

# GERENCIAMENTO AMBIENTAL PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DA UHE BELO MONTE E INTERAÇÕES COM GEOLOGIA DE ENGENHARIA

Maria de Lourdes Küller <sup>1</sup>; Fabricio Frota de Aguiar <sup>2</sup>; Alexandre Nunes Vasconcelos <sup>3</sup>; João Rodrigues Barbosa Neto <sup>4</sup>

**Resumo** – Considerando-se o porte, abrangência e importância da Usina Hidrelétrica Belo Monte, em implantação e operação no sudoeste do estado do Pará, região norte do Brasil, condicionantes da Licença de Instalação incluem um Projeto Básico Ambiental (PBA) bastante robusto. Desta forma, para o devido atendimento de suas condicionantes, desenvolveram-se 117 Pacotes de Trabalho (PTs), que são as unidades de gerenciamento, sendo: 47 de caráter socioeconômico; 11 de caráter fundiário e remanejamento, e 59 de caráter físico-biótico, envolvendo nesses, também, PTs específicos para a Volta Grande do Xingu, obras principais e aspectos de gestão. Não constam dessa soma, mais 27 Pacotes de Trabalho para o Componente Indígena. No presente trabalho busca-se relacionar os itens do PBA, subdivididos em Planos, Programas e Projetos, com potencial de aplicabilidade em estudos, projetos, métodos construtivos, ou apenas abordagens, relacionados à Geologia de Engenharia, onde se tem 56% dos Pacotes de Trabalho nessa classificação e, dentre esses, são destacados 04 Pacotes de Trabalho, inseridos nos meios físico-biótico, aqui apresentados como casos específicos para a UHE Belo Monte, quais sejam: Programa de Recuperação de Áreas Degradadas; Programa de Monitoramento da Estabilidade de Encostas Marginais e Processos Erosivos; Programa de Controle da Estanqueidade dos Reservatórios, e Projeto de Monitoramento da Dinâmica das Águas Subterrâneas.

**Abstract** – Considering the size, scope and importance of the Belo Monte Hydroelectric Power Plant, in implementation and operation in the southwest of the State of Pará (Brazil), the construction permit conditions include a basic environmental project (PBA) considerable robust. Therefore, due to the fulfilment of the permit conditions, were developed 117 work packages (PTs), each being considered as a management unit: 47 socio-economic character; 11 land and relocation character, and 59 physical-biotic character, these include PTs specifically related to the Volta Grande do Xingu, main construction site and management aspects. Twenty-seven work packages for the Indigenous Component are not included in this sum. The present work seeks to relate the PBA items, subdivided into Plans, Programs and Projects, with potential for applicability in studies, projects, construction methods, or approaches related to engineering geology, which has 56% of work packages in this classification. Among these, are highlighted 04 work packages presented here as specific cases for the Belo Monte Hydroelectric Power Plant, namely: Recovery of degraded areas; Monitoring of marginal slopes stability and erosion processes; Control of reservoirs water tightness; Monitoring of groundwater dynamic.

**Palavras-chaves** – Projeto Básico Ambiental, Gerenciamento Ambiental, Geologia de Engenharia, Pacotes de Trabalho, Belo Monte.

---

<sup>1</sup> Geól. Dra. NORTE ENERGIA, (93) 98804-2110, mariakuller@nortesa.com.br; <sup>2</sup> Eng. Agrônomo. NORTE ENERGIA, (93) 98809-1346, fabricioaguiar@nortesa.com.br; <sup>3</sup> Eng. Florestal. NORTE ENERGIA, (93) 98809-1090, alexandrevasconcelos@nortesa.com.br; <sup>4</sup> Eng. Ambiental. NORTE ENERGIA, (93) 98809-1317, joaoneto@nortesa.com.br.

## 1 - INTRODUÇÃO

A Norte Energia recebeu, em junho de 2011, a Licença de Instalação (LI 795/2011) do Ibama - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, a qual trouxe condicionantes específicas, relacionadas ao Projeto Básico Ambiental (PBA) para a Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte, onde o primeiro item dessas condicionantes é: Implementar os programas e projetos inseridos em 14 Planos (itens 2 a 15 das condicionantes), de acordo com o conteúdo e cronograma aprovados pelo Ibama.

Os Pacotes de Trabalho (PTs), que são as unidades de gerenciamento, que contemplam o Projeto Básico Ambiental da UHE Belo Monte (CNEC e LEME, 2011) são caracterizados pelos meios: socioeconômico (47); fundiário e remanejamento (11); físico-biótico, obras principais, específicos para Volta Grande do Xingu e de gestão (59), totalizando 117 Pacotes de Trabalho, além do Componente Indígena (27 PTs), o qual não será aqui analisado.

Para o presente trabalho foram realizadas análises em todos os PTs para verificar a aplicabilidade de estudos, projetos, métodos construtivos ou apenas abordagens, relacionados à Geologia de Engenharia, obtendo-se resultados quantitativos em diversos níveis (Tabela 1). Destacam-se, nessa análise, quatro cases com aplicação de projetos e métodos construtivos, no contexto da UHE Belo Monte, tendo-se como subsídios o 13º Relatório Consolidado apresentado ao Ibama pela Norte Energia (2017a).

## 2 - CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DAS ÁREAS DE ESTUDO

### 2.1 - UHE Belo Monte

A UHE Belo Monte, localizada no rio Xingu (PA), teve o início da operação comercial em abril de 2016. O arranjo geral da UHE (Figura 1) comportou sítios de obras distintos e distantes entre si, sendo constituído por um conjunto de diversas barragens e diques, um vertedouro e duas casas de forças. Entre os sítios Pimental e Bela Vista foi construído um sistema composto por adução à Casa de Força Principal, por meio de um Canal de Derivação, escavado em solo e rochas, com cerca de 20 km de extensão e pelo Reservatório Intermediário (130 km<sup>2</sup> de área inundada), acondicionado por 28 Diques e vários Canais de Transposição. No sítio Pimental há uma Barragem de concreto e duas barragens laterais, sendo à esquerda de terra e à direita de enrocamento com núcleo argiloso, que possibilitaram a formação do Reservatório Xingu (386 km<sup>2</sup> de área inundada, incluindo a calha do rio e cujo reservatório alcança aproximadamente 80 km de extensão). A barragem de concreto abriga a Casa de Força Complementar e o Vertedouro (445,0 m de comprimento em 18 vãos), com potencial instalado de 233,10 MW, distribuído em 06 (seis) máquinas tipo Bulbo. No sítio Belo Monte há uma barragem de terra e enrocamento e a Casa de Força Principal que terá capacidade instalada, quando finalizada, de 11.000 MW (queda nominal de 87,0 m), distribuída em 18 unidades geradoras tipo Kaplan. Complementando as estruturas fixas, há ainda, nesse sítio, as Barragens de Fechamento Direita e Esquerda, sendo que neste lado é incluída, também, a Barragem Vertente Santo Antônio. Quanto aos compartimentos, para os monitoramentos do PBA, relacionados aos meios físico-biótico, além dos reservatórios, canal de derivação e sítios construtivos, tem-se o Trecho de Vazão Reduzida (TVR) e o Trecho de Restituição de Vazão (TRV).

### 2.2 - Áreas de Abrangência do Projeto Básico Ambiental (ADA, AID e AII)

A definição da Área Diretamente Afetada (ADA), Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII) vem desde o Eia/Rima (LEME, 2009), conforme apresentado na Figura 2.

Para essas delimitações considerou-se o meio físico, incluindo questões relacionadas às áreas da obra e suas estruturas fixas e de apoio, o meio biótico e o meio socioeconômico (incluindo questões fundiárias e de remanejamento). Não foi considerado, no presente artigo, o Componente Indígena que abrange aldeias até 620 km a montante da cidade de Altamira, cidade esta localizada à margem esquerda do Reservatório Xingu, em sua porção média.

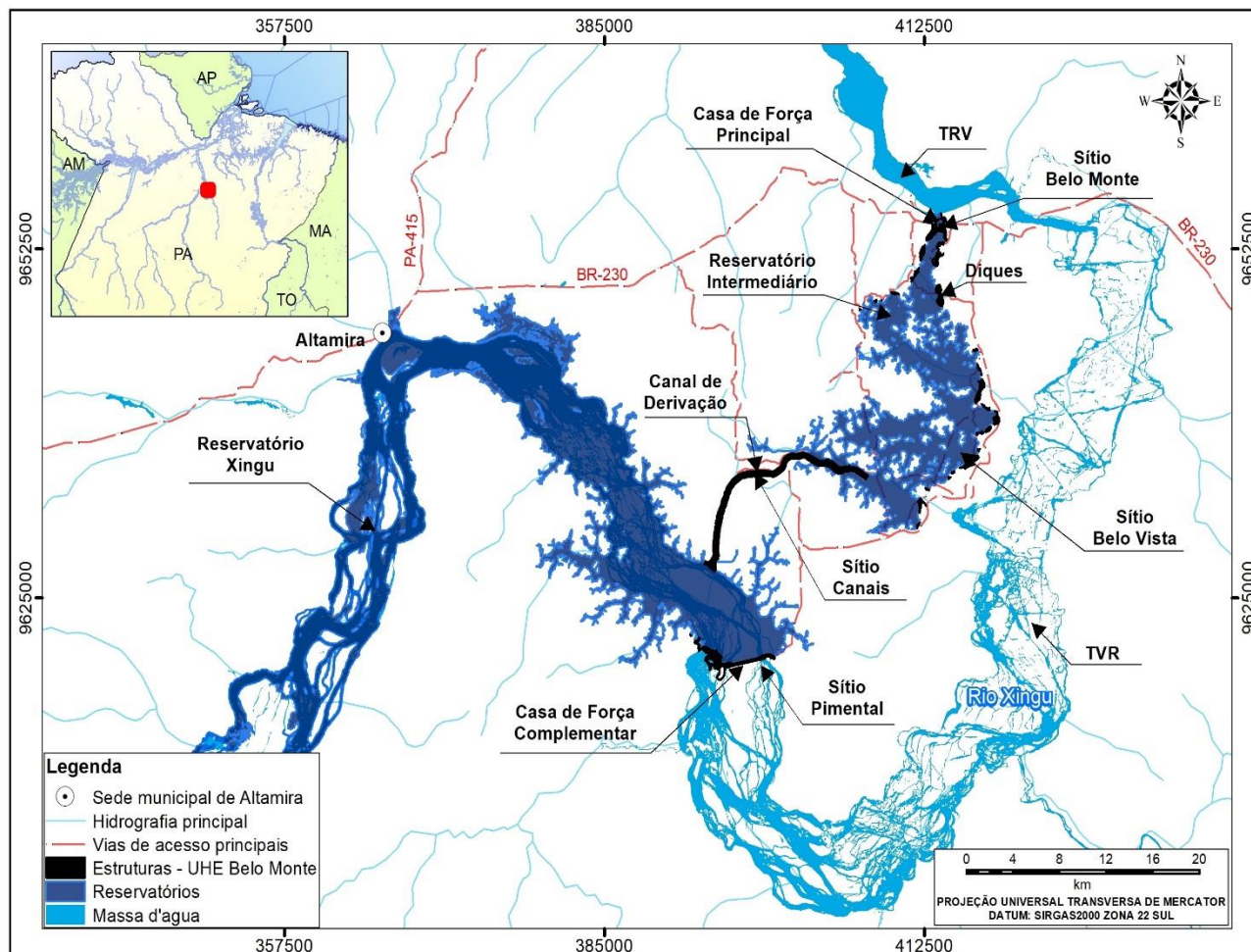


Figura 1. Estruturas Fixas, Sítios e Compartimentos da UHE Belo Monte.

### 3 - GERENCIAMENTO AMBIENTAL DA UHE BELO MONTE E INTERAÇÕES COM GEOLOGIA DE ENGENHARIA

#### 3.1 - Programas e Projetos do PBA e Potencialidades relacionadas a Estudos, Abordagens, Projetos e Métodos Construtivos envolvendo Geologia de Engenharia

Na Tabela 2 são apresentados todos os programas e projetos relacionados ao Gerenciamento Ambiental da UHE Belo Monte, por meio dos Planos, Programas e Projetos do PBA, e seus níveis de interação com a Geologia de Engenharia.

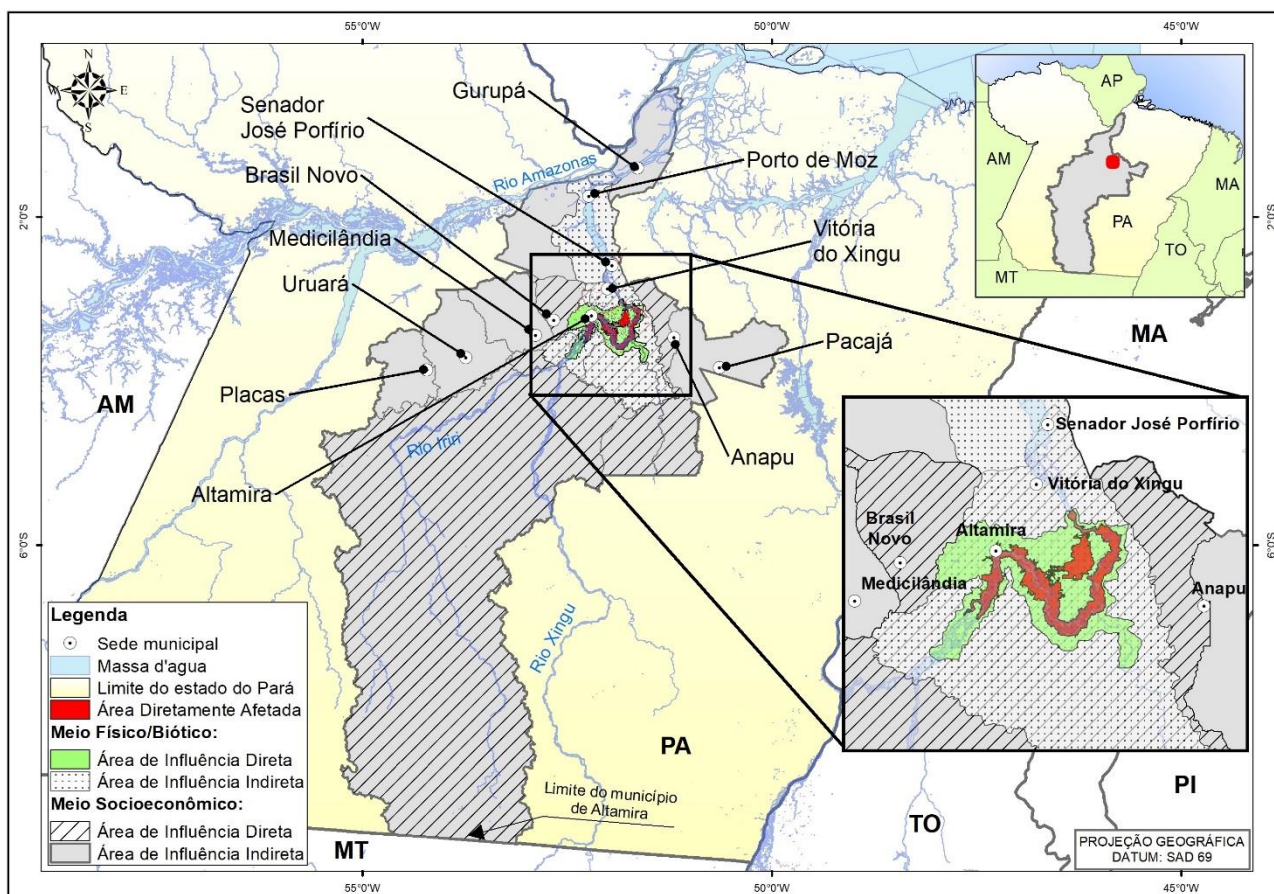


Figura 2. Áreas de Abrangência para os Monitoramentos do PBA da UHE Belo Monte.

Tabela 1. Níveis de Interação dos Planos do PBA com Geologia de Engenharia.

Nº	PLANOS DO PBA	NÍVEIS DE INTERAÇÃO				
		I	II	III	IV	V
1	PLANOS, PROGRAMAS E PROJETOS	0	0	0	0	1
2	PLANO DE GESTÃO AMBIENTAL	0	0	0	0	1
3	PLANO AMBIENTAL DE CONSTRUÇÃO	2	2	1	1	1
4	PLANO DE ATENDIMENTO À POPULAÇÃO ATINGIDA	2	0	5	10	10
5	PLANO DE REQUALIFICAÇÃO URBANA	1	0	6	1	0
6	PLANO DE ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL	0	0	0	0	4
7	PLANO DE RELACIONAMENTO COM A POPULAÇÃO	0	0	0	0	2
8	PLANO DE SAÚDE PÚBLICA	0	1	0	0	4
9	PLANO DE VALORIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO	0	2	1	1	4
10	PLANO DE ACOMPANHAMENTO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO E DE RECURSOS MINERAIS	2	0	1	0	1
11	PLANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	1	4	3	0	1
12	PLANO DE CONSERVAÇÃO DOS ECOSISTEMAS TERRESTRES	0	4	4	1	10
13	PLANO DE CONSERVAÇÃO DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS	1	1	0	3	11
14	PLANO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DA VOLTA GRANDE DO XINGU	0	1	2	0	2
15	PLANO AMBIENTAL CONSERVAÇÃO E USO DO ENTORNO RESERVATÓRIOS - PACUERA	1	0	0	0	0
<b>TOTAIS DE PROGRAMAS OU PROJETOS DOS PLANOS DO PBA EM NÍVEIS DE INTERAÇÃO:</b>		<b>10</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>52</b>

I - Projetos/Métodos Construtivos aplicáveis; II - Abordagens aplicáveis; III - Potencialidade para projetos e métodos construtivos, além da abordagem; IV - Potencialidade de abordagem, ou mesmo de projetos e métodos construtivos, de acordo com as especificidades do empreendimento; V - Interações não aplicáveis. Em cada nível encontram-se quantitativos de Programas e/ou Projetos que compõe o Plano. Níveis são demonstrados por cores na Tabela 2.



Tabela 2. Programas e Projetos Inseridos nos Planos Elencados na Tabela 1 e Níveis de Interação com a Geologia de Engenharia (cores representadas na Tabela 1).

Ord.	PROGRAMAS E PROJETOS DO PBA DA UHE BELO MONTE
1	1 - Planos, Programas e Projetos
2	2 - Plano de Gestão Ambiental
3	3.1 - Programa de Controle Ambiental Intrínseco
4	3.2 - Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (*)
5	3.3 - Programa de Capacitação de Mão de Obra
6	3.4.1 - Projeto de Controle Médico, Saúde Ocupacional e Segurança do Trabalho
7	3.4.2 - Projeto de Segurança e Alerta
8	3.5 - Programa de Educação Ambiental para os Trabalhadores
9	3.6 - Programa de Desmobilização de Mão de Obra
10	4.1.1 - Projeto de Regularização Fundiária Rural
11	4.1.2 - Projeto de Indenização e Aquisição de Terras e Benfeitorias
12	4.1.3 - Projeto de Reassentamento Rural
13	4.1.4 - Projeto de Reorganização de Áreas Remanescentes
14	4.1.5 - Projeto de Reparação em Área Rural
15	4.2.1 - Projeto de Apoio à Pequena Produção e à Agricultura Familiar
16	4.2.2 - Projeto de Recomposição Atividades Produtivas de Áreas Remanescentes
17	4.2.3 - Projeto de Recomposição das Atividades Comerciais Rurais
18	4.2.4 - Projeto de Reestruturação do Extrativismo Vegetal
19	4.2.5 - Projeto de Apoio à Cadeia Produtiva do Cacau
20	4.2.6 - Projeto de Fomento à Produção de Hortigranjeiros
21	4.3.1 - Projeto de Recomposição da Infraestrutura Viária
22	4.3.2 - Projeto de Recomposição da Infraestrutura de Saneamento
23	4.3.3 - Projeto de Relocação de Cemitérios
24	4.4.1 - Projeto de Regularização Fundiária Urbana
25	4.4.2 - Projeto de Indenização e Aquisição de Terras e Benfeitorias Urbanas
26	4.4.3 - Projeto de Reassentamento Urbano
27	4.4.4 - Projeto de Reparação em Área Urbana
28	4.5.1 - Projeto de Recomposição das Atividades Comerciais, de Serviços e Industriais Urbanas
29	4.5.2 - Projeto de Recomposição das Atividades Oleiras e Extrativistas de Areia e Cascalho
30	4.5.3 - Projeto de Implantação de Estaleiro em Vitória do Xingu
31	4.6.1 - Projeto de Acompanhamento e Monit. Social Comunidades do Entorno da Obra e Com. Anfitriãs
32	4.6.2 - Projeto de Atendimento Social e Psicológico da População Atingida
33	4.7.1 - Projeto de Recomposição das Praias e Locais de Lazer
34	4.7.2 - Projeto de Reestruturação das Atividades Produtivas de Turismo e Lazer
35	4.8.1 - Projeto de Recomposição/Adequação da Infraestrutura e Serviços de Educação
36	4.8.2 - Projeto de Recomposição dos Equipamentos Religiosos
37	5.1.6 - Diretrizes para o Planejamento Integrado
38	5.1.7 - Projeto de Reassentamento em Altamira
39	5.1.8 - Projeto de Parques e Reurbanização da Orla
40	5.1.9 - Projeto de Saneamento em Altamira
41	5.2 - Programa de Intervenção em Vitória do Xingu
42	5.2.19 - Projeto de Saneamento
43	5.3 - Programa de Intervenção em Belo Monte e Belo Monte do Pontal
44	5.3.19 - Projeto de Saneamento
45	6.1 - Programa de Interação e Articulação Institucional
46	6.2 - Programa de Fortalecimento da Administração Pública
47	6.3 - Programa de Apoio à Gestão dos Serviços Públicos
48	6.4 - Programa de Incentivo à Capacitação Profissional e Desenvolvimento de Atividades Produtivas
49	7.1 - Programa de Orientação e Monitoramento da População Migrante
50	7.2 - Programa de Interação Social e Comunicação
51	7.3 - Programa de Educação Ambiental de Belo Monte

<b>Ord.</b>	<b>PROGRAMAS E PROJETOS DO PBA DA UHE BELO MONTE</b>
52	7.4 - Programa de Monitoramento dos Aspectos Socioeconômicos
53	8.1 - Programa de Incentivo à Estruturação da Atenção Básica de Saúde
54	8.2 - Programa de Vigilância Epidemiológica, Prevenção e Controle de Doenças
55	8.3 - Programa de Ações para o Controle da Malária
56	9.1.1 - Projeto de Estudo, Preservação, Revitalização do Patrimônio Histórico, Cultural, Paisagístico
57	9.1.2 - Projeto de Estudo e Valorização do Patrimônio Multicultural
58	9.2.1 - Projeto de Prospecções Arqueológicas Intensivas
59	9.2.2 - Projeto de Salvamento Arqueológico
60	9.2.3 - Projeto de Registro e Análise das Inscricões Rupestres
61	9.2.4 - Projeto de Modelagem Arqueológica Preditiva
62	9.2.5 - Projeto de Educação Patrimonial
63	9.3 - Programa de Salvamento do Patrimônio Paleontológico
64	10.1 - Programa de Monitoramento da Sismicidade
65	10.2.1 - Projeto de Acompanhamento dos Direitos Minerários
66	10.3 - Programa de Monitoramento de Estabilidade Encostas Marginais e Processos Erosivos (*)
67	10.4 - Programa de Controle da Estanqueidade dos Reservatórios (*)
68	11.1.1 - Projeto de Monitoramento Hidrossedimentológico
69	11.1.2 - Projeto de Monitoramento de Níveis e Vazões
70	11.1.3 - Projeto de Monitoramento da Largura, Profundidade e Velocidade em Seções do TVR
71	11.2 - Programa de Monitoramento dos Igarapés Interceptados pelos Diques
72	11.3.1 - Projeto de Monitoramento da Dinâmica das Águas Subterrâneas (*)
73	11.3.2 - Projeto de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas
74	11.4.1 - Projeto de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água Superficial
75	11.4.2 - Projeto de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas
76	11.5 - Programa de Monitoramento do Microclima Local
77	12 - Plano de Conservação de Ecossistemas Terrestres - Módulos Rapeld
78	12.1.1 - Projeto de Desmatamento
79	12.1.2 - Projeto de Delineamento da Capacidade do Mercado Madeireiro e Certificação de Madeira
80	12.1.3 - Projeto de Demolição e Desinfecção de Estruturas e Edificações
81	12.2.1 - Projeto de Salvamento e Aproveitamento Científico da Flora
82	12.2.2 - Projeto de Formação de Banco de Germoplasma
83	12.2.3 - Projeto de Monitoramento das Florestas de Terra Firme
84	12.3.1 - Projeto de Afugentamento da Fauna Terrestre
85	12.3.2 - Projeto de Salvamento e Aproveitamento Científico da Fauna
86	12.3.3 - Projeto para Mitigação de Impactos Perda Indivíduos da Fauna por Atropelamento
87	12.3.4 - Projeto de Controle de Endemias Transmissíveis à Fauna Silvestre
88	12.3.5 - Projeto de Levantamento e Monitoramento de Invertebrados Terrestres
89	12.3.6 - Projeto Monitoramento da Herpetofauna
90	12.3.7 - Projeto de Monitoramento da Avifauna
91	12.3.8 - Projeto de Monitoramento de Mamíferos Terrestres
92	12.3.9 - Projeto de Monitoramento de Quirópteros
93	12.4 - Programa de Avaliação e Monitoramento da Fauna Subterrânea
94	12.5 - Programa de Reg. e Armazenamento Cartográfico, Fotog. e Acervo de Elementos Espeleológicos
95	12.6.1 - Projeto de Criação de Unidades de Conservação
96	12.6.2 - Projeto de Apoio às Ações de Implantação e Manejo de Unidades de Conservação Existente
97	13.1.1 - Projeto de Monitoramento das Florestas Aluviais
98	13.1.2 - Projeto de Monitoramento das Formações Pioneiras
99	13.2 - Programa de Conservação e Manejo de Hábitats Aquáticos
100	13.3.1 - Projeto de Investigação Taxonômica
101	13.3.2 - Projeto de Resgate e Salvamento da Ictiofauna
102	13.3.3 - Projeto de Aquicultura de Peixes Ornamentais
103	13.3.4 - Projeto de Monitoramento da Ictiofauna
104	13.3.5 - Projeto de Incentivo à Pesca Sustentável
105	13.3.6 - Projeto de Implantação e Monitoramento Mecanismo para Transposição de Peixes
106	13.4.1 - Projeto de Monitoramento de Mamíferos Aquáticos e Semi-Aquáticos

Ord.	PROGRAMAS E PROJETOS DO PBA DA UHE BELO MONTE
107	13.4.2 - Projeto de Monitoramento da Avifauna Aquática e Semi-Aquática
108	13.4.3 - Projeto de Monitoramento de Crocodilianos
109	13.5.1 - Projeto Est. Bioecológicos (Capacidade Adaptativa de Quelônios e Colonização de Novas Áreas)
110	13.5.2 - Projeto Pesquisa sobre Ecologia de Quelônios
111	13.5.3 - Projeto Manejo de Quelônios de Belo Monte
112	14.1.1 - Projeto de Monitoramento da Atividade Garimpeira (no TVR)
113	14.2.1 - Projeto de Monitoramento do Dispositivo de Transposição de Embarcações
114	14.2.2 - Projeto de Monitoramento da Navegabilidade e Condições Escoamento Produção
115	14.2.3 - Projeto de Monitoramento das Condições de Vida Populações da Volta Grande
116	14.2.4 - Projeto de Recomposição da Infraestrutura Fluvial
117	15 - Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno dos Reservatórios – PACUERA

**Observação:** Os números que antecedem os títulos correspondem aos números dos Pacotes de Trabalho, vinculados ao Planos da Tabela 1.

(\*) - Programas e Projeto que são destacados no presente trabalho, no item 3.2.

### 3.2 - Cases com Interações Diretas entre Gerenciamento Ambiental e Geologia de Engenharia na UHE Belo Monte

Independentemente da classificação abordada no item 3.1, na prática, durante o desenvolvimento dos PBAs, adicionando-se questões ou demandas externas, que configuraram situações adversas em relação às diretrizes originais (teoria), destacam-se quatro cases, para a UHE Belo Monte, onde abordagens relacionadas à Geologia de Engenharia foram inseridas no contexto do Gerenciamento Ambiental.

#### 3.2.1 - Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD)

Programa aplicável às áreas onde se desenvolveram estruturas de apoio, tais como: áreas de empréstimo, bota-fora, bota-espera, alojamentos, refeitórios, locais de armazenamento de equipamentos, de resíduos, postos de abastecimento de combustíveis, centrais de concreto e outros. Das diversas atividades inerentes ao presente Programa, destacam-se, no contexto de aplicabilidade da Geologia de Engenharia, a conformação, drenagem e proteções do terreno, cujos quantitativos, bastante significativos, até dezembro de 2017 (NORTE ENERGIA, 2017a), estão relacionados na Tabela 3. O PRAD deverá se desenvolver por sete anos após o início de operação da UHE.

Tabela 3. Atividades/Quantitativos aplicados no PRAD - UHE Belo Monte até dezembro de 2017.

SÍTIOS CONSTRUTIVOS	Canaleta de Solo/Curva de Nível (m)	Canaleta de Concreto/Sarjeta/Meio Fio (m)	Bueiro/Descida de Água/Dissipador de Energia/Galeria (un.)	Volume de Rocha em Enrocamento (m³)	Bacias de Sedimentação (un.)
<b>Canais e Diques</b>	31.586,39	10.353,25	455	4.545.555,51	50
<b>Belo Monte</b>	6334,75	6.195,32	131	6.566,46	82
<b>Pimental</b>	24.009,00	4.105,00	195	8.863,83	71
<b>Infra e Acessos</b>	1.920,00	89.318,00	328	720,00	28
<b>TOTAL</b>	<b>63.850,14</b>	<b>109.971,57</b>	<b>1.109</b>	<b>4.561.705,81</b>	<b>231</b>

### 3.2.2 - Programa de Monitoramento da Estabilidade de Encostas Marginais e Processos Erosivos

No monitoramento efetuado, até o momento, não foi evidenciado qualquer evento de instabilização de encostas ou de erosão que representasse aporte significativo de sedimentos e, conseqüentemente, assoreamentos. Os pontos definidos com potencialidade a eventos de instabilização ou erosão foram monitorados mensalmente durante o enchimento dos reservatórios e, trimestralmente, antes, desde 2012, e depois do enchimento durante a operação. No monitoramento são envolvidas duas abordagens principais:

Encostas dos Reservatórios e de Jusante dos Barramentos, não Interferidas pelas Obras – Encostas do rio Xingu onde se formou o reservatório, encostas do Reservatório Intermediário e também dos trechos de entorno dos dois barramentos a jusante destes, após os canais de fuga das duas usinas. Até janeiro de 2018 foram realizadas 26 inspeções trimestrais, envolvendo cerca de 125 pontos.

Acompanhamento das Áreas Submetidas ao PRAD, Interferidas pelas Obras – Encostas dos reservatórios onde ocorreram atividades de apoio, com movimentações de terra e/ou rocha, as quais são objetos do PRAD. Escavações e movimentações em terra e rocha para estruturas fixas são recuperadas pelo setor de Engenharia. Para essas atividades foram acrescidos cerca de mais 85 pontos de inspeção, aos já monitorados desde 2012, sendo que em dois anos após o enchimento do reservatório já foram realizadas oito campanhas trimestrais de inspeção, até abril de 2018.

### 3.2.3 - Programa de Controle da Estanqueidade dos Reservatórios

Inicialmente, o Programa tinha seu escopo voltado às investigações e monitoramentos em relação à presença de cavidades naturais na região denominada de Kararaô, nas proximidades do sítio Belo Monte e das margens do Reservatório Intermediário.

As encostas da margem esquerda do reservatório, representavam litologias permeáveis pertencentes à Formação Maecuru (arenitos devonianos da Bacia Amazônica), principalmente na região conhecida como Kararaô, portadora de cavidades subterrâneas e outras feições menores, identificadas e caracterizadas nos estudos de Espeleologia e Estabilidade das Encostas Marginais da Área de Influência Direta (AID) do EIA da UHE Belo Monte (LEME, 2009).

Uma nova proposição consolidada e aprovada para a conformação do Reservatório Intermediário, ocorrida e comunicada ao Ibama em janeiro de 2012, acarretou um afastamento mínimo em pelo menos 3 km da ocorrência das rochas areníticas da Formação Maecuru. Em função desta nova conformação, um novo cenário geológico-geotécnico do empreendimento foi configurado. Os arenitos, contendo as cavidades subterrâneas mencionadas no objetivo principal do Programa, não estão mais sujeitos aos processos de saturação pelas águas do Reservatório Intermediário e, conseqüentemente, estão livres da possível reativação ou aparecimento de novos processos de formação de cavidades e de *piping*, processos esses que poderiam ocasionar fugas de água do reservatório (NORTE ENERGIA, 2016).

Mesmo eliminando-se a interferência do reservatório com as Cavernas do Kararaô, o Ibama estabeleceu a continuidade do Programa e instituiu uma série de recomendações que estavam estreitamente relacionadas com as atividades executadas pelo setor de engenharia do empreendimento. As recomendações referem-se à verificação de áreas que possam apresentar problemas de estanqueidade relacionados à implantação das estruturas fixas da UHE Belo Monte, tais como os Diques 6C, 8A e 8B no Reservatório Intermediário, na região do Graben do Macacão (ver especificações em CBDB, 2017), também denominado de Espigão de Arenito.



Proteções como enrocamentos, adoção de *cut-off* e filtros invertidos, impedem problemas relacionados a fugas de água devido à presença dos arenitos permeáveis da Formação Maecuru na margem esquerda do Reservatório Intermediário. Também inspeções intensivas em 1.998 instrumentos instalados em todo o empreendimento (Tabela 4), além de inspeções visuais diárias em campo, garantem a segurança dos diques e das margens do reservatório. Dessa forma, o Programa foi encerrado em junho de 2016, no âmbito do Gerenciamento Ambiental. A continuidade do monitoramento é executada no contexto das inspeções inerentes ao setor de engenharia, responsável pelos aspectos referentes à Segurança de Barragens.

Tabela 4. Instrumentos Instalados para Inspeções visando Monitorar Possibilidades de Fugas de Água na UHE Belo Monte.

TIPO DE INSTRUMENTO	INSTALADO	TIPO DE INSTRUMENTO	INSTALADO
Piezômetros de Tubo	807	Medidores de Nível de Água	33
Piezômetro Elétrico	116	Inclinômetro	8
Termômetro para Concreto	141	Referência de Nível	82
Medidor de Vazão	116	Medidor de Recalque Magnético	12
Marco Superficial	395	Placa de Recalque Magnética	126
Régua Limnimétrica	4	Caixa Atensorial (Deformímetro)	5
Extensômetro de Haste	65	Alvo Geodésico	11
Medidores Triortogonais de Junta	77	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>1998</b>

Fonte: CBDB (2017).

### 3.2.4 - Projeto de Monitoramento da Dinâmica das Águas Subterrâneas

Destacam-se, nesse projeto, duas situações peculiares:

Monitoramento associado à Estabilidade de Encostas e a Possíveis Danos em Edificações – Em todo o período de monitoramento (seis anos), que até abril de 2018 envolveu mais de dois anos após o enchimento dos reservatórios, nada foi evidenciado que comprovasse a interferência da formação do Reservatório Xingu nas edificações presentes na área urbanizada da cidade de Altamira, ou mesmo nas zonas rurais banhadas pelos reservatórios.

Medições, Análises e Interpretações na Região da Lagoa do Bairro Jardim Independente I, na Cidade de Altamira – Efetuou-se intenso e sistemático monitoramento, incluindo poços multiníveis e perfis englobando poços na região da lagoa, além de leituras de níveis em dois horários diários, em régua limnétrica que foi instalada na lagoa para tal fim. Além desses monitoramentos, medições de índices pluviométricos na estação do INMET, em Altamira, e interpretações geológica-geotécnicas, por meio de furos a trado no entorno da lagoa, possibilitaram definir a presença de lençol subterrâneo suspenso no local e que o enchimento do Reservatório Xingu não afetou o nível da lagoa e, conseqüentemente, não há relação com os danos observados nas casas tipo palafitas, instaladas na lagoa, ou em seu entorno (NORTE ENERGIA, 2017b e IBAMA e ANA, 2017). A execução desse monitoramento esteve a cargo da empresa Ambiental Tecnologia – Consultoria e Monitoramentos, durante os anos de 2016 e 2017, após o enchimento dos reservatórios. Esta demanda foi solicitada por Ibama e ANA (op. cit.), por meio de ofícios e pareceres específicos, após emissão da Licença de Operação (LO Nº 1317/2015) pelo Ibama.

#### 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Gerenciamento Ambiental, em grandes obras de infraestrutura, tem interação com a Geologia de Engenharia em diversos níveis. Ao implantar essas obras interfere-se sobremaneira no meio físico, que abriga conceitos variados de Geologia de Engenharia e Geotecnia. Caso não ocorrer a devida interação entre essas disciplinas, as interferências, não somente no meio físico, como no meio biótico, assim como nos meios socioeconômico e cultural, serão bem mais abrangentes e complexas do que àquelas que envolvem somente o perímetro das áreas de intervenção para obras e instalação de reservatórios de água, quer a curto ou longo prazos, tais como: erosões, escorregamentos, assoreamentos, inundações, contaminações, danos a edificações, entre outros.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Norte Energia S.A., pela geração dos dados (os quais já foram publicados em *site* do Ibama: <http://licenciamento.ibama.gov.br>-Hidrelétricas-Belo Monte-Pareceres-Relatórios Semestrais) e pela permissão para a presente divulgação, e ao apoio de Douglas Borges (Ferreira Rocha), Theo Busso (JLT) e Maria Cristina de Moraes (geóloga autônoma).

#### REFERÊNCIAS

- CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens (2017). Revista Brasileira de Barragens. Ano IV, Nº 4. Edição Especial UHE Belo Monte. Rio de Janeiro, RJ.
- CNEC - Worley Parsons e LEME Engenharia (2011). Projeto Básico Ambiental da Usina Hidrelétrica Belo Monte. Planos, Projetos e Programas - Versão Final - Volumes I a VII. Norte Energia. Brasília, DF.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e ANA - Agência Nacional de Águas (2017). Parecer Técnico IBAMA/ANA Nº 112/2017-COHID/CGTEF/DILIC - Jardim Independente I. Brasília, DF.
- LEME Engenharia (2009). Estudos de Impacto Ambiental do AHE Belo Monte. Capítulos I a IV. 6365-EIA-G90-001b. Brasília, DF.
- NORTE ENERGIA (2016). 10º Relatório Consolidado de Andamento do PBA e Atendimento de Condicionantes. Capítulo 2, PBA 10.4. Brasília, DF.
- NORTE ENERGIA (2017a). 13º Relatório Consolidado de Andamento do PBA e Atendimento de Condicionantes. Capítulo 2. PBAs 3.2, 10.3, 11.3.1. Brasília, DF.
- NORTE ENERGIA (2017b). Relatório Técnico RT-SFB-Nº024 - Bairro Jardim Independente I 20122017 - AMBIENTAL. Final. Brasília, DF.