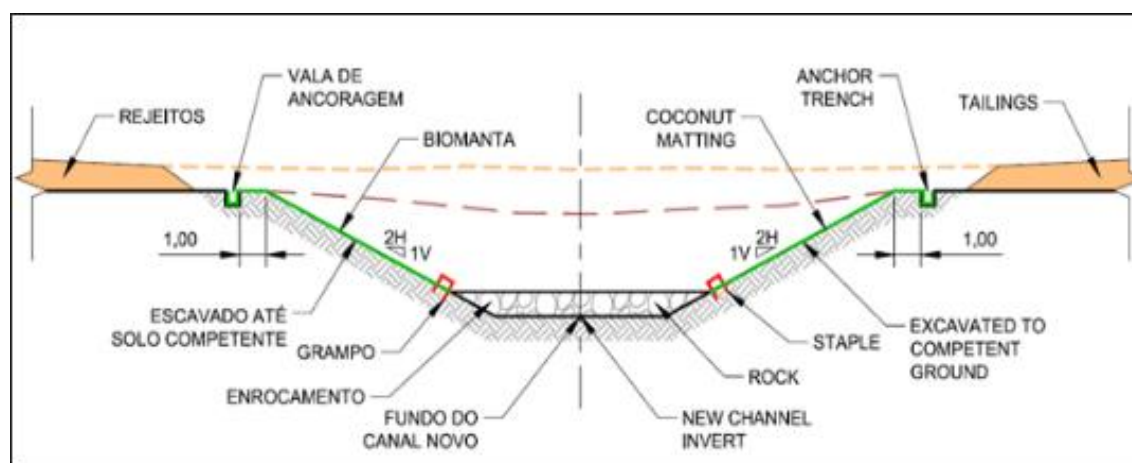


Figura 20: Exemplo de seção típica para a recuperação dos tributários – Biomanta e Enrocamento (Opção 10). Fonte: Projeto Golder Associates.

A seguir é apresentado o detalhamento da metodologia de elaboração do projeto. As informações topográficas a serem utilizadas para os projetos incluem os seguintes itens:

- Levantamento topográfico a laser (LiDAR) para as áreas impactadas;
- Levantamentos planialtimétricos para tributários específicos;
- Mapa topográfico do IBGE com curvas de nível em intervalos de 20 em 20 metros;
- Mapeamento dos vetores da malha hidrográfica IBGE na escala de 1:50.000.

Serão utilizados dados de monitoramento diário de precipitação e vazão disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016).

Os desenhos são a representação física dos resultados do projeto de recuperação dos tributários. Para cada tributário foram produzidos dois desenhos:

- Planta e Perfil: apresenta a topografia local indicando o traçado do tributário, os limites de cada trecho e a área impactada. Também indica os acessos e as estruturas de drenagem, como canaletas, descidas e bueiros;
- Seções: apresenta as seções típicas indicadas em cada trecho com as respectivas dimensões.

Os desenhos emitidos conterão as soluções propostas por segmento de tributário equivalente por meio de seções típicas. As adequações ou otimizações de projeto serão validadas com o acompanhamento de campo, sob supervisão da equipe de projetos (ATO), e registradas no registro diário de obra (RDO). Esta alternativa está diretamente relacionada ao escopo do projeto e ao caráter emergencial das obras.

6.2.2.2.4.5 Construção com acompanhamento de campo

O processo construtivo das intervenções será realizado conforme as seguintes etapas:

- Limpeza e conformação da área impactada;
- Direcionamento das drenagens do escoamento superficial e instalação de medidas de controle de erosão;
- Conformação de taludes da calha;

- Aplicação de revestimento na calha – seções tipo;
- Revegetação;
- Cercamento para proteção da vegetação, quando possível e/ou necessário;
- Monitoramento e manutenção.

As etapas de limpeza, remoção de rejeitos e conformação de taludes serão executadas com equipamento mecânico (escavadeiras) ou com trabalho manual (enxada), dependendo das condições de acesso.

A fim de reduzir os processos erosivos foi realizada a cobertura vegetal de rápido crescimento sobre o material depositado nas margens e planícies dos cursos de água impactados. Foram selecionadas espécies de germinação e crescimento rápidos em um mix de espécies gramíneas (para geração de biomassa) e leguminosas (para fixação de nitrogênio). As espécies foram selecionadas de modo a permitir o estabelecimento de uma futura sucessão ecológica da vegetação.

A lista final de espécies empregadas nos trabalhos contempla as mesmas espécies utilizadas no projeto de Plantio Emergencial. Na composição do mix procurou-se utilizar uma variedade de espécies com diferentes ciclos de vida e época de germinação. Os diferentes ciclos de vida permitem que haja um enriquecimento de matéria orgânica no substrato pela morte e incorporação das plantas anuais e bianuais, porém sem que a área fique descoberta em função da presença das plantas perenes. As diferentes épocas de germinação também contribuem para que a cobertura vegetal seja permanente, além de permitir que os trabalhos de revegetação sejam realizados com sucesso durante o ano todo.

Tabela 07: Lista de espécies para revegetação

Família	Nome Científico	Nome Popular	Hábito ¹	Ciclo de vida ²	Estação ³	Kg/ha
Fabaceae - Leguminosae	Crotalaria spp.	Chocalho de cascavel	H	An	V / I	30
	Cajanus cajan	Guandu	A	An	V	35
	Pueraria phaseoloides	Pueraria	L	P	V	25
	Glycine wightii	Soja-perene	L	P	V	10

Família	Nome Científico	Nome Popular	Hábito ¹	Ciclo de vida ²	Estação ³	Kg/ha
	Stylosanthes spp.	Estilosante	H	P	V	25
	Lupinus albus	Tremoço branco	H	An	I	30
	Vicia sativa	Ervilhaca	L	An	I	25
	Desmodium spp.	Pega-pega	H	P	V	10
	Trifolium repens	Trevo-branco	H	An ou Bi	I	10
	Lotus corniculatus	Cornichão	H	P	I	10
	Vigna unguiculata	Feijão-miúdo	H	An	V	15
Poaceae	Sorghum bicolor	Sorgo-forrageiro	H	An	V	20
Gramineae	Avena strigosa	Aveia-preta	H	An	I	35
	Cynodon dactylon	Capim-vaqueiro	H	P	V	5
	Lolium multiflorum	Azevém	H	An	I	15
TOTAL (Kg/ha)						300

Legenda: ¹ H – herbáceo / A – arbustivo / L – liana; ² An – Anual / P – Perene / Bi – Bianual; ³ V – Verão / I - Inverno

Também foram listadas espécies para substituição em caso de indisponibilidade de sementes no mercado:

- Opções para substituição de leguminosas:
 - ✓ Crotalaria juncea – crotalária;
 - ✓ Centrosema pubescens – centrosema;
 - ✓ Canavalia ensiformis – feijão de porco;
 - ✓ Helianthus annuus - girassol forrageiro (asteraceae).
- Opção para substituição de gramínea:
 - ✓ Pennisetum americanum – milheto.

Todas as obras de reabilitação dos rios principais e tributários e planícies de inundação serão executadas com acompanhamento técnico de obra (ATO), realizado por engenheiros com formação nas áreas de geotecnia e/ou ambiental sob a supervisão de especialistas em recursos hídricos.

O acompanhamento técnico de campo é fundamental neste processo, em virtude da situação dinâmica do ambiente e da evidente necessidade de otimizações de campo. Os mapeamentos e levantamentos de campo que

fornecerão subsídios para o projeto ocorrerão no final do período seco (setembro de 2016), época em que a vegetação será menos vigorosa. Com o início do período chuvoso, haverá um desenvolvimento significativo da vegetação em alguns locais e parte das seções possivelmente mapeadas como margem exposta.

Nesse contexto, alguma variação nas dimensões de projeto é permitida para refletir as condições de campo. Considera-se até que estas variações são positivas, uma vez que conferem um resultado mais natural à obra de recuperação. As variações em relação ao projeto são registradas nos desenhos *As Built (Como construído)*.

6.2.2.3 Critérios de avaliação e monitoramento das Taxas de Erosão em Planícies de Inundação

Processos erosivos constitui um fenômeno do desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes, como o vento. Carvalho (2008) classifica os processos erosivos em quatro tipos: erosão eólica, erosão hídrica superficial, erosão por remoção em massa e a erosão fluvial. No caso específico da erosão em planícies de inundação, o processo dominante é a erosão hídrica superficial causada pela precipitação e escoamento superficial resultante. A erosão hídrica superficial pode se processar nas seguintes formas:

- Erosão pluvial ou por embate: causada pelo impacto das gotas de chuva;
- Erosão laminar: se processa quando o solo superficial já está saturado, sendo produzida por um desgaste suave e uniforme da camada superficial do solo;
- Erosão por escoamento difuso ou erosão em sulcos: caracterizada por filetes de água que se dividem em braços que se espalham e se juntam constantemente infiltrando-se depois e depositando o material transportado. Este processo pode se intensificar de modo que os sulcos se tornem ravinas, mais profundas e com fluxo mais concentrado;
- Erosão por escoamento concentrado: forma mais intensa de erosão hídrica, pode ser provocada por falta de boa estrutura do solo, podendo resultar na formação de voçorocas.

Nas planícies impactadas pela deposição de rejeitos oriundo do rompimento da barragem de Fundão, após o evento os processos erosivos se desenvolviam com muita facilidade em função da característica do material depositado (granular, fino e não coesivo) e pela ausência de cobertura vegetal e de estrutura do solo. O material erodido das planícies era carregado para os cursos d'água causando impacto na qualidade da água e nos habitats aquáticos.

Com o objetivo de avaliar as taxas de erosão nas planícies de inundação impactadas pela deposição de material oriundo do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, serão construídas parcelas de monitoramento.

As parcelas de monitoramento serão instrumentadas para medir pluviometria e escoamento superficial, sendo que parte do escoamento superficial será coletado e enviado para laboratório para determinar a concentração de sólidos em suspensão, o que permitirá obter uma estimativa da quantidade de sedimentos carregados. Conhecendo a pluviometria, escoamento superficial e a quantidade de sedimentos carregados será possível caracterizar e quantificar o processo de erosão pluvial.

As parcelas de monitoramento serão construídas em blocos casualizados, sendo que cada bloco possuirá uma parcela de rejeito exposto, sem nenhum tipo de tratamento superficial (parcela controle), e repetições dos tratamentos aplicados nas planícies de inundação. A comparação das taxas de erosão dos diferentes tipos de tratamento com as taxas de erosão das parcelas controle (sem tratamento) permitirá avaliar a efetividade dos tratamentos na redução dos processos erosivos.

6.2.2.3.1 Parcelas de Monitoramento

O monitoramento será realizado por meio de parcelas com formato retangular com dimensões aproximadas de 25 x 5 m. A tabela 08 apresenta os detalhes previstos para cada parcela. Ressalta-se que a declividade é um fator de expressiva influência nos resultados deste trabalho. Esta condição, portanto, calibra a escolha das áreas e montagem dos testes, visando padronizar a variável.

Tabela 08: Dimensões das parcelas de monitoramento.

Local	Código	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade (%)
Área Prioritária 15	A15TCP0	25,0	5,0	4,0
	A15T1P1	25,0	5,0	4,0
Área Prioritária 15	A15T1P2	25,0	5,0	4,0
	A15T1P3	25,0	5,0	4,0
	Média T1	25,0	5,0	4,0
Área Prioritária 7	A7TCP0	25,0	5,0	4,0
	A7T2P1	25,0	5,0	4,0
	A7T2P2	25,0	5,0	4,0
	A7T2P3	25,0	5,0	4,0
	Média T2	25,0	5,0	4,0
	A7T3P1	25,0	5,0	4,0
	A7T3P2	25,0	5,0	4,0
	A7T3P3	25,0	5,0	4,0
	Média T3	25,0	5,0	4,0
Área Prioritária 10	A10TCP0	25,0	5,0	4,0
	A10T4P1	25,0	5,0	4,0
	A10T4P2	25,0	5,0	4,0
	A10T4P3	25,0	5,0	4,0
	Média T4	25,0	5,0	4,0

Diferentes técnicas de controle de erosão e revegetação serão adotadas no âmbito das intervenções de recuperação ambiental aplicadas no trecho entre a barragem de Fundão e o reservatório de Candonga. As soluções de controle de erosão utilizadas em maior escala serão reproduzidas para compor os tratamentos aplicados nas parcelas de monitoramento, conforme descrito abaixo:

- Tratamento 0 (TC): Tratamento controle
- Tratamento 1(T1): Coveamento + adubação + semeio manual + retentores de sedimentos;
- Tratamento 2(T2): Coveamento + adubação + semeio manual;
- Tratamento 3(T3): Coveamento + hidrossemeadura;

- Tratamento 4(T4): Coveamento + adubação + semeio manual + aplicação de biomantas antierosivas.

A cada um dos tratamentos serão aplicadas em 3 repetições como forma de reduzir incertezas em relação aos resultados. Parcelas controle, ou seja, parcelas com rejeito exposto, também serão empregadas sob as mesmas condições com o objetivo de fornecer parâmetro de comparação da eficácia dos tratamentos. A figura 21 mostra os diferentes tratamentos no estágio inicial de desenvolvimento.



Figura 21: Tratamentos a serem aplicados nas parcelas das áreas prioritárias 15 (A), 7(B) e 10 (C) no estágio inicial.

No total foram implantados três blocos de parcelas de monitoramento de erosão nas áreas prioritárias com tratamentos variados, totalizando 15 parcelas, conforme apresentado na Tabela 9

Tabela 09: Localização, quantidade e tipos de tratamento das parcelas de monitoramento de erosão.

Área	Quantidade de parcelas por tratamento					Total
	Controle	T1	T2	T3	T4	
Barra Longa (área prioritária 15)	1	3				4
Pedras (área prioritária 7)	1		3	3		7
Ponte do Gama (área prioritária 10)	1				3	4
Total	3	3	3	3	3	15

Na sequência na figura 22, são apresentados modelos dos conjuntos de parcelas considerando a estação seca e chuvosa, como o objetivo nas parcelas controle será avaliar o comportamento erosivo do rejeito com ausência total de vegetação, atividades de manutenção como capina manual e roçada serão empregadas nestas parcelas tomando-se o cuidado de não revolver a camada superficial de rejeito.



Figura 22: Vista aérea das parcelas a serem instaladas na área prioritária 15. Estação seca e chuvosa.

- **Caçambas Basculantes e Pluviômetro**

As parcelas de monitoramento serão instrumentadas para medir a precipitação na área e o escoamento superficial resultante em cada parcela. A precipitação será medida com pluviômetro e o escoamento com caçambas basculantes. A fim de permitir a comparação entre volumes de precipitação e escoamento superficial, as alturas de chuva medidas no pluviômetro serão transformadas em volume através da multiplicação pela área típica das parcelas (5 m x 25 m = 125 m²).

A Figura 23 apresenta um modelo esquemático dos conjuntos de parcelas a serem construídas para monitoramento do controle de erosão.

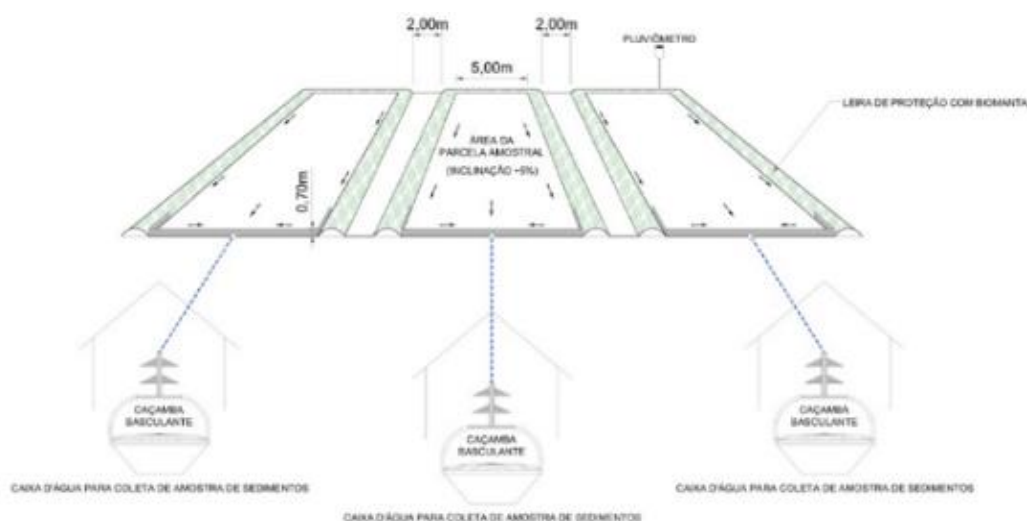


Figura 23: Modelo esquemático do conjunto de parcelas para o monitoramento das taxas de erosão.

As parcelas de monitoramento de erosão serão construídas com declividade na direção de um único ponto (Figura 24). no qual todo o escoamento superficial da parcela será coletado e direcionado por meio de uma tubulação para uma caçamba basculante (Figura 25).

A caçamba basculante é um equipamento capaz de medir e registrar o fluxo do escoamento superficial. Cada equipamento possui dois pares de caçambas de volumes conhecidos (0,5 L e 1,5 L) e é dotado de contadores e data loggers que registram cada vez que as caçambas basculam (Figura 26). O data logger que registra o número de vezes que as caçambas basculam durante uma chuva será o modelo HOBOTM PendantTM Event Data Logger (UA-003-64).

O pluviômetro utilizado em campo será o modelo HOBOTM Data Logging Rain Gauge RG4-M. O equipamento possui uma balança de plástico no seu interior cujo funcionamento é similar aos das caçambas (Figura 27Figura). No caso do pluviômetro, cada evento registrado corresponderá a 0,254 mm de precipitação. No caso das caçambas, cada evento corresponderá a 1,5 L, se for registrado no par de caçambas superior, ou 0,5 L se for registrado no par inferior.

A coleta de dados dos data loggers será feita com uma naveta, leitor ótico com interface USB. Os dados serão transferidos da naveta para um computador via cabo USB e a sua leitura feita com software específico (Hoboware). Os dados serão exportados para Excel para tratamento de dados e determinação dos volumes de pluviometria e escoamento superficial em cada parcela. Os eventos de chuva de cada conjunto de parcelas serão identificados e separados. Posteriormente são gerados hidrogramas para caracterizar cada evento.



Figura 24: Detalhe do ponto de coleta de escoamento superficial na



Figura 25: Vista de parcela ilustrando declividade em direção ao ponto de coleta.



Figura 26: Data Logger das caçambas basculantes HOBO® Pendant® Event Data Logger (UA-003-64).

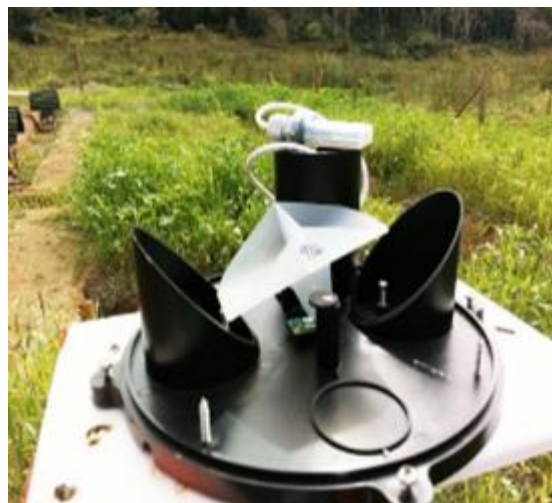


Figura 27: Pluviômetro a ser instalado nas parcelas da Área Prioritária 07.

Parte do fluxo contendo sedimentos que passa pela caçamba basculante será direcionada para uma caixa de coleta. Nessas caixas, são coletadas amostras do escoamento contendo os sedimentos carregados das parcelas. A Figura 2832 mostra o sistema completo formado por parcela, caçamba basculante e caixa coletora.



Figura 28: Sistema formado por caçamba basculante e caixa coletora implantado

6.2.2.3.1.1 Coleta de amostras de sedimentos do escoamento superficial, suficiência amostral e análises estatísticas

Serão registrados todos os eventos de chuvas no período entre março de 2017 e março de 2018. O evento é definido como uma chuva que gera escoamento superficial e coleta de amostra registrado em pelo menos uma parcela de monitoramento. O escoamento superficial será a porção do ciclo hidrológico que causa a erosão e é função de fatores climáticos (quantidade, intensidade e duração da chuva), fisiográficos (relevo e tipo de solo) e antrópicos (uso do solo).

A coleta de amostras será feita idealmente após cada evento chuvoso e inclui a completa homogeneização do material contido na caixa (água e sedimentos). Em cada coleta de material serão retiradas três alíquotas de 750 mL. A Figura 29 mostra os procedimentos de coleta de amostras para determinação da concentração de sólidos em suspensão total (SST) carregados pelos processos erosivos. A Figura 30 mostra um exemplo de amostragem em parcela tratada e controle. Ressalta-se a diferença no aspecto das amostras oriundas das parcelas controle e tratada.

Os resultados das medições de precipitação e escoamento superficial de todos os eventos registrados serão sistematizados contendo das seguintes informações: local, data, altura de chuva (mm), volume equivalente de chuva incidente na parcela (L), duração (h) e intensidade da chuva (mm/h), volumes de escoamento superficial em cada parcela (L) e hidrogramas.

Uma análise inicial dos dados abordará a relação entre precipitação versus escoamento superficial para cada área prioritária. Serão ajustadas linhas de tendência, para avaliação dos coeficientes de correlação linear (R^2). Com base nas equações das linhas de tendência será possível calcular o valor mínimo da chuva que gera escoamento superficial e, conseqüentemente, erosão. Este cálculo será feito assumindo escoamento superficial nulo ($y = 0$) e calculando o valor da precipitação (x). Deve-se considerar que as chuvas que causam escoamento nas parcelas controles serão sempre menores do que as chuvas que causam escoamento nas parcelas tratadas, para uma mesma área prioritária ou classe de declividade.

A fim de facilitar a análise do conjunto de dados, será utilizada a relação entre o volume do escoamento superficial da parcela com o volume de chuva para

cada evento. Esta relação corresponderá ao coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de run off. Será calculada a média dos coeficientes de todos os eventos para cada área e tipo de parcela (controle ou tratada).



Figura 29: Processo de homogeneização e amostragem para determinação da concentração de sólidos no escoamento proveniente das parcelas de monitoramento de erosão.



Figura 30: Exemplo de coleta de amostras em parcela controle (A) e tratada (B) e amostras resultantes enviadas ao laboratório (C)

6.2.2.3.1.2 Cálculo da taxa de erosão

De posse dos dados de escoamento superficial (volume) e das concentrações (massa/volume) de SST das amostras coletadas e conhecendo-se a área de cada parcela, foi feito o cálculo da perda de solo para cada evento:

$$\text{Perda de solo t/ha} = \frac{(\text{Escoamento superficial [volume]} \times \text{concentração } \left[\frac{\text{massa}}{\text{volume}} \right])}{\text{Área da parcela [área]}}$$

O somatório das perdas de solo de todos os eventos em uma dada área durante o período de um ano fornece a taxa de erosão daquela área e para aquele tipo de cobertura ou uso do solo. A taxa de erosão é comumente expressa em kg/(ha/ano).

6.2.2.4 Indicadores e metas

Os indicadores e metas estabelecidos para este programa são:

- “**Índice de Redução de Perda de Solo.**” O índice de redução de perda de solo nas parcelas de monitoramento será calculado por meio da metodologia descrita acima, comparando-se a o percentual de redução do aporte de sedimentos entre as parcelas com e sem tratamento por meio de bioengenharia. A meta definida para este indicador é a redução maior ou igual a 80% da perda de solo entre as parcelas tratadas e controle, ao final de ano hidrológico de 2017/2018, de modo compatível aos prazos estabelecidos na cláusula 160. De forma complementar, visando a atestar a efetividade das ações reabilitação a médio prazo, o monitoramento será realizado por 2 anos após o cumprimento da cláusula.

- “**Índice de solo exposto.**” O monitoramento do indicador “Índice de solo exposto” abrange da mesma forma as áreas passíveis de revegetação inicial por meio de gramíneas e leguminosas herbáceas para fins de reabilitação, e visa avaliar a necessidade de novas intervenções até a fase estruturada da recuperação, seja por meio da recomposição da vegetação nativa ou por meio da reestruturação dos sistemas produtivos agrícolas.

Para o levantamento das áreas de solo exposto passíveis de revegetação, foram considerados os seguintes dados:

- Arquivo vetorial contendo o índice de vegetação (NDVI), sendo considerado a classe de não vegetação. Este índice refere-se do levantamento por meio de geoprocessamento sob a imagem de satélite, SENTINEL 2, período de janeiro de 2018.
- Arquivo vetorial das áreas em processo de recuperação definidas no estudo “Áreas Passíveis de Revegetação no Âmbito da Cláusula 159” (Golder, 2017). Foram usadas nesta avaliação as seguintes classes: 1.a. Florestas afetadas (extensão pretérita); 1.b. APPs dos rios a serem recuperadas (cursos d'água atuais); 1.c. APPs dos tributários a serem recuperados (cursos d'água atuais); 4.c. Uso agropecuário afetado pelo evento fora de APP*; 4.d. Uso agropecuário em APP passível de regularização (Uso Rural Consolidado), quando couber.

- A partir destes será verificada a interseção entre as áreas classificadas como “não vegetação” e as classes vetoriais com o objetivo de obter por meio da análise por NDVI as áreas com presença de solo exposto, quantificadas em hectares.

A meta definida para este índice considera a porcentagem de solo exposto igual ou inferior a 20% da área passível de revegetação, medido em periodicidade anual, tendo como prazo para atingimento o final do ano hidrológico de 2017/2018. Índices medidos acima da meta estabelecida, requer novas intervenções de manutenção do plantio e/ou reavaliação dos sistemas de drenagem.

Ressalta-se que este quantitativo será aferido em um segundo momento, ao longo dos trabalhos do Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias, Restauração Florestal e implementação do Plano de Adequação Socioeconômica e Ambiental – PASEA, cujas ações de intervenção nas áreas impactadas constituem diferentes estratégias e metodologias. Na prática, a revegetação inicialmente utilizadas especificamente para fins de reabilitação de solo será substituída, seja pela implantação das florestas nativas nas zonas ripárias ou pela restituição dos sistemas produtivos agrícolas.

7.0 Projeto de Restauração florestal em propriedades Rurais

7.1 Objetivo

Recuperar as áreas de APP e remanescentes de vegetação nativa inseridas nas áreas impactados na ÁREA AMBIENTAL 1, localizadas nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado - MG.

7.2 Premissas

Considera-se para execução deste Projeto que a demarcação das faixas de APP a serem recuperadas se deem por meio do dimensionamento exigido na legislação florestal, conforme o módulo fiscal da propriedade, a chamada recuperação “em escadinha”, em adimplemento às diretrizes estabelecidas pela Lei Federal nº 12.651/2012, e, quando couber, pela lei nº.11.428/2006, até a regulamentação do Programa de Regularização Ambiental no estado de MG.

As soluções para recomposição da vegetação nas áreas ripárias e remanescentes florestais impactados deverão considerar alternativas que associem a restauração ecológica com a geração de oportunidades e renda ao proprietário rural, criando estímulos para adoção de sistemas produtivos e alternativas de produção sustentável, tais como sistemas agroflorestais (SAFs) e agricultura de baixo carbono, quando couber.

As ações previstas neste projeto se restringem a recuperação da vegetação nativa inserida nas áreas impactadas, descritas na cláusula 159 no âmbito da sessão II do TTAC (Restauração Florestal e Produção de Água), portanto:

- Áreas produtivas impactadas pela deposição de rejeitos serão restituídas no âmbito do Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias (PG 17).
- Casa, Vilas, Distritos, Áreas de Uso Urbano, Estradas e Infraestruturas impactadas serão reparadas no âmbito do Programa de Reparação de Infraestrutura (PG 10).
- A CT-FLOR encaminhará ao Comitê Interfederativo proposta de alteração do Programa, de forma que cada câmara técnica se responsabilize pelas ações e pela área de sua respectiva competência (tabela 10). As ações de restauração florestal seguirão o estabelecido na Deliberação CIF nº226, bem como em outras deliberações do CIF e documentos técnicos da CTFLOR.
- Todas as deliberações estarão em conformidade a legislação vigente.

O Planejamento deste Projeto deve considerar as tendências atuais nos estudos de ecologia da paisagem ao nível de sub bacia, correlacionando aspectos sociais, culturais e ambientais relativos a aptidão agrícola versus uso conflitante, conectividade de habitats, micro corredores etc.

Como mecanismo de sustentabilidade do processo de recuperação em médio e longo prazo, este Projeto propõe uma abordagem multidisciplinar com foco na readequação ambiental e produtiva, considerando ainda o fornecimento de assistência técnica através da interface entre os Programas de Fomento do CAR e PRA e Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias. Considera-se ainda a participação ativa dos proprietários de terras no arranjo previsto na reparação dos impactos na propriedade.

Considera-se a realização de estudos adicionais relativos a levantamento de ecossistemas de referência para a bacia do rio Doce, visando a calibração das metas de efetividade do Programa de Restauração Florestal em Propriedades Rurais.

Soluções de Condução da Regeneração Natural serão aplicadas em áreas que apresentam tanto maior expressão de regeneração da vegetação como diversidade, com áreas remanescentes de vegetação próximas, favorecendo sua colonização. A modalidade de condução da regeneração natural deve ser direcionada para áreas onde a degradação ou alteração ambiental não foram muito intensas e o banco de sementes do solo não foi totalmente perdido ou, quando existirem fontes de propágulos próximas que possam iniciar e/ou acelerar o processo.

A restauração das matas ciliares nativas afetadas pelo rompimento da barragem será realizada considerando como linha de base a fitofisionomia pretérita, adotando-se as diretrizes e requisitos da legislação vigente.

A implantação de Sistemas Agroflorestais nas zonas ripárias e fragmentos florestais impactados deverá manter as diretrizes de restauração ecológica, privilegiando o uso de espécies florestais nativas da Mata Atlântica com para o aproveitamento econômico.

7.3 Metodologia

A recomposição da vegetação nativa das margens e planícies diretamente impactadas pela deposição de rejeitos da barragem de Fundão nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce e seus tributários será realizada isolada ou conjuntamente, pelos seguintes métodos, que serão detalhados em tópico específico, compatíveis com as modalidades previstas na legislação brasileira:

- Condução de regeneração natural de espécies nativas;
- Plantio total de espécies nativas;
- Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas;

- Plantio de espécies frutíferas, oleaginosas e/ou forrageiras nas áreas produtivas impactadas (Uso Rural Consolidado), de acordo com a legislação;
- Plantio de Sistemas Agroflorestais biodiversos para fins de restauração ecológica.

7.4 Etapas de execução

7.4.1 Mapeamento inicial das áreas passíveis de restauração florestal no âmbito da cláusula 159 do TTAC

O rompimento da barragem de Fundão demandará diversas ações iniciais de reabilitação de solos em uma primeira etapa de cunho emergencial, que visa, conforme descrita nos capítulos anteriores, a restauração das florestas nativas nas áreas de preservação permanente impactadas, bem como restituição de plantios agrícolas sobre rejeitos, através de uma interface com o Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias (PG17). O Planejamento das ações de recomposição da vegetação nativas nas zonas ripárias, e fragmentos de florestais demandou em um primeiro momento um levantamento nas áreas passíveis desta modalidade de intervenção

A recuperação da cobertura vegetal na área afetada pelo rompimento da Barragem de Fundão é tratada na sessão II (Restauração Florestal e Produção de Água), por meio da cláusula 159 do TTAC.

“Deverá, também, recuperar 2.000 ha (dois mil hectares) na ÁREA AMBIENTAL 1 nos Municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, de acordo com o programa aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS.”

O TTAC refere-se à ÁREA AMBIENTAL como áreas abrangidas pela deposição de rejeitos nas calhas e margens dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, considerando os respectivos trechos de seus formadores e tributários, bem como as regiões estuarinas, costeiras e marinha na porção impactada pelo evento. No entanto, o trecho da área ambiental 1 mais intensamente afetado pelo evento, situado entre a barragem de Fundão e a Usina Hidroelétrica Risoleta Neves (Usina de Candonga), inclui áreas dos municípios tratados pela Cláusula 159, nas quais ambientes terrestres foram severamente impactados.

Deve-se considerar para fins de planejamento deste Projeto, que em meio às terras afetadas incidiam atividades agropecuárias que se estavam em conformidade com a legislação ambiental vigente (Área Rural Consolidada), i.e Novo Código florestal - Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e a lei florestal de Minas Gerais - Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 e lei da Mata Atlântica - Lei nº 248/2006.

O detalhamento será realizado em nível de propriedade, através de elaboração do Plano de Adequação Socioeconômica e Ambiental (PASA), que visa uma readequação ambiental e produtiva integrada, em interface direta com os Programas de Retomada das Atividades Agropecuárias, Fomento ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) e Programa de Regularização Ambiental (PRA).

Na ÁREA AMBIENTAL 1 também ocorrem outras situações incompatíveis com a recuperação da cobertura da vegetação nativa, tais como áreas que abrigam infraestruturas, o reservatório da Usina de Candonga, áreas urbanas, estradas e acessos, afloramentos rochosos e as calhas dos cursos de água afetados (rios Gualaxo do Norte, Carmo, Piranga, Doce; córregos Santarém e Mirandinha; além de parte de seus tributários). As áreas não passíveis de recuperação da cobertura vegetal nativa, foram detalhadas, e constituem, informações de suma importância frente à meta de recuperação estabelecida pela cláusula 159 do TTAC considerando a totalidade da área afetada. Deste modo, a recuperação da cobertura vegetal nativa passa a ser prevista apenas em parte dos dois mil hectares mencionados na cláusula 159. Esta parcela inclui as florestas atingidas pelo evento, bem como as áreas em que há obrigatoriedade de recomposição da mata ciliar, em áreas de preservação permanente (Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Lei nº 11.248 de 2006, e Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013). O cálculo da área passível de recuperação da cobertura vegetal envolve a identificação e a estratificação das classes de uso de solo, bem como a identificação de situações em que se almeja a recuperação de outros ambientes.

O detalhamento de eventuais ocupações incompatíveis com requisitos regulatórios, especificamente com referência ao Uso Rural Consolidado será realizado em nível de propriedade rural no âmbito do PASEA por meio de um

processo de gestão de interfaces, uma vez que as tratativas destes casos possuem relação direta com os Programas de Fomento CAR e PRA, bem como o de Retomada das Atividades Agropecuárias.

Com objetivo de detalhar inicialmente as áreas passíveis de recomposição da vegetação nativa nas planícies afetadas, um estudo foi conduzido pela Fundação Renova denominado "Levantamento de Áreas Passíveis de Recuperação no Âmbito da Cláusula 159 do TTAC". A metodologia utilizada consistiu na análise da poligonal referente à área mais intensamente afetada pela erosão e deposição de rejeitos, que corresponde ao trecho entre a barragem de Fundão e o reservatório da UHE Risoleta Neves (Candongia). Esta poligonal foi definida pela empresa Coffey International Brazil, a partir da vetorização sobre ortofotos obtidas no período de 6 a 10 de novembro de 2015, de 5 cm de resolução, utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG) em escala 1:500. Correções do polígono foram feitas, com base em informações topográficas obtidas por equipes de campo.

O polígono foi posteriormente sobreposto a imagens de satélite de alta resolução Geoeye e Worldview, com resolução espacial de cinquenta centímetros, obtidas em 2015 - em período prévio ao evento.

O mapeamento do uso e ocupação do solo na situação foi realizado nos limites definidos por esta poligonal. O processo de interpretação/vetorização das feições foi feito na escala 1:500 m, compatível com a escala visual 1:2.000 e sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, Fuso 23 Sul. Foram delineados polígonos para as diferentes classes de cobertura vegetal e de uso e ocupação do solo.

Com base neste mapeamento, as áreas passíveis de recuperação da vegetação nativa foram identificadas em duas etapas; primeiramente foram selecionadas as áreas de cobertura florestal diretamente afetadas pelo evento. Em seguida, foram identificados os usos agropecuários sobre a porção da Áreas de Preservação Permanente (APP) de rios e tributários, em que a recuperação é obrigatória. Conjuntamente, as florestas afetadas e as APPs a serem recuperadas constituem as áreas indicadas para ações de recuperação da vegetação nativa.

Para a delimitação de áreas não passíveis de recuperação da vegetação natural, primeiro foram localizadas lagoas existentes antes do evento, o reservatório da UHE Candonga e os limites de diques planejados, então foram localizados os ambientes terrestres em regeneração e áreas em que é prevista a recuperação do uso antrópico pretérito.

Como resultado, foi possível estratificar as classes de uso e ocupação na área impactada para fins de recuperação da vegetação. Chegou-se à conclusão que os 2000 hectares então definidos, levava em consideração situações incompatíveis com a recuperação da cobertura vegetal nativa, tais como áreas que abrigavam infraestruturas como áreas urbanas, estradas e acessos, o reservatório da Usina de Candonga, afloramentos rochosos e o próprio leito dos cursos de água afetados (rio Gualaxo do Norte, Carmo, Piranga, Doce e os córregos Santarém e Mirandinha e seus tributários).

O cômputo de áreas aponta que para restauração florestal, serão trabalhados cerca de 561,04 ha na recomposição de florestas afetadas e áreas de preservação permanente. Para esta última considerou-se os limites da propriedade definidas no CAR para fins de cômputo do módulo fiscal. Para a definição do limite da app a ser recuperada, será considerado a vegetação nativa existente anterior ao evento, e o CAR para as áreas rurais consolidadas. Áreas de sub-bosque com elevado potencial de regeneração natural representam cerca de 105 hectares e serão monitoradas por este Projeto.

Deve-se considerar ainda, que 594,1 ha (classes 4.c e 4.d tabela 10) referem-se a ocupações com fins agrícola, seja em Uso Rural Consolidado, quando couber ou fora da APP, portanto, a reestruturação produtiva destas áreas será realizada no âmbito do Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias.

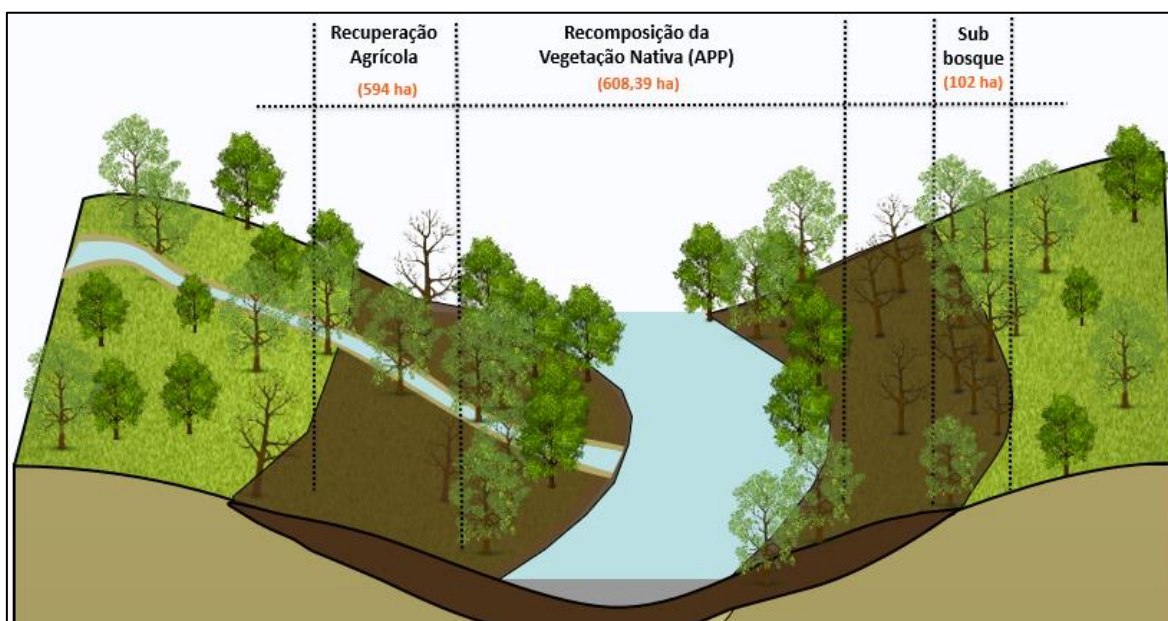


Figura 31. Representação dos impactos e áreas passíveis de revegetação no âmbito da cláusula 159.

Com base nesta mesma premissa, a recuperação das áreas de uso antrópico definidas nas classes 4.a e 4.b (Área Urbana/Periurbana e Infraestruturas) da tabela x serão recuperadas através do Programa de Recuperação de Comunidades e Infraestruturas impactadas.

Cursos d'água, lagoas, e o reservatório de Candonga serão trabalhados no âmbito do Programa de Manejo de Rejeitos e Programa de Recuperação do Reservatório da UHE Risoleta Neves, respectivamente.

O resultado detalha o do cálculo de áreas para cada classe mapeada está representado na tabela 10 a seguir.

Tabela 10: Categorias / Classes Hectares

1. Áreas indicadas para recuperação da cobertura vegetal nativa*	608,39
1.a. Florestas afetadas (extensão pretérita)	259,15
1.b. APPs dos rios a serem recuperadas (cursos d'água atuais)	228,06
1.c. APPs dos tributários a serem recuperados (cursos d'água atuais)	73,83
1.d. Complexo de Germano (Trechos 1 e 2) – PMR**	47,35
2. Ambientes aquáticos e áreas afetadas por diques	713,64

2.a. Cursos d'água (Atuais)	324,08
2.b. Lagoas (Pretéritas)	7,42
2.c. Reservatório da UHE candonga (Máximo de operação)	296,1
2.d. Diques (Projetados)	86,04
3. Áreas de elevado potencial para restauração passiva (fora da app)	104,86
3.a. Cobertura arbóreo-arbustiva (Área de sub-bosque) *	102,97
3.b. Afloramentos rochosos	1,89
4. Áreas de uso antrópico	856,21
4.a. Área urbana / periurbana	52,42
4.b. Infraestrutura	209,69
4.c. Uso agropecuário afetado pelo evento fora de APP*	259,02
4.d. Uso Rural Consolidado*	335,08

Fonte: Golder Associates, 2017

*Áreas passíveis de recuperação da vegetação

** Plano de Manejo de Rejeitos

O levantamento detalhado da cobertura vegetal para fins recomposição da vegetação nativa e elaboração dos projetos executivos de Adequação Socioeconômica e Ambiental em nível de propriedade (PASEA) contempla, nos casos em que não ocorrer conflito com a Lei da Mata Atlântica a compatibilização do cenário atual com o uso e ocupação da área anterior a 22 de julho de 2008, visando a identificação de áreas eventualmente suprimidas em área de Uso Rural Consolidado. Nestes casos, a recuperação será por meio da recomposição integral da mata nativa.

Uma importante premissa a ser considerada no que se refere ao cumprimento integral da cláusula 159 do TTAC, consiste na necessidade de definição das atribuições e responsabilidades no âmbito das inter-relações que compõe de forma conjunta, o escopo da recuperação da área impactada, sejam aquelas

referentes à reabilitação inicial, restauração florestal, restituição de cultivos agrícolas, recuperação de infraestruturas, manejo na calha dos rios, UHE Risoleta Neves e estruturas inseridas no complexo industrial de Germano (Diques de contenção, barramentos de terra, etc).

7.4.2 Realização de Plantios Pilotos de Restauração Florestal

A restauração de florestas nativas da Mata Atlântica na escala proporcional aos dados provocados pelo rompimento da barragem de Fundão envolve desafios expressivos, em particular para as áreas a montante da UHE de Risoleta Neves, cuja espessura de rejeitos depositados sobre as planícies variam entre 0,6 e 4,0 metros. De forma geral, os substratos contidos no rejeito oriundo da barragem de Fundão apresentam características físicas, químicas e biológicas que não favorecem o desenvolvimento pleno de espécies vegetais, sendo necessária a utilização de técnicas de manejo adequadas a cada contexto específico.

Frente às incertezas técnicas e riscos condicionados pela deposição de uma mistura de rejeitos de minério de ferro, solo e detritos vegetais ao longo das calhas e margens de cursos de água, foi proposta a implementação de tecnologias de recuperação a partir de uma abordagem de Gestão Adaptativa.

No processo de recuperação ambiental, a Gestão Adaptativa significa que a tecnologia é implementada em fases, começando pela otimização dos esforços em uma porção menor da área, seguida de sua aplicação ao restante da área em tratamento. A implementação de uma alternativa de recuperação em larga escala requer ainda uma fase de otimização. Esta fase de otimização é necessária para melhor calibrar os esforços ao contexto local, visando aumento da eficiência e redução de custos operacionais. A experiência obtida em uma etapa anterior é usada para otimizar as etapas seguintes do programa de recuperação.

Visando a otimização de esforços, escolha da estratégia de restauração, redução de custos, e maximização das chances de sucesso frente à necessidade de proceder a intervenções para revegetação em grande escala, propôs-se a realização de um teste piloto de plantio em campo avaliando diferentes alternativas de revegetação e seleção de espécies adaptadas a condições severas de estresses abióticos.

Diante da necessidade de se desenhar o plantio piloto de revegetação, bem como discutir os entraves e possíveis propostas estratégicas para a recuperação florestal nas áreas impactadas pelo evento, um fórum de trabalho foi realizado em agosto de 2016, visando discutir e estabelecer as bases para a iniciativa, nos moldes de um estudo experimental. Para este fórum foram convidados pesquisadores de notável saber em restauração ecológica e pesquisadores com reconhecida experiência prática na restauração de Mata Atlântica e recuperação do solo.

Como principais questões orientadoras do estudo experimental a ser conduzido através de testes em campo, foram consideradas:

- Como manejar o substrato visando a recuperação ecológica da área, diante das potenciais restrições representadas pelas suas características físicas e químicas?
- Quais espécies seriam recomendáveis para o plantio, e quais seriam as recomendações para sua implementação, manutenção e manejo adaptativo?

Em reunião técnica de definição das premissas para esta iniciativa, foi escolhido como referencial técnico para o teste uma modelo referência de recuperação de florestas tropicais, que consiste em duas etapas fundamentais: o recobrimento e o enriquecimento. Na etapa de recobrimento serão introduzidas as espécies de ocorrência local que se destaquem pelo rápido crescimento, formação de copas amplas e densas (NAVE, 2005; BRANCALION 2015; RODRIGUES, 2015). O sombreamento da área pelas espécies de recobrimento propicia vantagem competitiva às demais espécies florestais, que então podem ser introduzidas na etapa do plantio de enriquecimento. Já a etapa de enriquecimento visa a recuperação de interações ecológicas, que por sua vez permitem o resgate da sucessão ecológica e da dinâmica própria de uma floresta tropical.

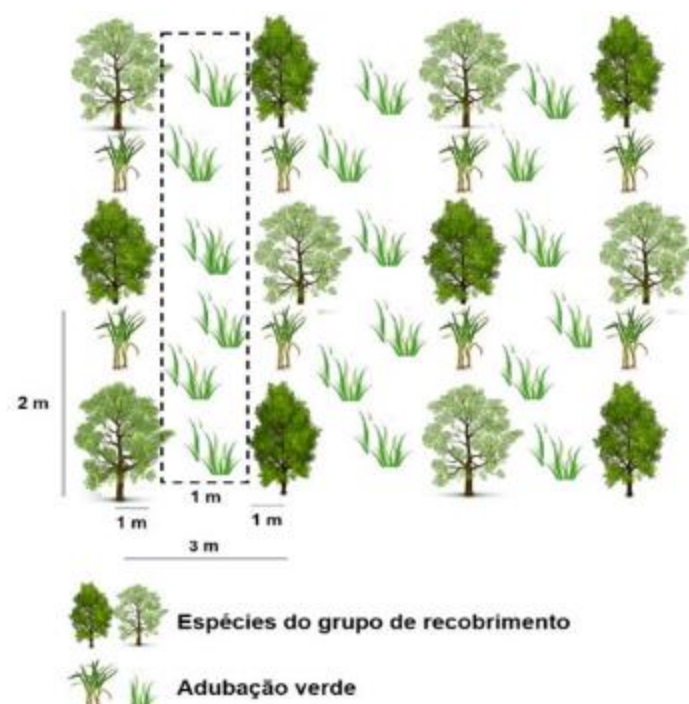


Figura 32: Esquema de plantio da etapa de recobrimento, com espécies do grupo de recobrimento e adubação verde. Golder, 2017

Com isto, no primeiro ano do plantio experimental, o objetivo a ser atingido é o recobrimento, que potencialmente diminui a erosão laminar, sombreia os indivíduos regenerantes e promove microclima adequado para o estabelecimento de espécies mais especializadas nas condições ambientais típicas de uma floresta tropical. O recobrimento também permite melhorar as características do substrato, com a colonização por micro e mesofauna edáficas, aumento de matéria orgânica e o início da formação de serapilheira.

A primeira fase testa (etapa de recobrimento), será instalada em duas propriedades no distrito de Paracatu de Baixo, município de Mariana. Serão implantadas 75 parcelas com réplicas de dois tipos de preparo do substrato: a. Homogeneização e subsolagem e b. Homogeneização e subsolagem acompanhada de gessagem, calagem e adubação; e três estratégias de repovoamento, sendo:

- a. Plantio de mudas arbóreas nativas;
- b. Semeadura de arbóreas nativas, e;
- c. Regeneração natural.

Para o plantio de mudas, serão utilizadas nove diferentes espécies: capixingui (*Croton floribundus*); sangra d'água (*C. urucurana*); ingá-banana (*Inga vera*); sena-aleluia/piteira (*Senna pendula*); pau-cigarra (*S. multijuga*); pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*); mutamba (*Guazuma ulmifolia*); algodoeiro (*Heliocarpus popayanensis*) e fumo-bravo (*Solanum granulosoleprosum*). O plantio será de 3 x 2 metros.

Para o plantio via sementes, serão utilizadas 13 espécies, em virtude da facilidade de aquisição: crindiúva (*Trema micranta*); capixingui (*Croton floribundus*); sangra d'água (*C. urucurana*); orelha de negro (*Enterolobium contortisiliquum*); mutamba (*Guazuma ulmifolia*); monjoleiro (*Senegalia polyphylla*); fedegosão (*Senna macranthera*); pau-cigarra (*S. multijuga*); algodoeiro (*Heliocarpus popayanensis*); fumo-bravo (*Solanum granulosoleprosum*) e aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius*).

Para a implantação do teste serão realizadas a desobstrução e isolamento das áreas, a calagem (correção de acidez por Al) e gessagem (fornecimento de Ca em profundidade), a sistematização do terreno, a descompactação em profundidade e adubação fosfatada, o combate às formigas cortadeiras, a abertura de covas e covetas e, por fim, a semeadura de arbóreas nativas e adubação verde e o plantio das mudas. Posteriormente, foram realizados o replantio, a adubação de cobertura e o controle de herbáceas por coroamento.

Os relatórios de implantação de monitoramento serão emitidos em periodicidade anual e fornecerá subsídios para direcionamento das ações em larga escala.

Tendo-se em conta esta abordagem, foi estabelecida uma estratégia para redução de incertezas no que se refere a protocolos de restauração em áreas severamente impactadas por desastres ambientais, associando alternativas que possam se tornar oportunidades para proprietários de rurais, como a adoção de práticas sustentáveis de manejo e conservação do solo, ganho de serviços ecossistêmicos, diversificação da produção agrícola e geração de renda.

7.4.3 Implantação de Unidades Demonstrativas de Sistemas Agroflorestais e Silvicultura de espécies nativas da Mata Atlântica

A implantação de unidades demonstrativas mostra-se no campo agrícola/florestal como uma excelente oportunidade de avaliação em escala reduzida a viabilidade de novas alternativas que podem associar a adequação ambiental da propriedade rural com a novas fontes de produção.

Nesse sentido, serão propostas por meio de oficinas participativas o desenho e implantação de Unidades Demonstrativas de: (i) Sistemas Agroflorestais e; (ii) Reflorestamento de Espécies Arbóreas Nativas de Interesse Econômico. Essas 2 categorias de Restauração de Florestas Nativas foram escolhidas pelo seu potencial em articular interesses socioeconômicos e ambientais. Ressalva-se neste tópico as observações de restrições regulatórias e diretrizes objetivos deste projeto no tocante ao uso de espécies nativas de interesse econômico em app.

As ações serão planejadas e implementadas em parceria com os participantes envolvidos que manifestaram interesse e comprometimento nas fases de seleção. Materiais de referência serão distribuídos e encontros presenciais para o desenho e planejamento serão organizados.

A implantação acontecerá sempre na época das chuvas, por ser mais adequada para o seu desenvolvimento e se dará de forma participativa. Tanto os insumos, quanto mão de obra para execução das atividades serão oferecidos pela Fundação Renova. Os modelos de SAF's e Silvicultura de espécies nativas da Mata Atlântica serão construídos ao longo do desenvolvimento dos projetos. A proposta fornecerá ainda, importantes subsídios para ganho de escala e proposição de uma nova dinâmica de uso da terra.

7.4.4 Avaliação de Oportunidades de Restauração de Florestas Nativas (ROAM)

Parte considerável das ações de recuperação previstas no TTAC, que possuem relação direta com a recuperação da ÁREA AMBIENTAL 1, tem como objetivo promover a readequação ambiental das propriedades rurais afetadas direta e indiretamente nos aspectos ambiental, social e econômico, com forma de impulsionar ainda a retomada das atividades agropecuárias, comprometidas pelo histórico de degradação regional e de modo recente, acentuadas pelo

evento. Para tanto, o processo de recuperação desta paisagem deve, necessariamente, considerar os usos do solo pretérito ao desastre, as causas históricas de degradação que o antecederam, bem como as inter-relações entre os atores envolvidos e suas respectivas aspirações futuras.

A sistematização das experiências de restauração florestal no território e entorno imediato da áreas a serem restauradas são fundamentais para compor o menu de opções das categorias de Restauração de Florestas Nativas, e suas respectivas análises de custo/ benefícios dos investimentos financeiros e externalidades que potencialmente podem adicionar valor aos serviços ambientais (como exemplo: carbono; água e biodiversidade), é fundamental portanto, que se conheça de antemão as experiências locais já existentes ou que não lograram êxito. Nessas condições, a aplicação da Metodologia de Avaliação de Oportunidades para a Restauração (ROAM, na sigla em inglês) é uma abordagem, que permite identificar oportunidades de restauração por meio da articulação dos principais atores sociais e análise dos principais dados e informações disponíveis para indicar ações articuladas que promovam restauração de paisagens e florestas (RPF). Conciliando o aumento da cobertura florestal com a geração de benefícios ambientais, sociais e econômicos de forma alinhada com os interesses, motivações e expectativas dos atores sociais da paisagem.

A ROAM foi desenvolvida pela parceria entre União Internacional pela Conservação da Natureza (IUCN) e World Resources Institute (WRI) como uma ferramenta para auxiliar governos, instituições e a sociedade civil organizada no desenvolvimento de programas de Restauração de Paisagens Florestais. A partir da publicação do seu manual, governos nacionais e subnacionais iniciaram os processos para aplicação da metodologia. No Brasil, já foi utilizada para a construção do Planaveg (Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa) e aplicada em escala subnacional nos estados do Pará, Distrito Federal, São Paulo, Espírito Santo, Pernambuco e Santa Catarina.

No caso das ações para restauração das florestas nativas da ÁREA AMBIENTAL 1, a aplicação do ROAM se dará por meio de uma parceria entre a Fundação Renova e o WRI Brasil, com vistas na avaliação de um contexto amplo das

oportunidades para restauração das florestas nativas das sub bacias dos rios Gualaxo do Norte, e parte das bacias do Carmo e do Rio Piranga (trechos localizados à montante da UHE de Candonga). Através de uma análise das múltiplas partes interessadas e das interfaces entre os diversos programas que tratam da temática da restauração na bacia, acredita-se de uma articulação estruturada possa em médio e longo prazo contribuir com a melhoria da dinâmica de uso da terra nessas regiões.

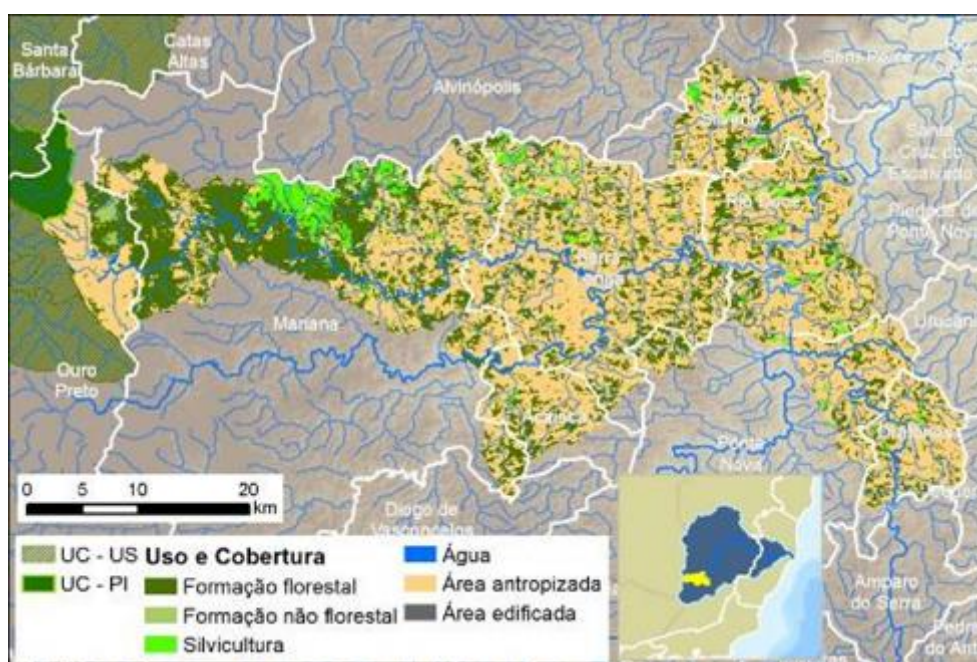


Figura 33. Uso do solo do território estendido da bacia do Gualaxo do Norte, área objeto de intervenção para o presente plano de trabalho

Uma importante etapa para análise de oportunidades de Restauração de Paisagens Florestais se dará pela definição dos fatores motivacionais. Essa etapa busca responder a pergunta:

“Quais são os fatores que podem motivar pessoas e instituições no sentido de uma agenda positiva de restauração de paisagens e florestas?”

Para tanto, um mapeamento e reuniões entre os principais atores sociais interessados será organizada para aplicar o “Guiding Principles for Measuring and Monitoring Progress on Forest and Landscape Restoration” documento em desenvolvimento pelo WRI em parceria com a FAO (<http://www.fao.org/3/a-bo607e.pdf>) . Os resultados desta primeira interação são extremamente importantes, pois irão guiar o desenvolvimento das análises subsequentes para avaliação das oportunidades.

A segunda etapa envolverá análises espaciais que consiste em álgebras de mapas e análises econômicas que objetivam avaliar e mapear as oportunidades de restauração no território. A interação desses outputs revelados pelos mapeamentos e análises econômicas identificam as oportunidades, segundo uma chave de decisão que leva em consideração restrições legais, estrutura fundiária, aspectos biofísicos, custo de oportunidade das terras, e indicadores financeiros oriundos dos modelos de restauração propostos localmente pela comunidade consultada.

Finalmente, todas as análises geradas serão apresentadas à estrutura de governança estabelecida numa oficina de Resultados e Recomendações para geração dos resultados das Oportunidades de Restauração de Florestas Nativas nas sub bacias estudadas.

7.4.5 Índice de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) e Plano de Adequação Socioeconômico e Ambiental de Propriedades Rurais (PASEA)

A metodologia ISA, desenvolvida pela Epamig, em parceria com a Emater-MG, IEF, Embrapa, UFMG e Fundação João Pinheiro, possibilita uma abordagem mais ampla da propriedade, incluindo os fatores de influência e interdependência que caracterizam o ambiente onde ela está inserida. Essa abordagem destaca a preservação dos fragmentos florestais, a sustentabilidade dos sistemas de produção, presença de habitats naturais, conservação dos ecossistemas aquáticos, diversificação da paisagem agrícola, estradas, entre outros, possibilitando trazer a família para centro do planejamento das propostas para readequação da propriedade, e integrando as questões ambientais e produtivas, com vistas a um aumento da efetividade.

Nesse contexto, cada propriedade é compreendida pelos produtores e extensionistas rurais em sua totalidade, a partir do seu universo particular, destacando o produtor como gestor de todo o conjunto, caracterizado por um agroecossistema.

A aplicação da metodologia ISA consta de entrevista com o produtor, levantamento da realidade de campo e análise de imagens de satélite da propriedade.

Esse conjunto de informações gera 21 indicadores de sustentabilidade. A partir desses indicadores, o sistema produz um índice final, que varia de 0 a 1, sendo que 0,7 é considerado como o limiar de sustentabilidade, valor de base para um bom desempenho ambiental, social e econômico. Abaixo de 0,7 significa que o estabelecimento precisa de ajustes ou adequações. Com o auxílio de imagens de satélite e levantamento de campo, serão gerados croquis da propriedade, que mostram o uso e a ocupação do solo, identificação de lavouras permanentes e temporárias, pastagens, florestas plantadas, vegetação nativa, Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APPs). Esses dados são fundamentais para aferição do índice e compõem a maior parte da área de atuação da Fundação Renova.

Após realização do diagnóstico da propriedade (ISA), será elaborado um Plano de Adequação Socioeconômico e Ambiental (PASEA), onde são apresentados os aspectos positivos, oportunidades, fragilidades e riscos do ponto de vista socioeconômico e ambiental. O diagnóstico orienta o agricultor nos ajustes necessários, que vão desde mudanças na gestão da propriedade até modificações mais amplas que necessitem de investimentos e de possíveis financiamentos, além de eventual remuneração por serviços ambientais.

Deve-se considerar, que a Deliberação nº 56/2017 do Comitê Interfederativo aprova a aplicação da metodologia ISA como indicador de desempenho para o Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias, no que se refere às propriedades localizadas na ÁREA AMBIENTAL 1, entretanto não elimina a possibilidade de adoção de indicadores complementares para a avaliação do deste Programa. Ressalta-se, que a Fundação Renova deverá ainda verificar a viabilidade de adaptações ou a adição de outros indicadores para as propriedades localizadas na ÁREA AMBIENTAL 2.

7.4.6 Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER Sustentabilidade) no âmbito das interfaces com a Restauração Florestal (CT-Flor)

As ações de assistência técnica e extensão rural (ATER Sustentabilidade) constituem o ponto fundamental na readequação ambiental e produtiva das propriedades rurais impactadas, vinculadas à diversificação de fonte de renda e produção sustentável em médio e longo prazo.

O arranjo para oferta de ATER na ÁREA AMBIENTAL 1 será composto, por entidades de consultoria e capacitação e entidades de execução direta com histórico de atuação regional no apoio à agricultura familiar.

As atividades de readequação ambiental da propriedade a partir do manejo de usos do solo e água e restauração de florestas nativas propostos no modelo de ATER construído pela Fundação Renova visam assegurar, a partir de práticas sustentáveis, as medidas de recuperação em médio e longo prazo. A atuação dos técnicos junto aos produtores manterá as seguintes linhas de atuação:

- Assistência Técnica e Extensão Rural contendo: plano de trabalho integrado da propriedade, elaboração e retificação do CAR e PRA, assistência ao monitoramento e gestão da recuperação ambiental;
- Manejo e Usos do Solo contendo: restauração de APPs e fragmentos florestais em processo de recuperação, reabilitação de solos impactados, reestruturação de plantios agrícolas, implantação e acompanhamento de sistemas agroflorestais;
- Manejo de Usos da Água contendo: dessedentação animal e sistemas de irrigação.

A Fundação Renova utiliza ainda, como referência para contratação dos serviços de assistência técnica, a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica – PNAPO, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABC, em uma estratégia construída e custeada no âmbito do Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias.

7.4.7 Gestão de Interfaces – Educação para Revitalização

O Programa de Educação para Revitalização da Bacia do Rio Doce (PG 33) foi criado em atendimento ao estabelecido pela cláusula 172 do TTAC, e aprovado por meio da Deliberação 178 do CIF de 29 de junho de 2018. Neste contexto, a Educação para a Revitalização é considerada um importante eixo transversal aos demais Programas da Fundação Renova na construção de uma proposta capaz de compreender e lidar com a complexidade no que tange as questões socioambientais, e, neste caso em específico, a restauração das florestas nativas. O processo de interfaces no âmbito do Programa de Educação para Revitalização e Programa de Recuperação da Área Ambiental 1 está relacionado a definição ferramentas que considerem de modo estruturado o engajamento, participação dos atores locais envolvidos. Entretanto deve-se considerar que, em uma avaliação de atribuições, é a cargo da CT-Flor a responsabilidade pelo acompanhamento do cumprimento das diretrizes, objetivos e cláusulas deste programa.

No caso da Recuperação da Área Ambiental 1, entende-se a necessidade de mobilizar os produtores (as), posseiros (as) rurais para a compreensão das vantagens de readequação ambiental por meio da recomposição das florestas nativas ciliares impactadas, assim como a implantação de melhores práticas para agricultura, pecuária, ou que visa, ainda a adequação produtiva destas propriedades.

Para isso, poderão ser utilizadas ferramentas de mapeamento, diagnósticos rurais participativos, dias de campo, trocas de experiências, dentre outras que possibilitarão a este público refletir, debater e vivenciar novos modelos produtivos.

7.4.8 Restauração das Florestas Nativas

7.4.8.1 Planejamento das atividades

O Planejamento macro da restauração florestal considera os prazos limites estabelecidos na cláusula 159 do TTAC, parágrafo único:

“PARÁGRAFO ÚNICO: A implantação das ações referidas no caput se dará

em um prazo de 4 (quatro) anos, a contar da assinatura deste Acordo, com 6 (seis) anos complementares de manutenção, conforme cronograma a ser estabelecido no respectivo programa.”

Neste sentido, a fase de implantação do Projeto de Restauração será concluída em março de 2020, mantendo-se, portanto, uma sistemática de manutenção e monitoramento das ações de eficácia e efetividade até março de 2026.

Tabela 11: Fase de implantação da restauração florestal nas propriedades rurais da Área Ambiental 1, a montante da UHE Candonga.

CRONOGRAMA MACRO	LOCALIDADE	Início	Fim	2017				2018				2019				2020				
				1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T	
RESTAURAÇÃO FLORESTAL				4º T	1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T	1º T	2º T	3º T	4º T
TRECHOS (P.M.R)*																				
TRECHOS 1 a 8	MARIANA	fev/18	mar/20		[Green bar spanning from 1st T 2018 to 4th T 2020]															
TRECHO 9	MARIANA / BARRA LONGA	fev/18	mar/20		[Green bar spanning from 1st T 2018 to 4th T 2020]															
TRECHO 10	BARRA LONGA	ago/18	mar/20		[Green bar spanning from 1st T 2018 to 4th T 2020]															
TRECHO 11	SANTA CRUZ, RIO DOCE, PONTE NOVA	ago/18	mar/20		[Green bar spanning from 1st T 2018 to 4th T 2020]															
MANUTENÇÃO		ago/18	mar/26		[Green bar spanning from 1st T 2018 to 4th T 2020]															

PMR* - Plano de Manejo de Rejeitos

Considerando o planejamento das atividades em nível executivo, os cronogramas e projetos serão emitidos por propriedade rural, tendo como linha de base a aprovação do Plano de Manejo de Rejeitos como predecessor (Aprovação por trecho). As ações de reparação

7.4.8.1.1 Definição das espécies e proporção dos grupos funcionais

A escolha das espécies a serem utilizadas na recomposição da vegetação nativa sobre rejeitos localizados nas planícies da ÁREA AMBIENTAL 1, a montante da UHE Risoleta Neves considera premissas importantes para garantia de um estabelecimento inicial nas áreas impactadas, a saber:

Será considerado o resultado do plantio piloto de restauração florestal sobre rejeitos, conforme metodologia descrita neste documento, para fins de definição da metodologia de preparo inicial do solo e sobrevivência de espécies;

Considera-se a realização de um levantamento Florístico e Fitossociológico dos remanescentes florestais do entorno as áreas impactadas, que visa fornecer

subsídios a respeito da dinâmica dos sistemas florestais nestas áreas e ocorrências de espécies.

A seleção das espécies considera obrigatoriamente a ocorrência no bioma Mata Atlântica e suas diferentes fitofisionomias, sobretudo floresta estacional semi decidual - feição predominante na bacia do rio Doce (IBGE, 2004), bem como aquelas identificadas no estudo de prospecção e diagnóstico de viveiros na bacia do rio Doce, no âmbito da Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água.

Para restauração ecológica das áreas impactadas por meio de sistemas agroflorestais, será ainda considerado o grau de comercialização das espécies e seus subprodutos para usos não madeiros, uma vez que sua importância se pauta na possibilidade de uso econômico no futuro, constituindo-se como uma alternativa de diversificação de renda para o proprietário rural.

As áreas restauradas deverão incluir principalmente na fase de implantação, espécies chaves para os ecossistemas, que ofereçam recursos para a fauna polinizadora e dispersora de sementes.

Considerando as diferentes condições edáficas e o potencial de regeneração em nível de sub bacia, o número de espécies e de indivíduos por hectare, plantados ou germinados, serão definidos em virtude da modalidade do projeto de restauração e.g (Condução da Regeneração com enriquecimento, plantio total etc), buscando compatibilidade com a fitofisionomia local, visando acelerar de modo efetivo a cobertura vegetal da área recuperada, em acordo às diretrizes da Resolução CONAMA 429/11.

A Resolução SMA 32/2014 recomenda em seu anexo III "Orientação Técnica para o plantio em área total" a utilização de no mínimo 80 espécies nativas de ocorrência regional para projetos de restauração, sendo, 70% (56), de porte arbustivo e arbóreo. Para Moraes, *et al.* 2013, o número de espécies selecionadas para compor um modelo vai depender de uma série de condições, sendo que a principal delas diz respeito à disponibilidade de sementes, que, por sua vez, está diretamente ligada à qualidade da mata (áreas de coleta de sementes) onde é feita a coleta. Segundo o mesmo autor, uma alta diversidade

de espécies no plantio é logicamente desejada, mas a baixa disponibilidade delas não deve inviabilizar o trabalho.

Dessa forma, espécies que aliam crescimento rápido, tanto em altura quanto em cobertura de copa, são desejáveis quando se almeja rápido recobrimento do solo, principalmente em áreas severamente degradadas.

O número de espécies e a proporção dos grupos sucessionais serão determinados em virtude da modalidade de restauração em cada ambiente, nos casos contemplados pela Lei nº 12.651/2012 e pela Lei da Mata Atlântica nº 11.428, de 2006. No entanto, considerando a inexistência até o momento de um protocolo que estabeleça as orientações, diretrizes e critérios sobre a restauração ecológica no estado de Minas Gerais, considerando ainda as premissas constantes no Art. 7º da Instrução Normativa IBAMA nº 4/2011, bem como aquelas do Parecer Técnico nº 13/2017-COREC/CGBIO/DBFLO, adota-se a SMA 32/2014 como referencial normativo para os trabalhos de recomposição da vegetação nativa nas áreas impactadas (Fundão à Candonga), respeitando-se as especificidades e particularidades das fitofisionomias, condições edáficas e ocorrências regionais na bacia do rio Doce.

Uma compilação de dados realizado no âmbito de estudos preliminares de ocorrências regionais das espécies nativas, permitiram a identificação inicial de 359 espécies, incluindo 62 de preenchimento e 297 de diversidade, sendo destas, 12 específicas de ocorrência em áreas úmidas que podem ser utilizadas na restauração das planícies de inundação após diagnóstico preliminar de viabilidade, considerando as características específicas da vegetação nestes ambientes (Anexo IV).

7.4.8.1.2 Diagnóstico dos cenários e estratégias de recomposição da vegetação nativa

Um zoneamento Ambiental e Produtivo realizado no conjunto de três sub bacias do rio Doce (Sub Bacia dos rios Gualaxo do Norte, alto trecho do rio Doce, e baixo trecho do rio do Carmo) para fins de planejamento das ações de recuperação socioambiental e socioeconômica das áreas impactadas, apresentaram dados importantes na dinâmica de uso e ocupação do solo, bem

como fatores de degradação e a presença de vegetação nativa na porção oeste da bacia, ocupando cerca de 38% da área total do território (3 sub bacias), e 52% da sub bacia do rio Gualaxo do Norte, distribuída de forma fragmentada.

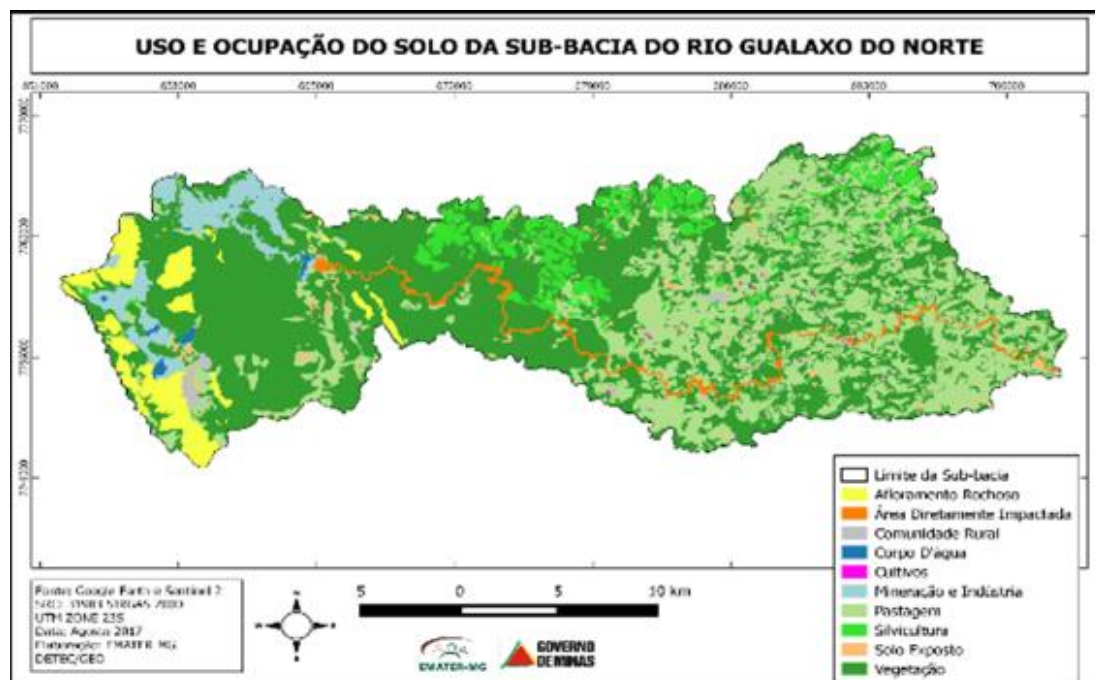


Figura 35: Uso e ocupação do solo na bacia do rio Gualaxo do Norte. Fonte: Zoneamento Ambiental e Produtivo – EMATER.

A cobertura florestal na porção oeste da sub bacia do rio Gualaxo do Norte representa um alto potencial para as modalidades de condução da regeneração natural, com eventual enriquecimento da vegetação nativa, principalmente em virtude da alta disponibilidade de propágulos e de baixas influências de fatores antrópicos de degradação, já que em sua maioria constituem remanescentes de áreas de compensação florestal de empresas.

Dentro desta modalidade, visando reduzir os custos da restauração e a formação de ecossistemas mais heterogêneos, serão implantadas técnicas alternativas de condução da regeneração, principalmente em áreas de sub-bosque impactados e em áreas adjacentes a fragmentos florestais.

Em contrapartida as sub bacias do alto trecho do rio Doce, e baixo trecho do rio do Carmo representam somadas cerca de 58% de pastagens, em áreas com baixo potencial para a regeneração da vegetação nativa.

A segunda etapa do diagnóstico e planejamento das atividades é a definição dos cenários e modalidades de intervenção para a restauração das florestas nativas,

segue os moldes definidos pelo Ibama no CHAMAMENTO PÚBLICO nº 02/2018: Restauração de populações da flora ameaçadas de extinção do bioma Mata Atlântica no Estado de Santa Catarina. Uma adaptação desta publicação para a restauração das áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão considera a seguinte estratificação:

Tabela 12: Definição de cenários e modalidade de restauração florestal das áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão

Cenário	Descrição	Modalidade
Cenário A – Áreas com alto potencial de regeneração	Presença abundante de vegetação regenerante; Técnicas com pouco manejo, e baixas intervenções adicionais,	Condução de regeneração natural de espécies nativas
Cenário B – Áreas com médio potencial de restauração	Alguma presença de vegetação regenerante; Técnicas com manejo por plantio de mudas ou semeadura direta de espécies de recobrimento e diversidade, aplicada, separada ou conjuntamente (regeneração, enriquecimento e/ou adensamento com espécies-alvo ou demais nativas, nucleação etc)	Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (Enriquecimento, adensamento, nucleação); Sistemas Agroflorestais em app
Cenário C – Áreas com baixo potencial de restauração	Ausência de regenerantes; técnicas que demandarão plantio em área total, podendo incluir as técnicas do cenário B individual ou conjuntamente, caso necessário, além de semeadura direta ou plantio total de mudas.	Plantio total de espécies nativas Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (Enriquecimento, adensamento, nucleação) Sistemas Agroflorestais em app

7.4.8.1.3 Modalidades de restauração ecológica

As modalidades a serem adotados para a restauração florestal na Área Ambiental 1, contemplam na íntegra as metodologias dispostas na Lei 12.727, de 17 de outubro de 2012. Ainda em análise ao disposto no Art. 61-A em seu § 13, verifica-se as seguintes possibilidades:

§ 13. A recomposição de que trata este artigo poderá ser feita, isolada ou conjuntamente, pelos seguintes métodos:

- I. condução de regeneração natural de espécies nativas;
- II. plantio de espécies nativas;

- III. plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas;
- IV. plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recomposta.

Nesse sentido um diagnóstico estratégico em nível territorial, neste caso, propõe-se micro bacias, mostra-se como de importância fundamental para uma análise das potencialidades e escolha de cada método. Ainda neste campo, O Decreto 46.650, de 19 de novembro de 2014, aprovou a Metodologia mineira de caracterização socioeconômica e ambiental de sub-bacias hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental e Produtivo–ZAP. A Metodologia ZAP tem sua origem pautada na dinâmica de uso e conservação do solo e da água e na evidência de que a Adequação Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas potencializa os resultados no controle do ciclo hidrológico e na sustentabilidade das atividades produtivas rurais, desenvolvidas neste compartimento geográfico.

7.4.8.1.3.1 Condução da regeneração natural

Conduzir a regeneração natural significa aplicar métodos mecânicos ou químicos que visem eliminar ou controlar o desenvolvimento de espécies vegetais indesejadas ao mesmo tempo em que se favoreça o desenvolvimento de espécies nativas de interesse na restauração florestal. A condução da regeneração natural, portanto é realizada por técnicas que consistem desde o isolamento dos fatores de degradação, coroamento e/ou adubação de indivíduos regenerantes, e pelo controle das gramíneas invasoras.

Segundo MARTINS, 2014, na restauração florestal através da regeneração natural não são usadas técnicas de plantio ou outras intervenções silviculturais, sendo este o meio mais econômico de restauração, pois estão ausentes os custos com a produção e, ou, compra de mudas, mão de obra, insumos e manutenção do plantio.

De acordo com informações obtidas pelo Zoneamento Ambiental e Produtivo, esta modalidade e estudos das áreas passíveis de restauração florestal no

âmbito da cláusula 159 do TTAC (Golder, 2017), as áreas passíveis de condução da regeneração natural constituem basicamente os sub-bosques impactados pela passagem e deposição de rejeitos em grau leve, onde não houve a supressão total da mata nativa. Esta área representa aproximadamente 149 hectares.

7.4.8.1.3.2 Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural (Enriquecimento)

Esta modalidade de restauração consiste no plantio de espécies dos estágios finais de sucessão, em áreas de resiliência elevada, e se aplica principalmente nas áreas imediatamente adjacentes as planícies afetadas pela deposição de rejeitos, porção oeste da sub bacia do rio Gualaxo do Norte, que corresponde à maior incidência de vegetação nativa remanescente.

NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC), 2013, consideram que o plantio de enriquecimento possui como vantagem o aproveitamento da regeneração natural. Em decorrência de já haver a presença de vegetação, o espaçamento de plantio tende a ser mais amplo (e.g. 6 m x 6 m). No entanto, características locais devem ser observadas e avaliadas antes da tomada de decisão. A Figura a seguir ilustra uma situação na área afetada onde serão realizados o adensamento e o enriquecimento de espécies em uma área com expressivo potencial de regeneração natural.



Figura 36: Área passível de enriquecimento associado à condução da regeneração natural. Foto: Agroflor.

Uma tendência atual da recuperação de áreas degradadas é a restauração ecológica através da utilização de técnicas nucleadoras, que têm como princípio o aproveitamento da resiliência ainda restante dos ecossistemas impactados e, assim, torna-se possível uma grande redução dos custos da restauração quando comparados com o reflorestamento tradicional com plantio em área total (MARTINS, 2017). Segundo o mesmo autor, técnicas alternativas baseadas na nucleação tendem a formar ecossistemas mais similares aos originais e com maior sustentabilidade ambiental.

7.4.8.1.3.3 Plantio de espécies nativas em área total

A escolha da modalidade de plantio total em uma área a ser reflorestada, possui relação direta com o potencial de autorregeneração natural (resiliência), sendo esta, a escolha mais eficiente quanto este potencial é baixo, seja pela distância de propágulos e/ou fontes dispersoras, susceptibilidade a fatores de degradação ou grau de impacto ambiental da área-alvo. NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC), 2013, afirmam que nesse método, são realizadas combinações das espécies em módulos ou grupos de plantio, visando à implantação de espécies dos estádios finais de sucessão (secundárias tardias e clímax) conjuntamente com espécies dos estádios iniciais de sucessão (pioneiras e secundárias iniciais), compondo unidades sucessionais que

resultam em uma gradual substituição de espécies dos diferentes grupos ecológicos no tempo, caracterizando o processo de sucessão.

Gandolfi *et al* (2009), propôs a classificação desses grupos funcionais visando à implantação das espécies dos estádios finais de sucessão (secundárias tardias e clímax) conjuntamente com espécies dos estádios iniciais de sucessão (pioneiras e secundárias iniciais), compondo unidades sucessionais que resultam em uma gradual substituição de espécies dos diferentes grupos ecológicos no tempo, caracterizando o processo de sucessão quando da implantação de um plantio total.

Complementarmente, Gandolfi *et al* (2009) considera que metade das mudas utilizadas em um plantio total (50%) deve conter no mínimo 10 (dez) espécies do Grupo de Preenchimento (ou pioneiras) e a outra metade das mudas utilizadas deve conter no mínimo 70 (setenta) espécies do Grupo da Diversidade (ou Não-Pioneiras). O autor enfatiza que, para se evitar o plantio de poucas espécies, o número de mudas por espécie deve ser o mais igualmente distribuído em cada um desses dois grupos.

Entretanto, em casos onde existe alta fragilidade ambiental, como nas áreas com subsolo exposto, mineradas ou com processos erosivos severos, recomenda-se inicialmente o plantio total somente com espécies de preenchimento. Esta metodologia, consiste em duas etapas fundamentais: o recobrimento (Figura 37) e o enriquecimento (Figura 38). Na etapa de recobrimento são introduzidas as espécies de ocorrência local que se destaquem pelo rápido crescimento, formação de copas amplas e densas (NAVE, 2005; BRANCALION 2015; RODRIGUES, 2015). O sombreamento da área pelas espécies de recobrimento propicia vantagem competitiva às demais espécies florestais, que então podem ser introduzidas na etapa do plantio de enriquecimento. Já a etapa de enriquecimento visa a recuperação de interações ecológicas, que por sua vez permitem o resgate da sucessão ecológica e da dinâmica própria de uma floresta tropical.

Considerando estas premissas, no primeiro ano do plantio das planícies afetadas pela deposição de rejeitos, o objetivo a ser atingido será o recobrimento, que potencialmente diminui a erosão laminar, sombreia os indivíduos regenerantes

e promove microclima adequado para o estabelecimento de espécies mais especializadas nas condições ambientais típicas de uma floresta tropical. O recobrimento também permite melhorar as características do substrato, com a colonização por micro e mesofauna edáficas, aumento de matéria orgânica e o início da formação de serapilheira. Com os dados disponíveis a partir de um diagnóstico preliminar das áreas afetadas, a situação mais comum consiste na existência de uma cobertura relativamente homogênea de rejeito sobre as planícies, porém de espessura variável (e.g. 30-350cm), recobrando solo ácido e compactado. O detalhamento destas situações em cada área afetada, a ser realizada no âmbito do Plano de Manejo de Rejeitos fornecerá importantes subsídios definição da metodologia de preparo inicial do substrato que pode variar desde a homogeneização, e subsolagem visando favorecer a interface entre o solo enterrado e a cobertura de rejeito, até a correção em profundidade e escolha de espécies tolerantes às novas características do “novo” ambiente.

O recobrimento inicial por arbóreas nativas será acompanhado por adubação verde, utilizando-se mix apropriado para o manejo de plantio de árvores, o que exclui trepadeiras e ervas escandentes. O mix gramíneas e leguminosas herbáceas de rápido crescimento utilizado na etapa de revegetação emergencial e de reabilitação por técnicas de bioengenharia terá, portanto, papel fundamental nesta fase.

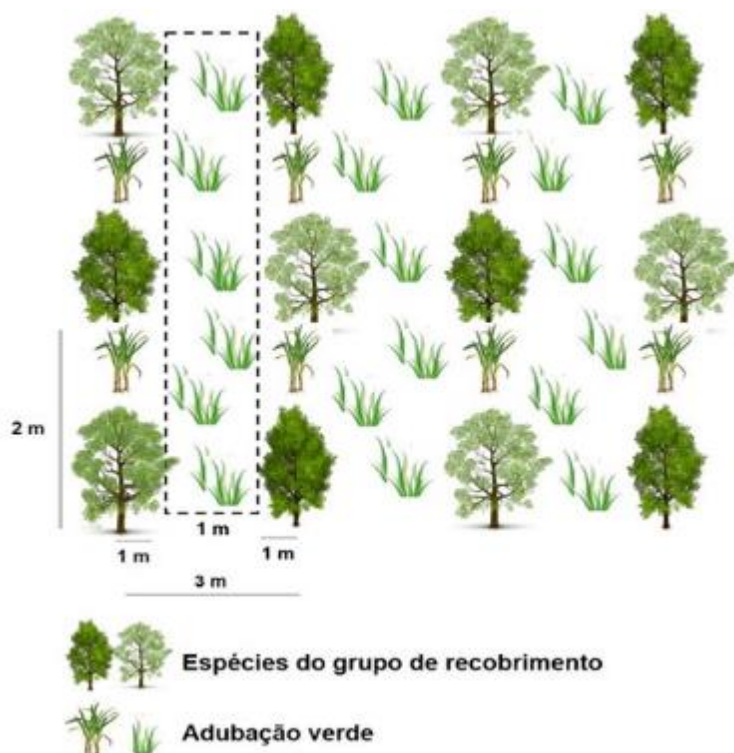


Figura 37: Esquema de plantio da etapa de recobrimento, com espécies do grupo de recobrimento e adubação verde. (Figura: Golder Associates, 2017).

Por fim, inicia-se a partir do terceiro ano de implantação, a fase de enriquecimento, na qual busca-se, acima de tudo, o aumento de diversidade e estabelecimento de características de matas ciliares nativas.

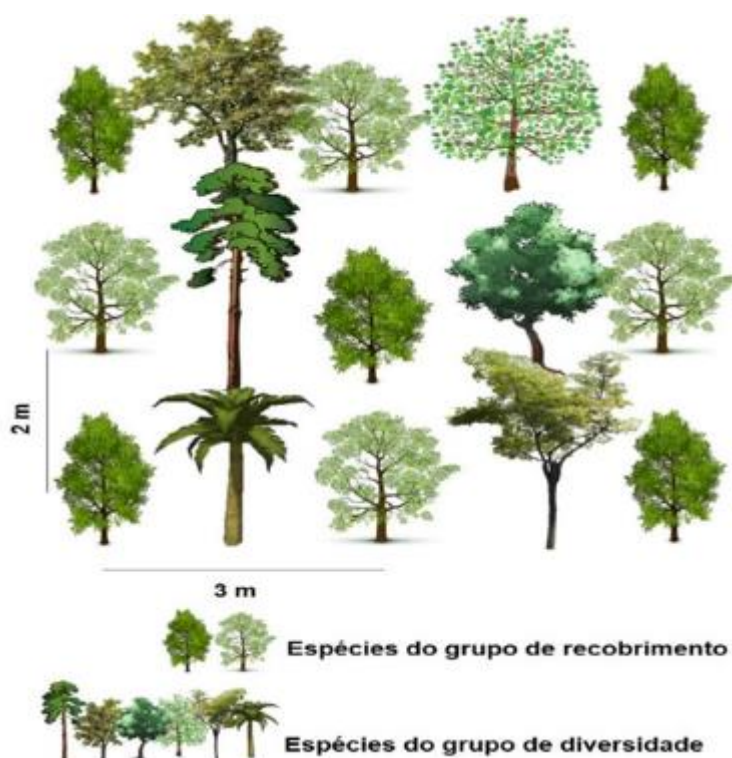


Figura 38: Esquema de plantio da etapa de diversidade, com espécies de ambos os grupos. (Figura: Golder Associates, 2017)

Há de se considerar, portanto, que ambas as técnicas se mostram viáveis para o sucesso da restauração, e serão utilizados em virtude dos diagnósticos de campo, que precedem a definição da estratégia de intervenção e a elaboração dos projetos executivos. A utilização dos modelos dentro da modalidade de plantio total, mostra-se como uma alternativa viável frente às incertezas do comportamento das espécies florestais sobre rejeitos.

7.4.8.1.3.4 Sistemas agroflorestais com fins à restauração ecológica

Segundo a Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, Sistemas Agroflorestais, constituem uma forma de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes. De modo complementar, a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 dispõe no Art. 66

“§ 3º: A recomposição de que trata o inciso I do caput poderá ser realizada mediante o plantio intercalado de espécies nativas com exóticas ou frutíferas, em sistema agroflorestal, observados os seguintes parâmetros:

I - O plantio de espécies exóticas deverá ser combinado com as espécies nativas de ocorrência regional;

II - a área recomposta com espécies exóticas não poderá exceder a 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recuperada.

§ 4º Os proprietários ou possuidores do imóvel que optarem por recompor a Reserva Legal na forma dos §§ 2º e 3º terão direito à sua exploração econômica, nos termos desta Lei.

§ 5º A compensação de que trata o inciso III do caput deverá ser precedida pela inscrição da propriedade no CAR...”

Entretanto, em uma análise da real situação do uso e ocupação de terras no Brasil, a localização dessas áreas coincide em grande maioria com a área produtiva principalmente, como as áreas ciliares em pequenas propriedades, o que exige a proposição de estratégias alternativas de restauração que requerem a adoção de estratégias que tornem a restauração mais eficiente. No caso das zonas ripárias impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão, escopo deste programa a totalidade das áreas constitui propriedade privada, e seus proprietários precisam ser de alguma forma engajados a participar do processo.

Nesse sentido, a implantação de sistemas agroflorestais em matas ciliares constitui uma importante oportunidade de adequação ambiental de propriedades produtivas (Moraes, 2013). Uma propriedade ambientalmente adequada é aquela que cumpre plenamente a legislação ambiental ao mesmo tempo que mantém uma produtividade agropecuária e garante a qualidade de vida de seus proprietários (Campanili & Schäffer, 2010). Ainda segundo (Morais, 2013), compreendendo a importância social das APP, a legislação ambiental prevê que a restauração dessas áreas pode incluir o manejo agroflorestal, além da exploração de produtos não madeireiros, como os oriundos da apicultura e da fruticultura tropical. Para as áreas de Reserva Legal também pode haver

aproveitamento econômico, mediante o manejo sustentável previamente autorizado pelo órgão ambiental competente.

Segundo Brasil, *et al.* 2008, na publicação do Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica, os SAFs se constituem em uma alternativa sustentável para ocupar áreas desmatadas e para cooperar no processo de restauração do patrimônio florestal nativo. Nos programas de restauração de Reservas Legais e de Áreas de Proteção Permanente (APPs) e na formação de corredores de biodiversidade, agricultores familiares podem utilizar alternativas agroflorestais. No caso mais específico de restauração de APPs, uma forma é ocupar durante dois anos por cultivos agrícolas de ciclo curto, caracterizando, dessa forma, um tipo de SAF genericamente denominado de “taungya”

Miccolis, *et al.* 2016, afirmam que estudos científicos analisados, assim como as experiências dos agricultores, mostram que os tipos de SAFs mais recomendados para fins de restauração e conservação ambiental, são os complexos, biodiversos ou sucessionais, pois estes se assemelham aos ecossistemas originais do contexto local, principalmente em termos de processos e funções, e são manejados de acordo com a lógica da sucessão natural. Segundo o mesmo autor, estes tipos de SAF também permitem a inclusão do conceito amplo de conservação onde o ser humano é incluído na restauração ecológica, uma vez que o sistema fornece alimentos e outros benefícios sociais, inclusive renda, ao mesmo tempo em que desempenha uma série de funções ecológicas importantes.

A construção dos modelos de SAF para fins de restauração de matas ciliares na bacia do rio Doce contemplarão etapas preliminares de extrema importância para o sucesso do projeto, como diagnósticos participativos, unidades demonstrativas, dias de campo, etc. Alguns fatores como número de pessoas que trabalham na propriedade, atuação de jovens e mulheres, faixa etária e outros, inviabilizam a criação de protocolos “modelo”, pois precisam ser ajustados a cada realidade/família. Uma premissa importante neste processo é a priorização de frutíferas e outras essências nativas, bem como a restrição ao uso madeireiro.

7.4.8.1.3.5 Tratos culturais e manutenções periódicas

7.4.8.2 Elaboração de projeto executivo

Para cada propriedade objeto de trabalho, serão elaborados projetos executivos antecedendo o início das atividades. Neste projeto serão descritas as técnicas e quantitativos a serem adotados para cada uma das APP a serem recuperadas. No projeto também será apresentado o cronograma da atividade detalhado com um mapa da APP de atuação. Este mapa servirá para apresentar o andamento das atividades, mostrando a evolução de plantio a ser apresentado também nos relatórios semanais.

7.4.8.2.1 Coleta e análise de solo

A análise do solo é a base para o uso racional, sustentável e econômico de recursos, por meio da recomendação correta de fertilizantes e corretivos, que, por sua vez, serão responsáveis por parte considerável da produtividade da cultura de interesse. A partir de uma amostragem correta do solo, é feita a análise dos atributos químicos, uma técnica de rotina utilizada para avaliação de sua fertilidade (CANTARUTTI *et al.*, 1999).

Para se constituir uma amostra composta será obedecido a retirada de 20 amostras simples, sendo, que será realizada no solo na proporção de 20-40 cm. Para melhor representar a área será adotado o método de caminhar em zig-zag.

1º Passo - Divisão da área em glebas ou talhões

Sempre que possível as áreas serão divididas em áreas menores buscando assim uma melhor representatividade local, para isso será levado em consideração a vegetação, a posição topográfica (topo do morro, meia encosta, baixada, etc.)

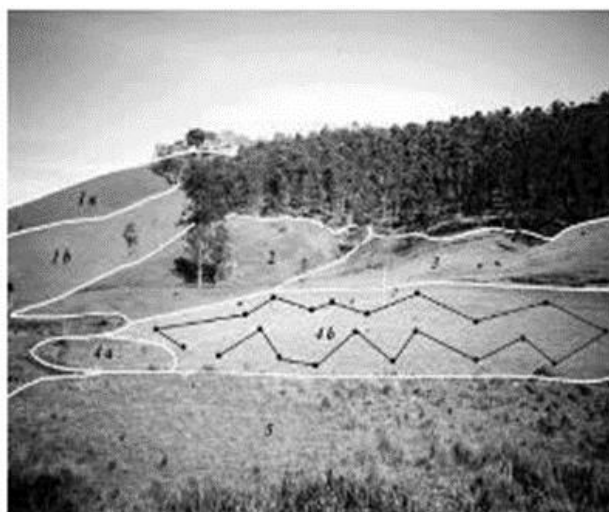


Figura 39: Divisões de área. Fonte: Cantarutti *et al.* (1999)

2º Passo – Coleta da Amostra Simples

Amostra simples são aquelas coletadas em cada ponto escolhido na gleba. Após chegar ao local de coleta a superfície do local deverá se limpa removendo restos vegetais (galhos, folhas, vegetação, etc.) sem, contudo, remover a camada superficial do solo, esta remoção será com auxílio de enxada ou enxadão. Para a coleta das amostras poderão ser utilizadas como ferramentas: Cavadeira de 2 bocas, trato holandês, trado de rosca ou trado calador.

Cada amostra sempre que possível será padronizada em 300 g, pois com a padronização tem-se uma melhor representatividade, após a coleta a amostra será depositada em balde plástico, pois, baldes de metal podem alterar no resultado final, entretanto, antes do deposito no balde deve-se proceder o descarte da extremidade do material da coleta e usar somente a parte interna do solo, para essa retirada pode-se utilizar de canivete ou faca, sempre prezando para não utilizar ferramenta suja para não atrapalhar na amostragem.

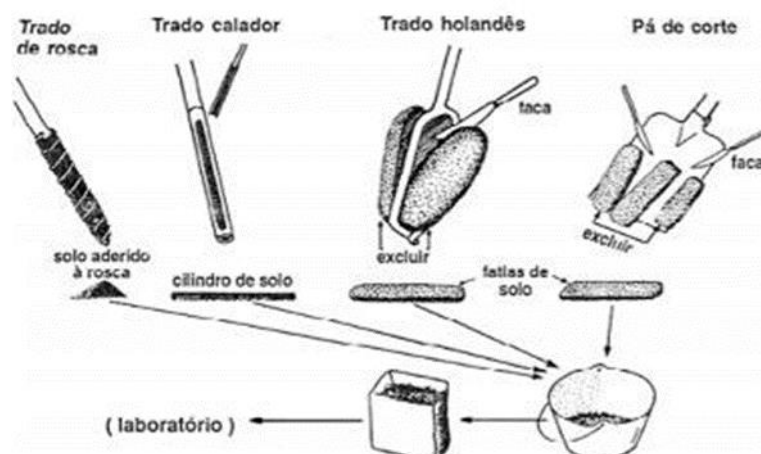


Figura 40: Coleta de amostra simples para formar uma composta.
Fonte: Cantarutti *et al.* (1999)

3º Passo - Mistura das amostras simples (preparo da amostra composta)

Após coletadas todas as amostras simples, elas serão reunidas em um recipiente plástico limpo (bacia), serão destorroadas e homogeneizadas então retira-se a coleta composta contendo 300 g impreterivelmente. Para retirada da amostra composta não se recomenda o processo de peneiramento.

Após a retirada da amostra composta, a mesma deverá secar a sombra, em seguida acondicionado em saco plástico limpo, posteriormente procede-se a identificação da amostra, conforme abaixo:

Amostra XX		
Propriedade/Local: identificação)	XXXXXX	(Nº de
Proprietário: XXXXXXXX		
Local de Coleta: XXXXXXXX (ex. pastagem, cana, etc.)		

Após a correta identificação, o material deverá seguir para o laboratório credenciado para que se gere a análise química e física do solo.

7.4.8.2.2 Preparo Do Solo

O preparo do solo é o conjunto de atividades que visa melhoria das condições físicas do terreno, para facilitar o crescimento e desenvolvimento das raízes,

mediante o aumento da aeração, da infiltração de água e diminuição da resistência do solo à expansão das mesmas, além disso também tem como objetivo a eliminação das plantas invasoras. Esta atividade poderá ser realizada de forma manual ou mecanizada que serão executadas conforme a necessidade das áreas de plantio. A seguir seguem as descrições de cada forma de preparo.

7.4.8.2.3 Sulcagem

Essa atividade será desenvolvida com a utilização do sulcador acoplado ao trator de esteira ou agrícola, a escolha do tipo de trator será de acordo com grau de compactação do solo e profundidade do sulco. Tem como principal finalidade a descompactação do solo e abertura de sulcos para o plantio (Figura 41 e Figura 42).

A utilização desta técnica será baseada nas condições locais, não podendo ser implantada nas áreas em regeneração. A principal característica da área a receber este preparo será o grau de compactação do solo e presença de espécies herbáceas e gramíneas.



Figura 41: Sulcagem



Figura 42: Sulcagem

7.4.8.2.4 Roçada manual

Nas áreas de enriquecimento, será realizada a roçada manual seletiva para que não ocorra impacto na vegetação nativa em regeneração já presente na área. Essa roçada objetiva o controle de plantas daninhas ou invasoras, principalmente de gramíneas presentes no terreno, caracterizadas por serem bastante agressivas, impedindo que as mudas nativas se desenvolvam, competindo por luz, água, nutrientes e volume de solo e podem servir ainda como foco de disseminação de pragas e doenças.

Essa atividade poderá ser realizada de forma manual (foice) ou semi-mecanizada (motorroçadeira) de acordo com as características de cada área, visando o controle da vegetação herbácea e sub-lenhosa existente ao redor das mudas, sendo que o corte desta vegetação herbácea deve ser realizado o mais rente possível do solo.



Figura 43: Roçada Manual



Figura 44: Plantio de capim elefante

7.4.8.2.5 Roçada semi-mecanizada

A roçada semi-mecanizada será realizada através da utilização de roçadeira que apresenta uma maior produtividade em relação a roçada manual. Para a realização desse método será empregada de mão-de-obra especializada, devidamente treinada (Figura 45 e Figura 46).

A roçada semi-mecanizada poderá ser realizada em todas as áreas, sendo definida de acordo com as características de cada uma delas.



Figura 45: Roçada semi-mecanizada



Figura 46: Roçada semi-mecanizada

7.4.8.2.6 Combate as formigas cortadeiras

O ataque de formiga é prejudicial em qualquer fase do plantio, por isso, é importante que o combate da mesma seja realizado antes (combate inicial), durante (repasses) e após (ronda) o plantio, porém, como as formigas têm preferência pelas folhas novas e tenras, o dano é maior durante a fase de crescimento inicial da planta, onde o corte das folhas pode chegar a causar até mesmo a morte do plantio.

Combate inicial: o combate inicial será realizado em toda a área a ser plantada, e numa faixa de 100 metros de largura ao redor da área de plantio (aplicação no entorno em aproximadamente 20% da área). Essa operação deverá ser executada preferencialmente antes do controle da vegetação invasora. No entanto, diante da dificuldade de locomoção de pessoal e até mesmo da localização dos formigueiros, tem sido mais eficiente quando realizada após a limpeza da área com roçada, mas antes do revolvimento do solo. Quando o combate inicial for feito após a limpeza da área, deve-se aguardar um período de tempo 60 dias entre a operação de limpeza e o combate.

O repasse é a operação que visa combater os formigueiros que não foram totalmente extintos no combate inicial, bem como aqueles que não foram localizados na primeira operação. O repasse é feito no mínimo, 60 dias após o combate inicial e/ou durante o plantio, em toda a área inclusive na faixa ao redor. Esses repasses devem ser realizados até 04 meses após o plantio, de acordo com a visualização de danos às mudas.

A ronda é a operação de combate às formigas, realizada durante todo o período de formação e maturação do plantio. Após o plantio a ronda é uma operação constante até os quatro meses e depois, normalmente, a cada seis meses, de forma a evitar a proliferação dos formigueiros. Ocasionalmente, havendo surtos, pode haver a necessidade de combater às formigas.

O método da isca granulada deverá ser utilizado, principalmente a isca formicida granulada à base de sulfluramida (princípio ativo que forma parte de diversos inseticidas de ação lenta sob a forma de iscas com componentes atrativos para as formigas), devido à sua facilidade de aplicação, alto rendimento, alta eficiência, ausência de odor (não sendo repelente para o inseto), baixa

toxicidade ao homem e ao meio ambiente, condições econômicas compatíveis com o mercado (ANJOS *et al.*, 1998). A isca formicida à base de Sulfluramida é um composto classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), como de categoria IV, ou seja, pouco tóxico.

Esse formicida deve ser usado em período seco (dias ensolarados e com baixa umidade). Para o combate das saúvas (gênero *Atta*), a forma de aplicação deve ser localizada, na dosagem de 8 a 10 gramas de isca por metro quadrado de terra solta do formigueiro, para o combate das quenquéns (gênero *Acromyrmex*), a aplicação deve ser realizada de forma sistemática em toda a área de plantio, sendo aplicado de 8-10 g de isca a cada 15-20 m² da área de plantio, o que corresponde a aproximadamente 5,0 kg de isca por hectare.

A aplicação da isca granulada deverá ser executada com dosadores nos olheiros de alimentação (orifícios no solo onde as formigas entram com as folhas no formigueiro), distante cerca de 15 a 20 centímetros do olheiro e ao lado dos carreiros. Os olheiros de alimentação e carreiros encontram-se ao redor do monte de terra solta, podendo ser identificados a partir de folhas picadas ao seu redor. Em formigueiros iniciais sem olheiros de abastecimento, deve-se aplicar a isca a 20 cm do mesmo em qualquer um dos lados. Em olheiros de abastecimento com terra solta, a isca deve ser aplicada do lado contrário de onde as formigas estão retirando a terra. E, em olheiros de abastecimento sem carreiro e terra solta, fazer a aplicação da isca a 20 cm de distância e em qualquer um dos lados (Figura 47 e Figura 48).



Figura 47: Combate a formiga



Figura 48: Combate a formiga

7.4.8.2.7 Espaçamento

O espaçamento do plantio é definido de acordo com a técnica que será utilizada em cada uma das APP's a serem recuperadas.

7.4.8.2.8 Plantio

Para o plantio convencional visando a recomposição florestal nas áreas próximas a remanescentes florestais serão utilizados os espaçamentos convencionais a depender do diagnóstico inicial da área. O espaçamento adensado, proporciona a redução dos custos de manutenção, promovendo uma alta competição entre plantas e com crescimento em altura das espécies de preenchimento. Deste modo, a formação de um habitat propício ao desenvolvimento das espécies de diversidade é atingida com maior rapidez. O espaçamento 3x4m permite ainda considerar a regeneração natural da área e reduz custos por abranger menos quantidade de mudas por hectare, ao passo que a cobertura vegetal é atingida com mais tempo, por isso a importância de se fazer manutenções eficientes.

O plantio será realizado em nível, quando possível, onde as mudas são distribuídas de acordo com o grupo ecológico. Cabe salientar que este alinhamento poderá se interromper devido à presença de formações rochosas.

7.4.8.2.9 Regeneração natural com enriquecimento:

Conforme descrito ao longo do Programa, o plantio nas áreas de regeneração poderá englobar diversas técnicas, e objetiva aumentar a biodiversidade aos níveis naturalmente encontrados no ecossistema de referência.

Nas áreas de enriquecimento não haverá um espaçamento definido, as mudas serão dispostas aleatoriamente nas áreas ou em forma de núcleos, de forma a preencher os espaços com falhas da regeneração natural.

Nas áreas em regeneração além do plantio de enriquecimento serão adotadas técnicas para condução, que consistem basicamente na identificação a flora (mudas, propágulos) e na manutenção destas mudas e propágulos de forma a fornecer condições melhores de crescimento e fortalecimento. Neste sentido serão realizadas somente atividades de roçada seletiva, coroamento de regenerantes, controle de formigas cortadeiras e correção do solo em cobertura

7.4.8.2.10 Alinhamento das mudas em campo

O alinhamento é necessário para garantir que os espaçamentos entre as linhas e as mudas seja conforme especificado. Para esta atividade será utilizada uma haste de bambu, ou trena graduada. A haste será utilizada para balizamento do espaçamento e a marcação das covas será realizada com o auxílio de estacas de bambu (Figura 49 e Figura 50).



Figura 49: Alinhamento e marcação das mudas em campo



Figura 50: Covas marcadas

7.4.8.2.11 Coroamento

A presença de gramíneas na área objeto compromete o bom desenvolvimento das mudas florestais plantadas. Isto ocorre devido ao processo de competição por nutrientes contidos no solo, principalmente próximos às covas, em função da adubação realizada no ato do plantio. Assim a realização do coroamento antes da abertura das covas e após as mudas plantadas é muito importante. A capina em torno das mudas é conduzida manualmente com o uso de enxada.

O coroamento será realizado para o controle de invasoras, sendo que a distribuição das coroas no campo será feita de maneira descontraída, seguindo o espaçamento demarcado previamente. Esta operação consiste na capina realizada manualmente com o auxílio de enxadas, objetivando a retirada completa de toda a vegetação invasora no local onde a muda será plantada ou no entorno da muda quando o coroamento for de manutenção com um raio mínimo de 50cm.

Também será realizado o coroamento dos indivíduos identificados como regenerantes. Este coroamento será realizado nas mudas com altura igual ou inferior à 1,5 metros de altura objetivando diminuir a competição em torno da muda e conduzir a mesma ao crescimento.



Figura 51: Coroamento antes de plantio.



Figura 52: Muda coroada

7.4.8.2.12 Adubação

Com a finalidade de correção da acidez do solo, sempre que necessário será realizada a aplicação de calcário, conforme recomendação, baseada no 5a Aproximação (RIBEIRO 1999), metodologia mais indicado para a recomendação de calagem para o Estado de Minas Gerais, e, por analogia, para toda a Região Sudeste e parte do Centro-Oeste, baseia -se nos teores de alumínio (Al^{+++}) e de cálcio mais magnésio ($Ca^{++} + Mg^{++}$) (Método do Al e Ca + Mg trocáveis). A quantidade a ser aplicada será calculada em função dos resultados da análise de solo (Figura 53 e Figura 54).



Figura 53: Disposição de insumos nas covas.



Figura 54: Insumos distribuídos nas covas para mistura.

Em uma recomendação para adubação básica de plantio, considera-se a aplicação de 120 gramas de superfosfato simples (SS) ou NPK 5-10-10 por cova e 50 g de calcário dolomítico por cova, visando correção da acidez do solo e aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Entretanto, uma avaliação da acidez por pH e Al deve requerer atenção, pois as características do rejeito tendem a alcalinizar o solo, caso esta situação ocorra em conjunto com a indisponibilidade de Ca, deve-se adotar o gesso agrícola como fonte deste nutriente.

7.4.8.2.13 Execução do plantio

Após a realização do coroamento, deverá se proceder à abertura das covas sobre o terreno, sendo que as suas dimensões mínimas serão de 40x40x40 cm (profundidade x largura x comprimento), podendo chegar a 40x40x40 cm. Essas dimensões poderão sofrer variações de forma a ser o mais compatível possível com o tamanho dos torrões das mudas. As covas serão abertas depositando-se a terra extraída ao lado da cova para posterior incorporação dos insumos. As mudas terão tamanho mínimo de 35cm e poderão ser produzidas em tubetes ou sacola.

A atividade de abertura de covas poderá ser realizada de forma manual (com enxadão ou cavadeira) e semi-mecanizada (motocoveador). Deve-se evitar o espelhamento da parede interna da cova para não dificultar o desenvolvimento do sistema radicular da planta.

Antes do plantio, os adubos serão bem misturados com a terra produzida no coveamento. Esse produto é colocado diretamente na cova, em quantidade suficiente a permitir que quando a muda já estiver nela, fique numa altura em torno de 5 cm abaixo do nível do solo. Esta não deve ficar numa altura suficiente a formar uma pequena "bacia", de modo a facilitar o recebimento da água das chuvas e das possíveis irrigações. Colocada a muda na cova, de imediato ela será preenchida com a mistura de terra mais adubos, fazendo-se uma pressão com as mãos nos lados (nunca por cima) junto ao torrão da muda.

Após o plantio as mudas receberão tutores para melhor direcionamento do crescimento.



Figura 55: Abertura de cova manual.



Figura 56: Abertura de cova semi- mecanizada



Figura 57: Plantio de muda florestal.



Figura 58: Tutoramento de muda.



Figura 59 - Plantio de mudas com utilização de hidrogel.



Figura 60 - Irrigação manual das mudas.

Sempre que necessário, mediante planejamento prévio, será utilizado o gel de qualidade reconhecida na mistura da água de irrigação visando a sua retenção no solo junto a muda após o plantio. Serão utilizados 300 gr/ha misturados em

300 litros de água e serão colocados de 3 a 4 litros da mistura/muda no dia do plantio e nas irrigações posteriores aos 3 e 5 dias após o plantio.

Importante ressaltar que a irrigação será realizada em frequência suficiente para o estabelecimento inicial das mudas que por ventura sejam introduzidas em período de estiagem ou de modo emergencial.

7.4.8.3 Manutenção das atividades

Considerando-se a possibilidade de morte de algumas mudas, fato que é relativamente comum em trabalhos dessa natureza, é necessário realizar o monitoramento do plantio e o a substituição de indivíduos mortos. O monitoramento tem como objetivo a avaliação dos resultados obtidos nas ações de plantio, indicando a necessidade de novas intervenções, orientando quais as ações de manutenção devem ser priorizadas.

Para otimizar os recursos aplicados durante as atividades de manutenção o monitoramento será realizado por metodologia específica detalhada no próximo capítulo.

Após 30 dias da implantação, caso haja uma taxa de mortalidade superior a 5%, será realizado o replantio. Após 1 ano, ou no período de chuvas subsequentes, caso haja percentual de perda semelhante, replantio também deverá ser refeito, garantindo 80% de sobrevivência das mudas. A atividade ocorrerá após a vistoria de avaliação, procedendo-se à substituição daquelas que porventura tenham morrido ou mesmo que estejam em precárias condições fitossanitárias.

Durante os trabalhos de plantio e replantio as embalagens das mudas serão retiradas do local e encaminhadas para um destino adequado.

A manutenção objetiva a realização das atividades executadas na implantação, geralmente em menores proporções. Os novos tratamentos culturais permitem sanar quaisquer falhas no desenvolvimento das atividades durante a implantação, ou ainda interromper processos de interferência antrópica.

Decorridos aproximadamente 60 dias após o término da fase de implantação, será realizada a primeira manutenção da área com roçada seletiva, reforço no combate às pragas (formigas e cupins), o coroamento das mudas e uma adubação de cobertura na proporção de 100 g de NPK 25:5:20 por muda. A

vegetação removida durante o coroamento será mantida no entorno da muda, favorecendo a retenção de umidade e contribuindo com o fornecimento de nutrientes ao solo.

A manutenção das áreas será realizada por um período de dezesseis meses com base em um cronograma pré-estabelecido, porém as técnicas poderão ser realizadas de acordo com a necessidade de manutenção das áreas de forma a garantir a sobrevivência das mudas, sempre em acordo com a CONTATADA.

- Primeira Manutenção: 2 meses após a conclusão da implantação;
- Segunda Manutenção: 5 meses após a conclusão da implantação;
- Terceira Manutenção: 9 meses após a conclusão da implantação;
- Quarta Manutenção: 12 meses após a conclusão da implantação;
- Quinta Manutenção: 16 meses após a conclusão da implantação.

7.4.8.3.1 Gestão e Controle da Qualidade do Plantio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015) considera que um dos principais fatores no desempenho de uma organização é a qualidade de seus produtos e serviços.

A avaliação e o monitoramento da qualidade são fundamentais para redefinir a trajetória ambiental da área em processo de restauração, podendo prever situações de declínio ou baixo potencial de sustentabilidade futura, podendo evitar que todo o tempo e recurso investidos para a recuperação sejam desperdiçados em curto prazo (BRANCALION *et al.*).

O objetivo deste monitoramento será verificar a qualidade na execução das principais operações referentes ao processo de implementação e manutenção de projetos de restauração florestal, por meio do desenvolvimento de ferramentas de gestão capazes de facilitar tomadas de decisões com maior segurança e rapidez. Para tanto, foram definidos indicadores para este monitoramento (tabela 13), quais sejam:

- Taxa de Mortalidade;
- Controle de Qualidade no Plantio (com sub-indicadores);
- Controle de Qualidade da Proteção Florestal (Cercamento e Aceiramento).

Este Monitoramento irá identificar o progresso ou a necessidade de intervenções dos programas de restauração florestal em andamento, bem como subsidiar o encerramento da cláusula 159 do TTAC. Serão objeto deste monitoramento todas as metodologias de recuperação definidas, conforme descrição a seguir:

- i. Monitoramento em áreas de plantio total de espécies nativas: adotará obrigatoriamente todo o escopo do monitoramento qualitativo e ecológico.
- ii. Monitoramento em áreas com plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas: adotará parcialmente o escopo do monitoramento qualitativo e obrigatoriamente o ecológico.
- iii. Monitoramento em áreas de condução de regeneração natural de espécies nativas: adotará apenas o componente de avaliação da proteção florestal contra fatores de degradação e obrigatoriamente todos os componentes do ecológico.
- iv. Monitoramento em áreas com uso de Sistemas Agroflorestais (plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recomposta): adotará obrigatoriamente o monitoramento qualitativo e uma adaptação da metodologia do monitoramento ecológico com bases nos indicadores definidos para esta modalidade.

O monitoramento da qualidade nas operações de restauração florestal que fazem parte do Programa 25 - Recuperação da Área Ambiental 1 – será executado nas áreas de preservação permanente - APPs, nascentes, bem como florestas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

Na Tabela 13 a seguir encontra-se informações detalhadas da metodologia de medições dos indicadores citados acima tais como: O que, como, quando, onde avaliar e a Meta do indicador.

Tabela 13 Informações detalhadas da metodologia de medições dos indicadores citados acima tais como: O que, como, quando, onde avaliar e a Meta do indicador.

Item de Monitoramento	O que avaliar	Como avaliar	Quando avaliar	Amostragem	Meta
TAXA DE MORTALIDADE	Percentual de mudas mortas e secas	<p>Verificar a condição das mudas em campo (quantificar mudas mortas e secas) A amostragem acontecerá em 100% das propriedades participantes do programa, em ao menos uma unidade de trabalho, (APP).</p> <p>A metodologia de coleta de dados se dará da seguinte forma: A contagem se iniciará de forma sistemática a partir da primeira linha de plantio, o caminhamento será realizado em linha até o limite da área amostral, avaliando 5 (cinco covas) e em seguida mudando para próxima linha paralela à direita, e novamente avaliando 5 (cinco) covas mudando para a próxima linha à direita, e assim sucessivamente até o limite final da área amostral.</p>	<p>1ª Avaliação: até 30 dias após o plantio;</p> <p>2ª Avaliação: 3 meses pós-plantio</p> <p>3ª Avaliação: 1 ano após a implantação</p>	Mensurar 5% do número das mudas plantadas na unidade de trabalho selecionada.	Igual ou inferior a 20%
CONTROLE DE QUALIDADE NO PLANTIO	% de mudas não firmes	<p>Avaliar as mudas plantadas em cada amostra e realizar a contagem dos desvios de cada item avaliado e registrar o percentual em relação ao total de mudas avaliadas. Quantificar o total de inconformidades na qualidade do plantio e calcular o % de desvio.</p> <p>A amostragem acontecerá em 100% das propriedades participantes do programa, em ao menos uma unidade de trabalho,(APP).</p> <p>A metodologia de coleta de dados se dará da seguinte forma: A contagem se iniciará de forma sistemática a partir da primeira linha de plantio, o caminhamento será realizado em linha até o limite da área amostral, avaliando 5 (cinco covas) e em seguida mudando para próxima linha paralela à direita, e novamente avaliando 5 (cinco) covas mudando para a próxima linha à direita, e assim sucessivamente até o limite final da área amostral.</p>	No Plantio	<p>100% das propriedades: Mensurar 5% do número das mudas plantadas na unidade de trabalho selecionada.</p>	<p>Igual ou superior a 80%</p>
	% de mudas inclinadas		No plantio		
	% de mudas quebradas		30, 90, 180 e um ano após a implantação		
	% falhas no plantio		30, 90, 180 e um ano após a implantação		
	% de mudas sem bacia		No Plantio		
	% de mudas com coleto soterrado		No Plantio		
	% de mudas atacadas por pragas (insetos)		30, 90, 180 e um ano após a implantação		
% mudas com sintomas de doenças (fungos e bactérias)	30, 90, 180 e um ano após a implantação				

Item de Monitoramento	O que avaliar	Como avaliar	Quando avaliar	Amostragem	Meta
	% mudas com sintomas de deficiência nutricional		30, 90, 180 e um ano após a implantação		
	% mudas com Gel exposto		No Plantio		
	% de mudas com a profundidade de plantio inadequada		No Plantio		
	% de mudas pisoteadas (animais domésticos e silvestres)		30, 90, 180 e um ano após a implantação		
CONTROLE DE QUALIDADE DA PROTEÇÃO FLORESTAL	Cercamento da Unidade De Trabalho Percentual de não conformidades	<p>A amostragem acontecerá em 100% das propriedades participantes do programa, em ao menos uma unidade de trabalho (APP).</p> <p>Observa-se que o item: conformidade das distâncias mínimas do curso d'água referente ao cercamento de app, constituem requisitos legais e deverão ser cumpridas em 100% das unidades de trabalho.</p> <p>Itens a serem avaliados na qualidade do cercamento: Estacas de eucalipto tratado com anti-racha; Diâmetro mínimo das estacas; Espaçamento entre estacas;</p> <p>1º fio (Arame liso) e 4 fios (Arame farpado); Estacas firmes; Vértices com esticador (mourão) em eucalipto tratado; Altura e diâmetro do mourão. Distanciamento entre estacas e entre arames pode variar em até no máximo 10%.</p>	Semestral até a finalização do projeto	<p>100% das propriedades com: avaliação aleatória de no mínimo uma unidade de trabalho (APP)</p> <p>Verificar 100% do perímetro cercado da unidade de trabalho selecionada.</p>	% de não conformidades igual ou inferior a 20%

Item de Monitoramento	O que avaliar	Como avaliar	Quando avaliar	Amostragem	Meta
	<p>Aceiramento da Unidade De Trabalho</p> <p>Percentual de não conformidades</p>	<p>A amostragem acontecerá em 100% das propriedades participantes do programa, em ao menos uma unidade de trabalho,(APP), definida por sorteio aleatório.</p> <p>Presença e disposição do aceiro em relação à cerca (dentro, fora ou no meio); Largura de 3 metros; Ocorrência de galhos que possibilitem a passagem do fogo por cima do aceiro; Presença de material combustível;</p>	<p>Anual até a finalização do projeto</p>	<p>100% das propriedades com: avaliação aleatória de no mínimo uma unidade de trabalho (APP)</p> <p>Verificar 100% do perímetro cercado da unidade de trabalho selecionada.</p>	<p>% de não conformidades igual ou inferior a 20%</p>

A figura 61 a seguir ilustra a metodologia de caminhamento a ser conduzido no processo de controle da qualidade. A contagem se iniciará de forma sistemática a partir da primeira linha de plantio, o caminhamento será realizado em linha até o limite da área amostral, avaliando 5 (cinco covas) e em seguida mudando para próxima linha paralela à direita, e novamente avaliando 5 (cinco) covas mudando para a próxima linha à direita, e assim sucessivamente até o limite final da área amostral.

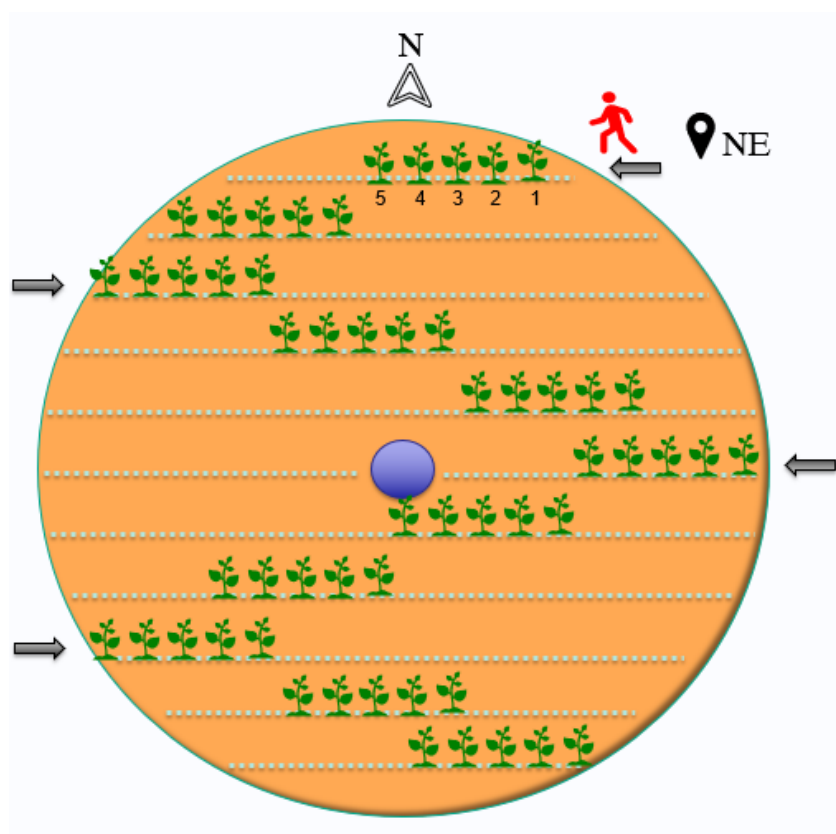


Figura 61 – Metodologia de caminhamento para avaliação da qualidade do plantio.

Os resultados obtidos subsidiarão as medidas necessárias para recomendações de melhorias dos pontos de atenção.

7.4.8.3.2 Monitoramento dos indicadores de efetividade

Diante da complexidade de situações ambientais e níveis de impacto encontrados na restauração em larga escala de ecossistemas degradados, a restauração nem sempre pode ser realizada através de uma única técnica ou modelo. Diferentes abordagens podem e devem ser aplicadas, tanto na

definição das ações de restauração como no monitoramento dos projetos (MARTINS, 2014, 2018a).

Particularmente na restauração das áreas atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão, bem como das áreas de compensação florestal na bacia do Rio Doce, que compõem um dos maiores programas de restauração em larga escala do Brasil em curso, o mosaico de situações ambientais vem exigindo um grande esforço em termos de estabelecimento de protocolos adaptados para restaurar e monitorar a restauração dessas áreas.

Em um esforço conjunto entre Fundação Renova, IBAMA, Laboratório de Restauração Florestal da Universidade Federal de Viçosa (LARF-UFV), Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) e Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA-ES), foi produzido um protocolo de cenários de potencial de regeneração natural e de indicadores/parâmetros de monitoramento para cada um destes cenários.

Adotou-se neste estudo uma abordagem semelhante à utilizada por *Martins et al.* (2014), para classificar as regiões do estado do Espírito Santo quanto ao potencial de regeneração natural, porém com as peculiaridades das situações encontradas na região localizada entre Mariana e Santa Cruz do Escalvado-MG, diretamente atingida pelo depósito de rejeitos.

Nesta abordagem foram definidos três cenários de resiliência, sendo eles: o Cenário A, em que as áreas apresentam alto potencial de regeneração natural; o Cenário B, das áreas com médio potencial de regeneração; e o Cenário C, das áreas com baixo potencial de regeneração. Assim, para cada cenário foram definidas modalidades de restauração, os indicadores ecológicos ou parâmetros a serem monitorados e os resultados esperados para estes indicadores, em intervalos de dois anos, até o sexto ano após implantação do projeto, em atendimento as diretrizes estabelecidas na cláusula 159 do TTAC.

Portanto, esta abordagem possibilitará avaliar o sucesso das modalidades de restauração implantadas em cada cenário, e o mais importante, corrigir a tempo eventuais desvios de rota das metas pré-estabelecidas.

Neste contexto, considera-se que esta construção representa uma das mais importantes contribuições para o monitoramento ecológico de projetos de

restauração florestal em larga escala, que embora tenha sido elaborado especificamente para a bacia do Rio Doce, poderá ser adaptado a outras regiões de Minas Gerais e do país.

7.4.8.3.3 Parâmetros/Indicadores

Os parâmetros/indicadores de efetividade da restauração florestal previstas no âmbito deste programa, serão avaliados de acordo com 3 (três) cenários distintos, a serem considerados de acordo com as características da área, seu grau de impacto, características do entorno e potencial de resiliência do ambiente.

Neste sentido, foram considerados os cenários apresentados na Tabela 14 e Tabela 19 para avaliação e definição de indicadores específicos e limites mínimos de inclusão para cada critério, sendo os mesmos projetados a curto e médio prazos (2, 4 e 6 anos), afim de possibilitar o monitoramento e comparação da evolução destas áreas ao longo do tempo.

Tabela 14. Cenários considerados e critérios de avaliação definidos para cada indicador e ambiente.

Cenários	Descrição
A	Áreas com alto potencial de regeneração (Presença abundante de vegetação regenerante; uso de pouca ou nenhuma técnica de manejo e baixa necessidade de intervenções adicionais).
B	Áreas com médio potencial de regeneração (Alguma presença de vegetação regenerante; necessidade de manejo e utilização de técnicas de plantio de mudas ou semeadura direta de espécies de recobrimento e diversidade, podendo estas serem empregadas de forma separada ou em conjunto (regeneração, enriquecimento e/ou adensamento com espécies-alvo ou demais nativas, nucleação etc.).
C	Áreas com baixo potencial de regeneração (Ausência de regenerantes; necessidade de utilização de técnicas para plantio em área total, podendo incluir as técnicas do cenário B (também utilizadas de forma separada ou em conjunto com outras, caso necessário), além da possibilidade de uso da semeadura direta e/ou plantio total de mudas).

Cabe destacar que estes cenários foram criados a fim de estratificar a área de acordo com as características específicas de cada trecho, isto porque o ambiente apresenta elevada heterogeneidade e a eficiência das técnicas/metodologias

utilizadas vai depender das características da paisagem, presença de remanescentes florestais, condições edáficas, umidade do solo, nível do distúrbio sofrido, acúmulo do rejeito, entre outras.

Neste sentido, para cada um dos diferentes cenários anteriormente citados, serão considerados diferentes critérios de avaliação dos indicadores abaixo elencados.

7.4.8.3.3.1 Diversidade de espécies

A mudança na riqueza e diversidade de espécies é o principal indicador do avanço do processo de sucessão (LIN *et al.*, 2006; VILLA *et al.*, 2018) variando consideravelmente durante a restauração (ZHANG e DONG, 2010). Em áreas abandonadas, com condições edafoclimáticas favoráveis e próximas a fontes de propágulos a riqueza e diversidade aumentam significativamente com o tempo (SARMIENTO *et al.*, 2003; HEITKAMP *et al.*, 2008; ZHANG e DONG, 2010), porém, quando essas condições não são observadas esse processo pode ser retardado notavelmente (ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2015).

Para a avaliação da diversidade florística das áreas afetadas pelo rejeito, serão realizados estudos fitossociológicos a fim de avaliar as condições atuais da vegetação existente (caso houver), na área sob influência do rejeito. Tais informações serão fundamentais para definir em qual cenário determinada área vai ser incluída, bem como para monitorar o avanço do processo de restauração ecológica destas áreas.

Para isto será tomado como linha de base ou ecossistema de referência, remanescentes de florestas nativas do entorno, que apresentem características de florestas secundárias em estágio médio de sucessão florestal. Como ressaltado por Martins *et al.* (2015), é evidente a importância do ecossistema de referência no planejamento da restauração ecológica, sendo que esta deve ser avaliada e monitorada com base na diversidade natural do tipo de ecossistema que se pretende restaurar.

Neste sentido, de acordo com a Tabela 15, foram definidas as mesmas regras e critérios de inclusão para as projeções futuras estabelecidas no tocante das características de diversidade de espécies para ambos os cenários, isto porque

em cada um deles, existirão características de base diferenciadas (descritas na Tabela 14), sendo, em todos os cenários, projetadas condições de evolução ao longo do intervalo de análise determinado, independente da condição inicial verificada.

Tabela 15. Projeção dos resultados esperados quanto a diversidade de espécies para cada cenário ao longo dos intervalos definidos.

CENÁRIOS	RESULTADOS ESPERADOS PARA A DIVERSIDADE DE ESPÉCIES		
	2 anos	4 anos	6 anos
A B C	20-30% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>30-40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)

Vale ressaltar que a definição dos valores à serem tomados como base de comparação para estes estudos (ecossistema de referência), serão obtidos diante um atual inventário florestal para a bacia do rio Doce, na qual será tomada a média dos valores encontrados como valor de referência.

Como ao longo da sucessão florestal normalmente ocorre um acréscimo em diversidade de espécies (LETCHER e CHAZDON, 2009; CHEUNG *et al.*, 2010; LOHBECK *et al.*, 2012; NORDEN *et al.*, 2012; LASKY *et al.*, 2014), espera-se um aumento gradual de espécies entre os monitoramentos a serem realizados aos dois, quatro e seis anos.

Nesta perspectiva, os valores encontrados em cada um dos anos avaliados, terão, obrigatoriamente, que apresentar uma evolução na diversidade das espécies ao longo dos anos. Caso esta progressão da diversidade não seja atingida, ações de manejo adaptativo deverão ser implementadas, dependendo do cenário enquadrado, como apresentado a seguir:

- **Cenário A:** Condução de regeneração natural de espécies nativas;
- **Cenário B:** Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (enriquecimento, adensamento, nucleação);

- **Cenário C:** Plantio total de espécies nativas.

7.4.8.3.3.2 Densidade de regenerantes

O monitoramento da densidade e composição de regenerantes fornece um forte indicativo da necessidade ou não do uso de técnicas de restauração ativa (plantio de mudas, semeadura direta, transposição de *topsoil*), uma vez que reflete a resiliência do ambiente (JONÁŠOVÁ *et al.*, 2010; SUGANUMA e DURIGAN, 2015). Assim sendo, para áreas que apresentam elevado número e diversidade de regenerantes, pode-se adotar a condução da regeneração natural como modalidade de restauração, sem necessidade de maiores intervenções (MARTINS, 2018).

No tocante a densidade de regenerantes, o objetivo é avaliar o montante de indivíduos vegetais que estão se desenvolvendo na área afetada pela lama após sua passagem e assim, possibilitar uma futura identificação dos indivíduos melhor adaptados a estas condições, bem como a viabilidade dos seus usos para o processo de restauração ecológica da área. Como critério de inclusão deste parâmetro, será considerado todos os indivíduos lenhosos com altura ≥ 30 cm e com circunferência a altura do peito (CAP) ≤ 30 cm.

Com este nível de inclusão, eventuais indivíduos arbóreos anteriormente existentes e sobreviventes à passagem da lama, não serão incluídos na análise. Cabe destacar que para os cenários B e C, a densidade total de espécies nativas será avaliada através da soma das espécies nativas plantadas com os regenerantes da área, isto porque, em ambos os cenários citados (B e C), serão realizadas técnicas de enriquecimento e/ou plantio de espécies nativas, devendo estas, serem incluídas na contabilização final das espécies existentes na área.

Diante disto, na Tabela 3 são apresentados os critérios de inclusão para os três cenários avaliados e sua proporção estimada ao longo de 6 anos. Observa-se que para os cenários A e B os valores de indivíduos diminuem com o passar do tempo, isto se deve ao fato de que nestes cenários já existem algum tipo de vegetação e com o avanço do processo sucessional, existe uma tendência em reduzir a densidade de indivíduos/ha, diferentemente das áreas com nenhum

tipo de cobertura (cenário C), que em 6 anos poderá estar ainda em estágio inicial de sucessão.

Tabela 16. Número de indivíduos propostos na avaliação da densidade de regenerantes para cada cenário analisado.

CENÁRIOS		RESULTADOS ESPERADOS PARA A DENSIDADE DE REGENERANTES		
		2 anos	4 anos	6 anos
A		> 1100 indivíduos nativos regenerantes/ha	> 1000 indivíduos nativos regenerantes/ha	> 940 indivíduos nativos regenerantes/ha (Reis, 2017)
B*		> 1100 indivíduos de espécies nativas/ha	> 1000 indivíduos de espécies nativas/ha	> 940 indivíduos de espécies nativas/ha
C*	P.T.	> 880 indivíduos de espécies nativas/ha	> 900 indivíduos de espécies nativas/ha	> 940 indivíduos de espécies nativas/ha
	P+C+E	> 1100 indivíduos de espécies nativas/ha	> 1000 indivíduos de espécies nativas/ha	> 940 indivíduos de espécies nativas/ha

*Incluído o número de espécies plantadas.

Onde: P.T.: Plantio Total de espécies nativas; P+C: Plantio de nativas + Condução da regeneração natural e enriquecimento.

Ainda para o cenário C, pode-se observar duas situações diferentes, que são explicadas de acordo com a metodologia de intervenção utilizada para a restauração destes ambientes. Assim, quando realizado o plantio total da área (P.T.), será aceito uma menor densidade de indivíduos/ha, isto porque as condições do ambiente não permitem a utilização de outras técnicas conjugadas, sendo esta a condição mais crítica que pode ser encontrada.

Por outro lado, neste mesmo cenário (C), podem ser utilizadas técnicas conjugadas, no intuito de acelerar o processo de restauração e utilizar a resiliência local como benefício para o processo ecológico. Contudo, isto somente poderá ser utilizado mediante recomendações técnicas e condições ambientais favoráveis para tal.

7.4.8.3.3 Controle de espécies invasoras

A presença de gramíneas invasoras, principalmente as forrageiras africanas, traz grandes desafios para a restauração. Essas espécies competem com as nativas regenerantes por água, nutrientes e radiação solar podendo retardar por longos períodos o processo de sucessão ecológica, ademais algumas podem gerar alelopatia e impedir a germinação de espécies nativas (DOUST, *et al.*, 2008; AQUINO *et al.*, 2012; MARTINS, 2018b). Assim como para os demais indicadores a cobertura da área por espécies exóticas agressivas deve ser monitorada, para tanto, é necessária uma avaliação temporal sistêmica para que seja possível alcançar os objetivos estabelecidos, sendo esperada uma diminuição progressiva dessas espécies com o avanço do projeto (RODRIGUES, *et al.*, 2009; RIGUEIRA e MARIANO-NETO, 2013).

Para avaliação da cobertura de espécies invasoras, que geralmente é verificado em áreas onde anteriormente à passagem da lama existiam pastagens, será utilizado a amostragem por meio de um gabarito com dimensões conhecidas, sendo avaliada então a percentagem de cobertura das espécies invasoras nesta área delimitada e em sequência, extrapolado estes montantes por hectare. Cabe destacar que o número de amostras estabelecidas deve representar da forma mais real possível a área.

De acordo com saídas a campo e outros estudos em desenvolvimento na área de influência do rejeito, pode-se observar que a braquiária (*Urochloa* spp.) é uma das principais gramíneas invasoras da área, devendo-se tomar cuidado e monitorar seu desenvolvimento ao longo do processo de restauração a fim de não prejudicar o processo sucessional da área e causar acentuada mortalidade nas mudas plantadas.

Como destacado por Martins (2018b), mesmo em áreas com solo não degradado e inseridas em paisagens com matriz florestal, ou pelo menos com fragmentos florestais próximos a regeneração natural pode ser muito lenta quando ocupadas por gramíneas exóticas agressivas como a braquiária.

Neste sentido, de acordo com a Tabela 4, são estabelecidos percentuais mínimos de cobertura para cada ano e cenário avaliados, sendo estes os limites toleráveis, na qual não se tornam necessárias intervenções a fim de controlar a presença da espécie em questão. Para este parâmetro, serão considerados apenas os cenários B e C, isto porque são estes os cenários que demandam algum tipo de intervenção para auxiliar o processo de restauração do ambiente.

Tabela 17. Percentual mínimo de cobertura por espécies invasoras para cada cenário e ano estabelecido.

CENÁRIOS	CONTROLE DE ESPÉCIES INVASORAS		
	2 anos	4 anos	6 anos
B C	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.

7.4.8.3.3.4 Solo exposto

O solo é parte fundamental do ecossistema, pois ele controla o ciclo hidrológico, erosivo, biológico e geoquímico (KEESSTRA *et al.*, 2012; BREVIK *et al.*, 2015; SMITH *et al.*, 2015). A ausência de cobertura vegetal causa grandes perdas de solo devido à erosão hídrica, que por sua vez, reduz a produtividade dos ecossistemas naturais (TROEH, *et al.*, 2004). Concomitantemente a perda de solo ocorre a perda de nutrientes, matéria orgânica e biota do solo, prejudicando severamente o sistema como um todo (PIMENTEL e BURGESS, 2013).

A avaliação do solo exposto está relacionada ao percentual de cobertura da vegetação em determinada porção de área e pode ser avaliada de diferentes formas, podendo ser utilizada imagens aéreas, espaciais, ou montagem de parcelas da mesma forma que o item anterior (utilização de um gabarito com dimensões conhecidas), contudo, desta vez, analisando a percentagem de área sem nenhuma cobertura.

Alguns trechos desta área apresentam pouca cobertura e, conseqüentemente, grande percentual de solo exposto devido a deposição do rejeito em heterogêneas camadas, causando assim, diferentes respostas quanto a

cobertura vegetal e adaptação de espécies à estas condições altamente restritivas.

Neste sentido, conforme exposto na Tabela 18, foram definidos os mesmos limites de percentagem máxima de solo exposto para os cenários B e C e respectivos anos de avaliação estabelecidos.

Tabela 18. Percentual de solo exposto tolerável para cada cenário e ano estabelecido.

CENÁRIOS	SOLO EXPOSTO		
	2 anos	4 anos	6 anos
B C	< 15%	< 15%	< 15%

As técnicas e procedimentos a serem propostos para o monitoramento das unidades de implantação devem atentar para os Cenários a eles associados e os indicadores de resultados propostos, com atenção aos seguintes critérios e respectivos resultados esperados:

Tabela 19: referência para orientar as estratégias para o monitoramento das áreas em restauração com espécies nativas:

Cenário	Descrição	Modalidade	Parâmetros/Indicadores	Resultados esperados 2 anos	Resultados esperados em 4 anos	Resultados esperados em 6 anos
Cenário A Áreas com alto potencial de regeneração	Presença abundante de vegetação regenerante; Técnicas com pouco manejo, e baixas intervenções adicionais,	condução de regeneração natural de espécies nativas	Diversidade de espécies	20-30% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>30-40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)
			Densidade de regenerantes (Maior ou igual a 30cm H até 30 de CAP)	> 1100 indivíduos nativos regenerantes/ha (Buscar referência)	> 1000 indivíduos nativos regenerantes/ha (Buscar referência)	> 940 indivíduos nativos regenerantes/ha (Buscar referência)
Cenário B Áreas com médio potencial de restauração	Alguma presença de vegetação regenerante; Técnicas com manejo por plantio de mudas ou semeadura direta de espécies de recobrimento e diversidade, aplicada, separada ou conjuntamente (regeneração, enriquecimento e/ou adensamento com espécies-alvo ou demais nativas, nucleação etc).	Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (Enriquecimento, adensamento, nucleação);	Diversidade de espécies nativas	20-30% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>30-40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)
			Densidade total de espécies nativas (Mudas + regenerantes)	> 1100 indivíduos de espécies nativas/ha	> 1000 indivíduos de espécies nativas/ha	> 940 indivíduos de espécies nativas/ha
			Controle de espécies invasoras	Cobertura ≤ 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura ≤ 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura ≤ 35% de invasoras monodominantes.
			Solo Exposto	< 15%	< 15%	< 15%
		Sistemas Agroflorestais em app	Solo exposto	Abaixo de 50%	Abaixo de 30%	Abaixo de 20%
			Proporção de espécies arbóreas nativas regionais	Acima de 50%	Acima de 50%	Acima de 50%
			Diversidade total de espécies	No mínimo 10 espécies, lenhosas, perenes, de ciclo longo por hectare ou fração, sendo que para propriedades com área de APP passível de restauração igual ou menor que 0,2ha deverão ser plantadas no mínimo 4 espécies.	No mínimo 10 espécies, lenhosas, perenes, de ciclo longo por hectare ou fração, sendo que para propriedades com área de APP passível de restauração igual ou menor que 0,2ha deverão ser plantadas no mínimo 4 espécies.	No mínimo 10 espécies, lenhosas, perenes, de ciclo longo por hectare ou fração, sendo que para propriedades com área de APP passível de restauração igual ou menor que 0,2ha deverão ser plantadas no mínimo 4 espécies.
Estratificação	Presença do componente arbóreo + um componente (herbáceo ou arbustivo)	Presença do componente arbóreo + um componente (herbáceo ou arbustivo)	Presença do componente arbóreo + um componente (herbáceo ou arbustivo)			

Cenário	Descrição	Modalidade	Parâmetros/ Indicadores	Resultados esperados 2 anos	Resultados esperados em 4 anos	Resultados esperados em 6 anos	
Cenário C Áreas com baixo potencial de restauração	Ausência de regenerantes; técnicas que demandarão plantio em área total, podendo incluir as técnicas do cenário B individual ou conjuntamente, caso necessário, além de semeadura direta ou plantio total de mudas.	Plantio total de espécies nativas	Densidade total de espécies nativas (Mudas + regenerantes)	> 880 indivíduos de espécies nativas/ha	> 900 indivíduos de espécies nativas/ha	> 940 indivíduos de espécies nativas/ha	
			Controle de espécies invasoras	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	
			Diversidade de espécies nativas	20-30% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>30-40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	
			solo Exposto	< 15%	< 15%	< 15%	
		Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (Enriquecimento, adensamento, nucleação);	Diversidade de espécies nativas	20-30% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>30-40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	>40% da diversidade de espécies nativas com relação ao ecossistema de referência (Floresta em estágio secundário médio)	
			Densidade total de espécies nativas (Mudas + regenerantes)	> 1100 indivíduos de espécies nativas/ha	> 1000 indivíduos de espécies nativas/ha	> 940 indivíduos de espécies nativas/ha	
			Controle de espécies invasoras	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	Cobertura \leq 35% de invasoras monodominantes.	
			Solo Exposto	< 15%	< 15%	< 15%	
			Sistemas Agroflorestais em app	Solo exposto	Abaixo de 50%	Abaixo de 30%	Abaixo de 20%
				Proporção de espécies arbóreas nativas regionais	Acima de 50%	Acima de 50%	Acima de 50%
		Diversidade total de espécies		No mínimo 10 espécies, lenhosas, perenes, de ciclo de longo por hectare ou fração	No mínimo 10 espécies, lenhosas, perenes, de ciclo de longo por hectare ou fração	No mínimo 10 espécies, lenhosas, perenes, de ciclo de longo por hectare ou fração	

7.4.8.3.4 Periodicidade do monitoramento, análises estatísticas e emissão de relatórios de progresso

Como forma de possibilitar o acompanhamento sistemático das ações de recuperação da ÁREA AMBIENTAL 1, considera-se como parte importante do processo o estabelecimento de uma rotina de reporte para cada indicador a ser monitorado, bem como as principais análises estatísticas consideradas para interpretação dos resultados. Relatórios periódicos de progresso serão elaborados contendo os resultados da evolução das ações de recuperação da ÁREA AMBIENTAL 1, para os indicadores monitorados no período.

- Cláusula 158:

Índice de Cobertura Vegetal:

Este indicador será monitorado em periodicidade semestral, por dois anos hidrológicos após a finalização das intervenções com finalização no ano hidrológico 2017/2018, através de ferramentas de geoprocessamento. Análises comparativas da evolução deste atributo serão realizadas em termos percentuais. Salienta-se, portanto, que o foco desta abordagem metodológica é o contraste entre áreas vegetadas e não vegetadas para quantificação de sua extensão, e não a classificação do tipo ou porte de cobertura vegetal associada.

Biomassa Total da Vegetação

O indicador será monitorado em periodicidade semestral em virtude das influências da sazonalidade sobre a vegetação. Para estimativa das tendências de biomassa, será utilizada análise de regressão linear simples para a relação entre valores médios de biomassa obtidos entre as campanhas amostrais. Premissas analíticas referentes à normalidade dos dados e heteroscedasticidade serão aferidas anteriormente às análises.

A linha de tendência obtida será confrontada à linha representativa da progressão isométrica dos valores médios de biomassa ao longo do intervalo de tempo. Uma análise comparativa dos valores de inclinação (coeficiente angular da regressão) da linha de tendência versus a isometria será realizada utilizando-se o teste de Fischer (F) frente à hipótese nula de que ambas as linhas apresentam a mesma inclinação.

Para estimação da biomassa a partir de análises de geoprocessamento, com suporte do software "R", será desenvolvido um modelo linear no qual as leituras anteriores (bandas 2, 3 e NDVI) são preditoras da biomassa (dos pontos de biomassa conhecida).

- Cláusula 160:

Índice de Redução de Perda de Solo:

Este indicador será monitorado por um ano hidrológico durante a implementação das ações de reabilitação inicial (2017/2018) e dois anos após conclusão, (2018/2019 e 2019/2020). As medições de campo serão realizadas a cada evento chuvoso para composição da série amostral. A relação entre precipitação versus escoamento superficial será ajustada por meio de linhas de tendência e determinação dos coeficientes de correlação linear (R^2). As diferenças entre os tratamentos serão avaliadas por meio de teste t.

Índice de Solo Exposto

O índice de solo exposto será monitorado anualmente ao final de cada ciclo hidrológico, até o ano de 2019/2020. Esta avaliação será realizada por meio de ferramentas de geoprocessamento considerando a mesma metodologia e análises do indicador "Cobertura Total da Vegetação", para a cláusula 158. O principal objetivo neste caso, é a avaliação da efetividade das ações de revegetação inicial com espécies de gramíneas e leguminosas para fins de reabilitação do solo. Em uma segunda fase composta pela restauração florestal das zonas ripárias, este indicador será monitorado anualmente no âmbito da cláusula 159, até o ano de 2026, e/ou atingimento das metas estabelecidas no Programa.

- Cláusula 159:

Controle e Gestão da Qualidade do Plantio

Conforme descrito no item 8.6 deste Programa, a avaliação e o monitoramento da qualidade na fase de plantio são fundamentais para redefinir a trajetória ambiental da área em processo de restauração, podendo prever situações de declínio ou baixo potencial de sustentabilidade futura, podendo evitar que todo

o tempo e recurso investidos para a recuperação sejam desperdiçados em curto prazo (BRANCALION et al.).

Taxa de Mortalidade;

Controle de Qualidade no Plantio (com sub-indicadores);

Controle de Qualidade da Proteção Florestal (Cercamento e Aceiramento).

A periodicidade de avaliação de cada um dos indicadores e sub-indicadores varia conforme a característica de cada atributo, descrito na tabela 13. O relatório de monitoramento do Controle e Gestão da Qualidade do plantio será encaminhado ao final do primeiro ano após o plantio, com os dados consolidados da avaliação dos indicadores e sub-indicadores monitorados no período.

- Cláusula 159:

Monitoramento Ecológico da Restauração

A estrutura de dados sobre indicadores de monitoramento (e.x., os indicadores todos: diversidade de espécies, densidade de regenerantes, cobertura de invasoras, solo exposto) como variáveis de análise dos três cenários de regeneração, ecossistema de referência e levantamentos bianuais poderá ser avaliada para determinar seu tipo de distribuição com o teste de Shapiro-Wilk (Crawley 2012). Seguidamente, indicam-se realizar comparações independentes das médias dos diferentes indicadores encontrados em cada cenário de regeneração com relação à média dos indicadores avaliados em ecossistema de referência (floresta nativa em estágio médio) para cada levantamento bianual de monitoramento (2, 4, 6 anos). Uma vez conferida à distribuição da estrutura dos dados, propõe-se um teste t para amostras independentes com distribuição normal, e, no caso contrário em que os dados apresentem uma distribuição não normal propõe-se a aplicação do teste Mann-Whitney (Crawley 2012).

Para comparar médias das variáveis (e.x., os indicadores todos) ao longo do tempo baseado nos levantamentos bianuais de monitoramento (2, 4, 6 anos), indica-se uma ANOVA de dois caminhos (para dados distribuídos normalmente) seguida de um teste a posteriori tukey ($p < 0,05$), e teste de Kruskal-Wallis (para dados não distribuídos normalmente) seguido por um teste a posteriori

de Dunn (Dinno 2017). Sugere-se que as análises sejam feitas no programa R.3.2.2 (R-Core-Team 2018), com os pacotes "car" e "dunn.test" (Dinno 2017). Indica-se testar ainda, uma série de modelos lineares generalizados e modelo de regressão linear para encontrar os modelos mais parcimoniosos que expliquem os efeitos principais do tempo como variável preditor sobre os indicadores de monitoramento (variáveis respostas), para cada cenário (A, B, C). A seleção dos modelos dependerá das características específicas dos dados em relação às premissas para aplicar cada tipo de modelo. Finalmente se estimará a razão de mudança temporal dos diferentes indicadores nos diferentes cenários de regeneração em relação ao ecossistema de referência. O monitoramento dos indicadores ecológicos da restauração florestal nas áreas impactadas serão realizados a cada 2 anos após o início da implantação das ações.

A apresentação dos resultados das ações de restauração florestal e monitoramento será realizada conforme os produtos descritos abaixo:

- Controle e Gestão e qualidade do Plantio: Fim do 1º ano de implantação.
- Monitoramento dos indicadores ecológicos (1ª campanha): Fim do 2º ano.
- Relatório de Progresso da Restauração: Fim do 3º ano.
- Monitoramento dos indicadores ecológicos (2ª campanha): Fim do 4º ano.
- Relatório de Progresso da Restauração (2ª campanha): Fim do 5º ano.
- Monitoramento dos indicadores ecológicos (Relatório final): Fim do 6º ano.

8.0 Interface com outros programas

Com objetivos de recuperação da vegetação nativa das áreas de APP, bem como das culturas agrícolas desenvolvidas nas propriedades impactadas pela deposição da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão, o Projeto de Restauração Florestal em propriedades rurais tem forte interface direta com o Programa de Manejo de Rejeitos Programa de Retomada das Atividades Agropecuárias e Programa de Fomento ao CAR e PRA, por meio de suas cláusulas relacionadas à recuperação das áreas impactadas pela deposição do rejeito.

A tabela abaixo, considera levantamento das interfaces deste programa com outros da Fundação Renova e as correspondentes ações para assegurar que elas sejam geridas de forma a produzir os melhores resultados.

Tabela 20: Interfaces com outros programas

Programa	Descrição da interface	Ações de Encaminhamento
PG06 e PG36 – Diálogo Social e Comunicação	Processo de divulgação de proprietários, no âmbito da recuperação florestal.	Auxiliar o Diálogo com questões técnicas, para embasá-lo no processo de divulgação aos proprietários, no âmbito da recuperação florestal.
PG17 e PG40 – Retomada da atividade Agropecuária e Fomento ao CAR e PRA	Intercessão entre a recuperação florestal e o retorno das atividades agropecuárias.	Compatibilizar as ações da recuperação florestal com o retorno das atividades agropecuárias.
PG23 – Manejo de Rejeitos	Ações de recuperação florestal associadas com as atividades do manejo de rejeitos.	Compatibilizar as ações entre a recuperação florestal e o plano de manejo de rejeitos.
PG26 e PG 27 – Recuperação de APPs e Nascentes	Ações de recuperação florestal, principalmente em APPs, integradas aos programas 26 e 27.	Compatibilizar diretrizes, padronizar procedimentos, compartilhar fornecedores de insumos florestais.
PG28 – Programa de Conservação da Biodiversidade	Estimular a conservação da biodiversidade com as ações de revegetação inicial, emergencial e temporária, por gramíneas e leguminosas; regularização de calhas e margens e recuperação florestal.	Avaliar de forma integrada o retorno das condições ambientais em virtude das obras de recuperação.
PG33 – Programa de Educação Ambiental	Acesso aos proprietários para explicar sobre os benefícios ambientais do programa e promover a sensibilização da manutenção das atividades do programa.	Definir ações para mobilização e engajamento dos proprietários de terras.

Programa	Descrição da interface	Ações de Encaminhamento
PG38 – Monitoramento da Bacia do Rio Doce	As ações desenvolvidas para minimização de erosões laminares e eólicas como revegetação emergencial, assim como, as atividades de estabilização de calhas e margens para controle de processos erosivos são fatores importantes para os resultados positivos esperados na Bacia do Rio Doce.	Utilizar dados como parâmetro de monitoramento das intervenções.

9.0 Planejamento consolidado do programa

9.1 Custo do programa (R\$ milhão)

O custo total do programa de Recuperação da Área Ambiental 1 no âmbito das cláusulas 158 a 160, foi orçado em R\$ 382,6 milhões de reais, sendo integralmente de natureza reparatória. Este limite orçamentário, entretanto, não representa em uma restrição para asseguar a implantação e garantia de efetividade das ações, em adimplemento ao estabelecido pelo paragrafo segundo, cláusula 203 do TTAC.

A tabela abaixo apresenta anualmente, a distribuição deste recurso ao longo da execução do programa.

Tabela 21: Custo estimado do programa em milhões.

DESCRIÇÃO	2016	2017	2018	2019	2020	2021 / 2026	Total
Projeto de Plantio Emergencial	22,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3
Projeto de Reabilitação de tributários e Controle de erosão da calha principal.	150,3	97,6	0,0	0,0	0,0	0,0	247,9
Projeto de Restauração florestal em propriedades Rurais	0,9	11,9	11,6	27,4	7,7	0,0	59,5
Monitoramento e manutenção	0,0	9,5	21,6	9,1	1,9	10,8	52,8
TOTAL	173,4	119,0	33,2	36,5	9,6	10,8	382,6

9.2 Cronograma do programa

Tabela 22: Cronograma macro do programa.

ATIVIDADE	INÍCIO	FIM
PRAZO PARA EXECUÇÃO DO PROGRAMA	Dez/15	Mar/26
Etapa 1 – Planejamento		
Projeto de Plantio Emergencial	Dez/15	Jan/16
Projetos de Reabilitação de tributários e Controle de erosão da calha principal	Dez/15	Set/16
Projeto de Restauração Florestal em Propriedades Rurais	Jan/18	Dez/18
Etapa 2 – Execução dos projetos		
Projeto de Plantio Emergencial	Dez/15	Jul/16
Projeto de Reabilitação de Tributários e Controle de erosão da calha principal	Set/16	Dez/17
Projeto de Restauração Florestal em Propriedades Rurais	Dez/17	Mar/26
Monitoramento e Manutenção de Plantio	Mar/22	Mar/26
Encerramento do Programa	-	Mar/26

10.0 Anexos

- Anexo I – Cláusulas 158, 159 e 160do TTAC

CLÁUSULA 158: Caberá à FUNDAÇÃO efetuar a revegetação inicial, emergencial e temporária, por gramíneas e leguminosas, visando a diminuição da erosão laminar e eólica, com extensão total de 800 ha (oitocentos hectares) e conclusão até o último dia útil de junho de 2016, de acordo com o programa aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS.

CLÁUSULA 159: Deverá, também, recuperar 2.000 ha (dois mil hectares) na **ÁREA AMBIENTAL 1** nos Municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, de acordo com o programa aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS.

PARÁGRAFO ÚNICO: A implantação das ações referidas no **caput** se dará em um prazo de 4 (quatro) anos, a contar da assinatura deste Acordo, com 6 (seis) anos complementares de manutenção, conforme cronograma a ser estabelecido no respectivo programa.

CLÁUSULA 160: Deverá ser feita pela FUNDAÇÃO a regularização de calhas e margens e controle de processos erosivos nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce no trecho a montante da UHE Risoleta Neves, a ser aprovado pelos ÓRGÃOS AMBIENTAIS, com conclusão até o último dia útil de dezembro de 2017.

PARÁGRAFO ÚNICO: É obrigação da FUNDAÇÃO realizar o manejo de rejeitos, nos termos estipulados na CLÁUSULA 151.

- Anexo II - Desenhos típicos – Projetos de Rios Principais
- Anexo III - Desenhos típicos – Projetos de Tributários
- Anexo IV – Lista de espécies florestais endêmicas da bacia do Rio Doce a serem utilizadas nos programas de reflorestamento

11.0 Referências Bibliográficas

ABNT – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. ABNT NBR ISO – 9001: 2015. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 32 p.

Agência Nacional de Águas - ANA. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Dados hidroclimatológicos. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: janeiro de 2016.

ALCÂNTARA, F. A. de, *et al.* Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, out. 2000.

ALVARES V., V. H. ; NOVAIS, R. F. de ; BARROS, N. F. ; CANTARUTTI, R.B. ; LOPES, A. S. . Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Antônio Carlos Ribeiro; Paulo Tácito G. Guimarães; Victor Hugo Alvarez V.. (Org.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a. Aproximação. 5ed.Viçosa, Minas Gerais: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, v. , p. 25-32.

AQUINO, F.G.; ALBUQUERQUE, L.B.; ALONSO, A.M.; LIMA, J.E.F.W.; SOUSA, E.S. Cerrado: Restauração de matas de galeria e ciliares. Brasília: EMBRAPA, 2012. 40p.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MELO, F.P.L.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; BONGERS, F.; CHAZDON, R.L.; MEAVE, J.A.; NORDEN, N.; SANTOS, B.A.; LEAL, I.R.; TABARELLI, M. 2015. Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. Biological Reviews. 2015; 92, 326–340.

ATKINS. R. LESLIE, D. POLSTER, D. WISE, M. AND R. WONG. Hillslope Restoration Best Management Practices. Watershed Restoration Technical Circular #3. BC Ministry of Forests and Ministry of Environment. 2001.

BARROS, P. L. de A.. Obras de contenção: manual técnico. Maccaferri: ago. 2009. Disponível em: Acessado em: 13 mar. 2017.

BELLOTTO, A.; VIANI, R.A.G.; NAVE, A.G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da

efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Org.) Pacto para restauração ecológica da mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Piracicaba: ESALQ, LERF; Instituto BioAtlântica, 2009. Cap. 3, p. 128-146.

BERNSTEIN, L.S.; JIN, X.; GREGOR, B.; ADLER-GOLDEN, S.M. Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. *Optical Engineering*, v. 51, n. 11, p. 111719-1-111719-112012.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DE ÁREAS EM PROCESSO DE RESTAURAÇÃO. Disponível em: [http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206\(2\).pdf](http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206(2).pdf) acessado em 25/09/2018.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S., Restauração florestal. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. INIBAMA Nº 04/2011, disponível em: <http://www.portosdoparana.pr.gov.br/arquivos/File/IBAMAinstrunormativa04.pdf>, acessado em 14/11/2017;

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

BREVIK, E.C.; CERDÀ, A.; MATAIX-SOLERA, J.; PEREG, L.; QUINTON, J.N.; SIX, J.; VAN OOST, K. The interdisciplinary nature of soil. *Soil*. 2015; 1,117-129.

Campanilli, M. & Schäffer, W.B.. Mata Atlântica: manual de adequação ambiental. Brasília: MMA/SBF. 2010. 96p.

CHEUNG, K.C.; LIEBSCH, D.; MARQUES, M.C.M. Forest recovery in newly abandoned pastures in southern Brazil: Implications for the Atlantic Rain forest resilience. *Natureza e Conservação*. 2010; 8(1), 66-70.

CHOW, Ven te. *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1959.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Drenagem Urbana: Manual de Projeto. 3ª ed. São Paulo: CETESB/ACETESB, 1986. 464p.

Crawley, M.J., The R Book, second ed. Wiley, London. 2012.

Dinno A. 'dunn.test': Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums. R package version 1.0.14. <http://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>. (15 February 2018, date last accessed). 2017

DOUST, S.J.; ERSKINE, P.D.; LAMB, D. Restoring rainforest species by direct seeding: tree seedling establishment and growth performance on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecological Management*. 2008; 256(5), 1178-1188.

DRUMOND, M. A. Alterações fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificações da cobertura vegetal na Mata Atlântica, região do Médio Rio doce, MG. 1996. 73 f. Tese (Doutorado em Ciencia Florestal) – Universidade Federal de viçosa, 1996.

EMPRESA MINEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER, Zoneamento Ambiental Produtivo Do Conjunto De Sub-Bacias Do Alto Trecho Do Rio Doce, 2017

EMPRESA MINEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER. Zoneamento Ambiental Produtivo Do Conjunto De Sub-Bacias Do Baixo Trecho Do Rio Do Carmo

EMPRESA MINEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – EMATER. Zoneamento Ambiental E Produtivo Da Bacia Hidrográfica Do Rio Gualaxo Do Norte

FREITAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Combining wavelets and linear spectral mixture model for MODIS satellite sensor time-series analysis. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 1, n. 1, p. 51-56, 2008.

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. Relatório Técnico: Plano de Monitoramento das Intervenções Prioritárias (RT-033_159-515-2282_06-B). Belo Horizonte, 2017.

HAERTEL, V.; SHIMABUKURO, Y. E. Spectral Linear Mixing Model in Low Spatial Resolution Image Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 11, p. 2555-2562, 2005.

IN ICMBio Nº 11/2014, disponível em :
<http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf> acessado em 14/11/2017;

JONÁŠOVÁ, M.; VÁVROVÁ, E.; CUDLÍN, P. Western Carpathian mountain spruce forest after a windthrow: Natural regeneration in cleared and uncleared areas. *Forest Ecology and Management*. 2010; 259(6), 1127–1134.

JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50:663-666, 1969.

KEESSTRA, S.D.; GEISSEN, V.; VAN SCHAIK, L.; MOSSE, K.; PIIRANEN, S. Soil as a filter for groundwater quality. *Current Opinions in Environmental Sustainability*. 2012; 4, 507–516.

LASKY, J.R.; URIARTE, M.; BOUKILI, V.K.; ERICKSON, D.L.; JOHN KRESS, W. & CHAZDON, R. L. The relationship between tree biodiversity and biomass dynamics changes with tropical forest succession. *Ecology Letters*. 2014; 17(9), 1158–1167.

Lei 12.651/12, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm, acessado em 14/11/2017;

LETCHER, S.G. & CHAZDON, R.L. Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in northeastern Costa Rica. *Biotropica*. 2009; 41, 608–617.

Li, M., Eddleman, K. E., (2002). Biotechnical engineering is an alternative to traditional engineering methods. A biotechnical streambank stabilization design approach. *Landscape and Urban Planning* Vol. 60.

LIMA, A.A e NAGHETTINI, M.C. ALEA - Análise de Frequência Local de Eventos Anuais. Disponível em: <www.ehr.ufmg.br/?page_id=20>. Acesso em: janeiro de 2016.

LIN, W.T.; LIN, C.Y.; CHOU, W.C. Assessment of vegetation recovery and soil erosion at landslides caused by a catastrophic earthquake: a case study in Central Taiwan. *Ecological Engineering*. 2006; 28, 79–89.

LOHBECK, M.; POORTER, L.; PAZ, H.; PLA, L.; VAN BREUGEL, M.; MARTINEZ-RAMOS, M. *et al.* Functional diversity changes during tropical forest succession. *Perspect. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2012; 14, 89–96.

MACCAFERRI, Manual técnico – Obras de Contenção, disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/obras de contencao op t.pdf](https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/obras%20de%20contencao%20op%20t.pdf)> acessado em 25/09/2018.

Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica / Coordenação Peter Herman May, Cássio Murilo Moreira Trovatto, Organizadores Armin Deitenbach ... [*et al.*] - Brasília : Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008. 196 p. : il ; 21cm

Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro / Luiz Fernando Duarte de Moraes ...[*et al.*] – Rio de Janeiro : Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013;

MARTINS, *et al.*, 2014. Potencial De Regeneração Natural De Florestas Nativas Nas Diferentes Regiões Do Estado Do Espírito Santo. CEDAGRO, Centro de Desenvolvimento do Agronegócio (http://www.larf.ufv.br/wp-content/uploads/ES-_ESTUDO_REGENERACAO_NATURAL_-_Completo_abr14.pdf)

MARTINS, S.V. Alternative forest restoration techniques. In: Viana, H. (Org.). *New perspectives in forest science*. London: IntechOpen. 2018a .p.131-148.

MARTINS, S.V. O estado da arte da restauração florestal no sudeste do Brasil. In: Dorr, A.C.; Rossato, M.V.; Rovedder, A.P.M.; Piaia, B.B. (Orgs.). *Práticas & Saberes em Meio Ambiente*. 1ed.Curitiba: Editora Appris. 2014. p. 283-302.

MARTINS, S.V. Restauração florestal. *Boletim de Extensão*, 67. Viçosa: Editora UFV, 20p. 2018b

MARTINS, S.V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T.M. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: Martins, S.V. (Ed.) Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa: Editora UFV. 2015. p.19-41.

MARTINS, S.V.; SARTORI, M.; RAPOSO FILHO, F.L.; SIMONELLI, M.; DADALTO, G.; PEREIRA, M.L.; SILVA, A.E.S. Potencial de regeneração natural de florestas nativas nas diferentes regiões do estado do Espírito Santo. Vitória: Cedagro, 2014.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R. Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção - opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: ICRAF, 2016.

NAVE, A. G. Banco de sementes autóctone e alóctone, resgate de plantas e plantio de vegetação nativa na Fazenda Intermontes, município de Ribeirão Grande, SP. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005. 218p.;

NBL – Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC). 2013. Manual de Resuração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará

NBR 10703/89, disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/gerenciamentoderesiduos/LeisLegisAmbient.htm>>, acessado em 14/11/2017;

NORDEN, N.; LETCHER, S.G.; BOUKILI, V.; SWENSON, N.G.; CHAZDON, R. Demographic drivers of successional changes in phylogenetic structure across life-history stages in plant communities. Ecology. 2012; 93, 70–82.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Soil erosion threatens food production. Agriculture. 2013; 3(3), 443–463.

PINHEIRO, M.C. *Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos em Obras de Mineração*. Porto Alegre: ABRH, 2011. 308p.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. (15 February 2018, date last accessed). 2018

REIS, B.P. Monitoramento de áreas de restauração florestal e geração de recomendações de manejo adaptativo através de imagens obtidas por VANT e LIDAR. 2017. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

RIGUEIRA, D.M.G.; MARIANO-NETO, E. Monitoramento: uma proposta integrada para avaliação do sucesso em projetos de restauração ecológica em áreas florestais brasileiras. *Revista Caititu*. 2013; 1(1), 73-88.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Protocolo de monitoramento para programas e projectos de restauração florestal. [S.l.]: Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, 2013;

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. 2. ed. São Paulo: LERF/ESALQ: [s.n.], 2009;

RODRIGUES, R.R.; LIMA, R.A.F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*. 2009; 142(6): 1242-1251.

ROUSSE, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317.*

SARMIENTO, L.; LLAMBÍ, L.D.; ESCALONA, A.; MARQUEZ, N. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes. *Plant Ecology*. 2003; 166, 145–156.

SCHIEWE, J.; TUFTE, L. O potencial de procedimentos baseados em regiões para a avaliação integrada de dados de SIG e sensoriamento remoto. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Orgs.). *Sensoriamento remoto e SIG avançados*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007. Cap. 05, p.56-65.

SILVEIRA, A.L.L. Equação para os Coeficientes de Desagregação de Chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.143-147, outubro/dezembro, 2000.

SMITH, P.; COTRUFO, M.F.; RUMPEL, C.; PAUSTIAN, K.; KUIKMAN, P.J.; *et al.* Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils, *Soil*. 2015; 1: 665–685.

SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J. Aspectos Técnicos das Plantas utilizadas em Engenharia Natural. *Ciência & Ambiente*, v. 46/47, p. 31–71, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Rita_Sousa16/publication/277331751_Metodologia_para_Especificacao_de_Plantas_com_Potencial_Biotecnico_em_Engenharia_Natural_Specification_Methodology_for_Plants_with_Biotechnical_Potential_in_Soil_Bioengineering/links/556b84e508aec22683037b24/Metodologia-para-Especificacao-de-Plantas-com-Potencial-Biotecnico-em-Engenharia-Natural-Specification-Methodology-for-Plants-with-Biotechnical-Potential-in-Soil-Bioengineering.pdf> acessado em 25/09/2018;

STUDER, R.; ZEH, H. *Soil Bioengineering: construction type manual*. 2 ed. Zurich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH, 2014.

SUDING, K. *et al.* *Ecological dynamics and ecological restoration. Foundations of restoration ecology. The science and practice of ecological restoration series*. Second edition ed. Washington: Island Press, 2016, p. 552.

SUGANUMA, M.S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. *Restoration Ecology*. 2015; 23(3), 238–251.

TEC3. Determinação das vazões extremas nas áreas afetadas pela ruptura da Barragem do Fundão até a UHE Candonga. Junho, 2016.

TROEH, F.R.; HOBBS, A.H.; DONAHUE, R.L. *Soil and water conservation: for productivity and environmental protection*; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2004.

U.S. Army Corps of Engineers - USACE. *HEC-RAS: River Analysis System*. Davis, 2010.

United States Army Corps of Engineers – USACE. Bioengineering for Streambank – Erosion Control. Vicksburg, 1997.

United States Army Corps of Engineers – USACE. Hydraulic Design of Flood Control Channels. Washington, 1994.

VILLA, P.M.; MARTINS, S.V.; OLIVEIRA NETO, S.N. DE; RODRIGUES, A.C.; SAFAR, *et al.* Woody species diversity as an indicator of the forest recovery after shifting cultivation disturbance in the northern Amazon. *Ecological Indicators*. 2018; 95, 687–694.

Water Management Branch. Riprap Design and Construction Guide. British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks. 2000.

WOODS, P.J. Design and Construction of Rock Riprap Bank Protection. British Columbia Ministry of Environment. Water Management Branch, 1982. 21p.

ZHANG, J.T. & DONG, Y. Factors affecting species diversity of plant communities and the restoration process in the loess area of China. *Ecological Engineering*. 2010; 36(3), 345–350.

12.0 Glossário

Condução da regeneração natural da vegetação: conjunto de intervenções planejadas que vise a assegurar a regeneração natural da vegetação em área em processo de recuperação;

Reabilitação ecológica: intervenção humana planejada visando à melhoria das funções de ecossistema degradado, ainda que não leve ao restabelecimento integral da composição, da estrutura e do funcionamento do ecossistema preexistente;

Reflorestamento: plantação de espécies florestais, nativas ou não, em povoamentos puros ou não, para formação de uma estrutura florestal em área originalmente coberta por floresta desmatada ou degradada;

Regeneração natural da vegetação: processo pelo qual espécies nativas se estabelecem em área alterada ou degradada a ser recuperada ou em recuperação, sem que este processo tenha ocorrido deliberadamente por meio de intervenção humana;

Restauração ecológica: intervenção humana intencional em ecossistemas alterados ou degradados para desencadear, facilitar ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica; e

Recuperação ou recomposição da vegetação nativa: restituição da cobertura vegetal nativa por meio de implantação de sistema agroflorestal, de reflorestamento, de regeneração natural da vegetação, de reabilitação ecológica e de restauração ecológica.

Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

Área rural consolidada: área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvopastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio.

Pequena propriedade ou posse rural familiar: aquela explorada mediante o trabalho pessoal do agricultor familiar e empreendedor familiar rural, incluindo os assentamentos e projetos de reforma agrária, e que atenda ao disposto no art. 3º da Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006;

Uso alternativo do solo: substituição de vegetação nativa e formações sucessoras por outras coberturas do solo, como atividades agropecuárias, industriais, de geração e transmissão de energia, de mineração e de transporte, assentamentos urbanos ou outras formas de ocupação humana;

Manejo sustentável: administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços.

APP: Área de Proteção Permanente: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Lei Federal 12651/2012)

Espécie exótica: qualquer espécie fora de sua área natural de distribuição geográfica (Resolução CONAMA 429/2011)

Espécie exótica invasora: espécie exótica cuja introdução ou dispersão ameace ecossistema, habitat ou espécies e cause impactos negativos ambientais, econômicos, sociais ou culturais (Resolução CONAMA 429/2011)

Espécie nativa: espécie que apresenta suas populações naturais dentro dos limites de sua distribuição geográfica, participando de ecossistemas onde apresenta seus níveis de interação e controles demográficos (Resolução CONAMA 429/2011)

Berços ou covas (coveamento): é o tipo de preparo de solo realizado com enxadão ou cavadeira com dimensões definidas, visando plantar as mudas.

Aceiro: Desbaste de terreno em volta de uma área para evitar a propagação de incêndios pela descontinuidade estabelecida na vegetação (GOUVEIA *et al.*, 2009)

Área degradada: Área impossibilitada de retornar por uma trajetória natural, a um ecossistema que se assemelhe a um estado conhecido antes, ou para outro estado que poderia ser esperado (IN IBAMA Nº 04/2011)

Área alterada: Área que após o impacto ainda mantém capacidade de regeneração natural (DECRETO Nº 7.830/2012)

Diversidade de espécies: Número de espécies na comunidade, sua abundância e a uniformidade com que os indivíduos são divididos entre as espécies (KREBS, 2016)

Implantação: Etapa que contempla o isolamento dos fatores de perturbação – tais como presença de gado, formigas cortadeiras, fogo, secas prolongadas, e o controle de espécies com potencial de invasão – bem como as ações diretas relativas ao método de restauração escolhido (RESOLUÇÃO SMA SP Nº 32/2014)

Indicadores ambientais: Estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas (<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/informacao-ambiental/sistema-nacional-de-informacao-sobre-meio-ambiente-sinima/indicadores>, acesso em 03/09/2017);

Incêndio florestal: É a ocorrência do fogo sem controle em qualquer forma de vegetação (GOUVEIA *et al.*, 2009)

Prevenção à incêndios florestais: É o conjunto de medidas e ações tomadas, tendentes a evitar a deflagração do incêndio decorrente de causas evitáveis, bem como sua detecção e aviso da sua posição, facilitando as ações de combate e provendo a segurança das pessoas (MIKICH; OLIVEIRA, 2003)

Combate a incêndios florestais: É o conjunto de ações tendentes a controlar e/ou extinguir o incêndio florestal (MIKICH; OLIVEIRA, 2003)

Monitoramento ambiental: É o conhecimento e acompanhamento sistemático da situação dos recursos ambientais dos meios físico e biótico, visando a recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental (Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II, fase 2, 2009-2014)

Manutenção: Manutenção contempla as ações de restauração ecológica pós-implantação e deverá ocorrer até que se comprove o restabelecimento da condição não degradada do ecossistema (RESOLUÇÃO SMA SP Nº 32/2014)

Sistemas agroflorestais – SAF: sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, e forrageiras, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com diversidade de espécies nativas e interações entre estes componentes (Decreto nº 7.830/2012)

Nascentes: Afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água (Lei Federal 12.651/2012)

Olhos d'água: Afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente (Lei Federal 12.651/2012).

Áreas úmidas: pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação;

Leito regular: a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano.

Várzea de inundação ou planície de inundação: áreas marginais a cursos d'água sujeitas a enchentes e inundações periódicas;

Faixa de passagem de inundação: área de várzea ou planície de inundação adjacente a cursos d'água que permite o escoamento da enchente;

Plantio: Técnicas que introduzam deliberadamente novos indivíduos vegetais nativos ou não na área, por meio de plantio de mudas, ramos, sementes, raízes ou quaisquer tipos de propágulos (RESOLUÇÃO SMA SP Nº 32/2014).

Pousio: prática de interrupção temporária de atividades ou usos agrícolas, pecuários ou silviculturais, por no máximo 5 (cinco) anos, para possibilitar a recuperação da capacidade de uso ou da estrutura física do solo;

Regeneração natural: Espécimes vegetais nativos que não foram plantados ou semeados pelo restaurador (RESOLUÇÃO SMA SP Nº 32/2014)

Riqueza de espécies: Conjunto de espécies em uma comunidade ou região (KREBS, 2016).

Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR: sistema eletrônico de âmbito nacional destinado ao gerenciamento de informações ambientais dos imóveis rurais;

Cadastro Ambiental Rural – CAR: registro eletrônico de abrangência nacional junto ao órgão ambiental competente, no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente – SINIMA, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

Área de remanescente de vegetação nativa: área com vegetação nativa em estágio primário ou secundário avançado de regeneração.

Área degradada: área que se encontra alterada em função de impacto antrópico, sem capacidade de regeneração natural;

Área alterada: área que após o impacto ainda mantém capacidade de regeneração natural;

Área abandonada: espaço de produção convertido para o uso alternativo do solo sem nenhuma exploração produtiva há pelo menos trinta e seis meses e não formalmente caracterizado como área de pousio;

Recomposição: restituição de ecossistema ou de comunidade biológica nativa degradada ou alterada a condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original;

Planta: representação gráfica plana, em escala mínima de 1:50.000, que contenha particularidades naturais e artificiais do imóvel rural;

Croqui - representação gráfica simplificada da situação geográfica do imóvel rural, a partir de imagem de satélite georreferenciada disponibilizada via SICAR e que inclua os remanescentes de vegetação nativa, as servidões, as áreas de preservação permanente, as áreas de uso restrito, as áreas consolidadas e a localização das reservas legais;

Rio perene: corpo de água lótico que possui naturalmente escoamento superficial durante todo o período do ano;

Rio intermitente: corpo de água lótico que naturalmente não apresenta escoamento superficial por períodos do ano;

Rio efêmero: corpo de água lótico que possui escoamento superficial apenas durante ou imediatamente após períodos de precipitação;

Regularização ambiental: atividades desenvolvidas e implementadas no imóvel rural que visem a atender ao disposto na legislação ambiental e, de forma prioritária, à manutenção e recuperação de áreas de preservação permanente, de reserva legal e de uso restrito, e à compensação da reserva legal, quando couber;

Projeto de recomposição de área degradada e alterada: instrumento de planejamento das ações de recomposição contendo metodologias, cronograma e insumos; e

Cota de Reserva Ambiental – CRA: título nominativo representativo de área com vegetação nativa existente ou em processo de recuperação conforme o disposto no art. 44 da Lei nº 12.651, de 2012.

APP de nascentes e olhos d'água (Leis 12.651/2012 e 12.727/2012)

As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

Nos casos de áreas rurais consolidadas em áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes e olhos d'água perenes, será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição do raio mínimo de 15 (quinze) metros.

Demais APP (Leis 12.651/2012 e 12.727/2012)

Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda da calha do leito regular;

As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
- As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
 - 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
 - 30 (trinta) metros, em zonas urbanas.

As áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;

As áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;

As encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

As encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

No topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

As áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.

Nas Áreas de Preservação Permanente, é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvopastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008;

Para os imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 5 (cinco) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água;

Para os imóveis rurais com área superior a 1 (um) módulo fiscal e de até 2 (dois) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 8 (oito) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água;

Para os imóveis rurais com área superior a 2 (dois) módulos fiscais e de até 4 (quatro) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 15 (quinze) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água;

Para os imóveis rurais com área superior a 4 (quatro) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais:

O mínimo de 20 (vinte) e o máximo de 100 (cem) metros, contados da borda da calha do leito regular.

Para os imóveis rurais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente no entorno de lagos e lagoas naturais, será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição de faixa marginal com largura mínima de:

- 5 (cinco) metros, para imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal;
- 8 (oito) metros, para imóveis rurais com área superior a 1 (um) módulo fiscal e de até 2 (dois) módulos fiscais;
- 15 (quinze) metros, para imóveis rurais com área superior a 2 (dois) módulos fiscais e de até 4 (quatro) módulos fiscais;
- 30 (trinta) metros, para imóveis rurais com área superior a 4 (quatro) módulos fiscais.

Nos casos de áreas rurais consolidadas em veredas, será obrigatória a recomposição das faixas marginais, em projeção horizontal, delimitadas a partir do espaço brejoso e encharcado, de largura mínima de:

- 30 (trinta) metros, para imóveis rurais com área de até 4 (quatro) módulos fiscais; e (Incluído pela Lei no 12.727, de 2012);
- 50 (cinquenta) metros, para imóveis rurais com área superior a 4 (quatro) módulos fiscais. (Incluído pela Lei no 12.727, de 2012).

Para efeitos de aplicabilidade deste Procedimento Operacional, APP de nascentes serão consideradas pela definição de olhos d'água, ou seja, afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente.

Atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental:

a) abertura de pequenas vias de acesso interno e suas pontes e pontilhões, quando necessárias à travessia de um curso d'água, ao acesso de pessoas e animais para a obtenção de água ou à retirada de produtos oriundos das atividades de manejo agroflorestal sustentável;

- b) implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e efluentes tratados, desde que comprovada a outorga do direito de uso da água, quando couber;
- c) implantação de trilhas para o desenvolvimento do ecoturismo;
- d) construção de rampa de lançamento de barcos e pequeno ancoradouro;
- e) construção de moradia de agricultores familiares, remanescentes de comunidades quilombolas e outras populações extrativistas e tradicionais em áreas rurais, onde o abastecimento de água se dê pelo esforço próprio dos moradores;
- f) construção e manutenção de cercas na propriedade;
- g) pesquisa científica relativa a recursos ambientais, respeitados outros requisitos previstos na legislação aplicável;
- h) coleta de produtos não madeireiros para fins de subsistência e produção de mudas, como sementes, castanhas e frutos, respeitada a legislação específica de acesso a recursos genéticos;
- i) plantio de espécies nativas produtoras de frutos, sementes, castanhas e outros produtos vegetais, desde que não implique supressão da vegetação existente nem prejudique a função ambiental da área;
- j) exploração agroflorestal e manejo florestal sustentável, comunitário e familiar, incluindo a extração de produtos florestais não madeireiros, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal nativa existente nem prejudiquem a função ambiental da área;
- k) outras ações ou atividades similares, reconhecidas como eventuais e de baixo impacto ambiental em ato do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA ou dos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente.

13.0 Equipe Técnica

Tabela 23: Equipe Técnica – Membros do GT Indicadores e convidados

EQUIPE TÉCNICA	ÓRGÃO
Fábio Haruki Nabeta	Fundação Renova
Felipe de Drummond Alves	Fundação Renova
Josimar Alves Pacheco	Fundação Renova
Leonardo Ferreira da Silva	Fundação Renova
Lucas de Oliveira Scarascia	Fundação Renova
Rafael do Carmo Pompermayer	Fundação Renova
Tércio Koehler	Fundação Renova
José Carlos Carvalho	Fundação Renova
Fábio de Alcântara Fonseca	Instituto Estadual de Florestas - MG
Tiago Gelape	Instituto Estadual de Florestas - MG
Frederico Pereira Pinto	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - ES
Marcos Franklin Sossai	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - ES
Ana Alice Biedzicki	IBAMA
Daniel Santos Pinho	IBAMA
Vicente F.D.B Gulli	IBAMA
Luciano de Petribú Faria	IBAMA
Thays Coutinho	Ernest Young
Flávia Toledo Ramos	Ramboll
Diego Balestrin	Universidade Federal de Viçosa
Sebastião Venâncio Martins	Universidade Federal de Viçosa