DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/64

Validação e verificação As Built de Área de Resíduo de Bauxita: Substituição de solo fofo da fundação do dique

Tiago Emanuel de Sá Schuck
Engenheiro Geotécnico, GEOCOBA, Rio de Janeiro, Brasil, tes@geocoba.com.br

José Bernardino Borges
Engenheiro Geotécnico, GEOCOBA, Rio de Janeiro, Brasil, jbb@geocoba.com.br

Paulo Emílio Moura Bezerra
Engenheiro Civil Especialista, sem filiação, São Luís, Brasil, projeto.adem@hotmail.com

Vanessa Frazão
Engenheira Civil, sem filiação, São Luís, Brasil, frazaovanessa86@gmail.com

RESUMO: Uma das etapas finais de uma obra, necessária para o atendimento às normativas técnicas e legais vigentes, é a elaboração do projeto As Built (“como construído”). Esse documento foi produzido pela empresa executora ao término da execução e teve como objetivo registrar, de forma precisa, todas as alterações, ajustes e adaptações efetuadas em relação aos projetos originais, decorrentes das necessidades identificadas durante a realização dos serviços.
Neste artigo, apresentam-se os procedimentos de verificação e validação realizados para substituição de solo fofo, dos desenhos e áreas As Built desenvolvidos pela GEOCOBA, com ênfase em uma barragem de terra, para armazenamento de resíduo de bauxita. O escopo deste estudo, tem como foco a substituição do solo fofo necessária para o suporte da fundação de um dique.
As liberações necessárias para substituição de solo foram realizadas com o acompanhamento técnico de obra (ATO) por parte da projetista, em articulação com o cliente — por meio de setores de engenharia, qualidade e construção —, a empresa executora e o Engenheiro de Registro (EoR). Toda a documentação técnica gerada ao longo dessa etapa foi devidamente registrada, arquivada e analisada com o objetivo de subsidiar a validação dos desenhos As Built, assegurando a rastreabilidade das informações e a conformidade com os critérios estabelecidos no projeto executivo.

PALAVRAS-CHAVE: As Built, validação, fundação, substituição de solo fofo, desenho.

ABSTRACT: One of the final stages of a construction project—required to comply with applicable technical standards and legal regulations—is the preparation of the As-Built (“as constructed”) documentation. This document was produced by the contractor upon completion of the works and aimed to accurately record all changes, adjustments, and adaptations made relative to the original design, arising from needs identified during execution.
This paper presents the verification and validation procedures applied to the soft-soil replacement works, as well as to the As-Built drawings and associated areas developed by GEOCOBA, with emphasis on an earthfill dam for bauxite residue storage. The scope of this study focuses on the soft-soil replacement required to provide adequate support for the foundation of a dike.
The releases/approvals required for soft-soil replacement were issued under the design engineer’s construction technical assistance (ATO), in coordination with the Owner—through its engineering, quality, and construction teams—the contractor, and the Engineer of Record (EoR). All technical documentation generated throughout this stage was properly recorded, filed, and analyzed to support validation of the As-Built drawings, ensuring traceability of information and compliance with the criteria established in the detailed design.

KEYWORDS: As-Built, Validation, Foundation, Soft-soil replacement, Drawing

1. INTRODUÇÃO

Nos empreendimentos atuais que envolvem intervenções, alteamentos ou novas construções de barragens de terra e estruturas associadas a áreas de disposição/armazenamento de resíduo de bauxita, é prática obrigatória — e, em muitos casos, requisito regulatório — que, ao término da execução, as alterações realizadas sejam registradas e cadastradas por meio de documentação *As Built*.

O *As Built* tem como finalidade consolidar, de forma fiel ao executado em campo, a geometria, as cotas, os volumes, os materiais empregados, os sistemas de drenagem e demais intervenções efetivamente implantadas, incluindo eventuais ajustes ocorridos durante a obra. Esse registro é essencial para garantir rastreabilidade técnica, demonstrar aderência (ou justificar desvios) em relação ao projeto e fornecer uma base confiável para inspeções, auditorias, revisões de segurança e futuras intervenções. Além disso, a documentação *As Built* subsidia avaliações independentes e processos de verificação por empresas de auditoria e equipes técnicas ao longo da vida útil da estrutura.

A Área de Resíduo de Bauxita (ARB) tem como principal função o armazenamento do resíduo gerado no processo industrial. Em geral, trata-se de estruturas de grande extensão, frequentemente configuradas como "lagos" ou compartimentos de deposição, nos quais o material é disposto e acomodado ao longo da operação, com controle geométrico e operacional por etapas de deposição.

Após o encerramento da operação, a ARB é preparada para a fase de fechamento (reabilitação), cujo objetivo é garantir estabilidade, controle de infiltrações e integração ambiental da área. Essa etapa normalmente envolve regularização superficial, implantação de camadas de solo local compactado e solo vegetal, e pode incluir sistemas de barreira e/ou elementos de impermeabilização (por exemplo, geomembrana), conforme os requisitos de desempenho definidos em projeto e nas condicionantes aplicáveis. O fechamento, quando devidamente executado e documentado, reduz riscos geotécnicos e ambientais e estabelece condições adequadas para o monitoramento de longo prazo e uso futuro da área, quando aplicável.

2. METODOLOGIA

A seguir, apresenta-se o projeto de substituição de solo fofo, bem como as áreas e profundidades previstas durante o projeto executivo. Descreve-se, ainda, o procedimento de Acompanhamento Técnico à Obra (ATO), com o objetivo de dirimir dúvidas e prestar esclarecimentos quando necessário. Por fim, são detalhadas as etapas de verificação e validação de aderência, incluindo a comparação entre as soluções previstas em projeto e o *As Built* encaminhado pela empresa construtora.

2.1 Projeto de substituição de solo fofo e breve descrição do solo da região

A programação de substituição do solo fofo no dique de fundação da Área de Resíduo de Bauxita foi baseada em campanhas de sondagem realizadas anteriormente durante os projetos conceitual e básico, nas quais foram identificados trechos com valores de Nspt $\leq$ 5 golpes. Essas áreas foram selecionadas e mapeadas como prioritárias para a execução da substituição do solo, conforme os critérios de projeto. Alguns trechos específicos foi necessário a implantação de trincheiras drenantes devido ao NA elevado no local.

As profundidades de substituição de solo fofo variaram, em geral, entre 2 m e 5 m, a depender da resistência verificada em cada ponto investigado dos valores de Nspt. A seguir, apresenta-se o mapeamento em planta das áreas previstas para substituição de solo fofo na estrutura.

As espessuras de substituição solo fofo na região tratavam-se de um solo com arenoso ou silto arenoso com formação litológica predominantemente de pós-barreiras e barreiras granular.

2.2 1ª Etapa – Compatibilização geométrica

Para execução e medição dos serviços, o Empreiteiro apresentou uma topografia própria levantada após limpeza da área remanescente da ARB que, comparada à topografia do cliente, apresentou divergências em algumas áreas.

Dessa forma, foi necessário realizar a compatibilização entre os levantamentos planialtimétrico disponível para o projeto básico e os levantamentos planialtimétricos realizados pela equipe de fiscalização do cliente e do Empreiteiro, visto que ambos representam a superfície do terreno antes da execução da troca de solo fofo para suporte a fundação do dique.

Foram comparadas todas as informações referentes aos pontos notáveis das respectivas áreas a serem liberadas, tais como: número do ponto, coordenadas, elevação de escavação e profundidade de cortes, com base nas áreas já demarcadas em projeto, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

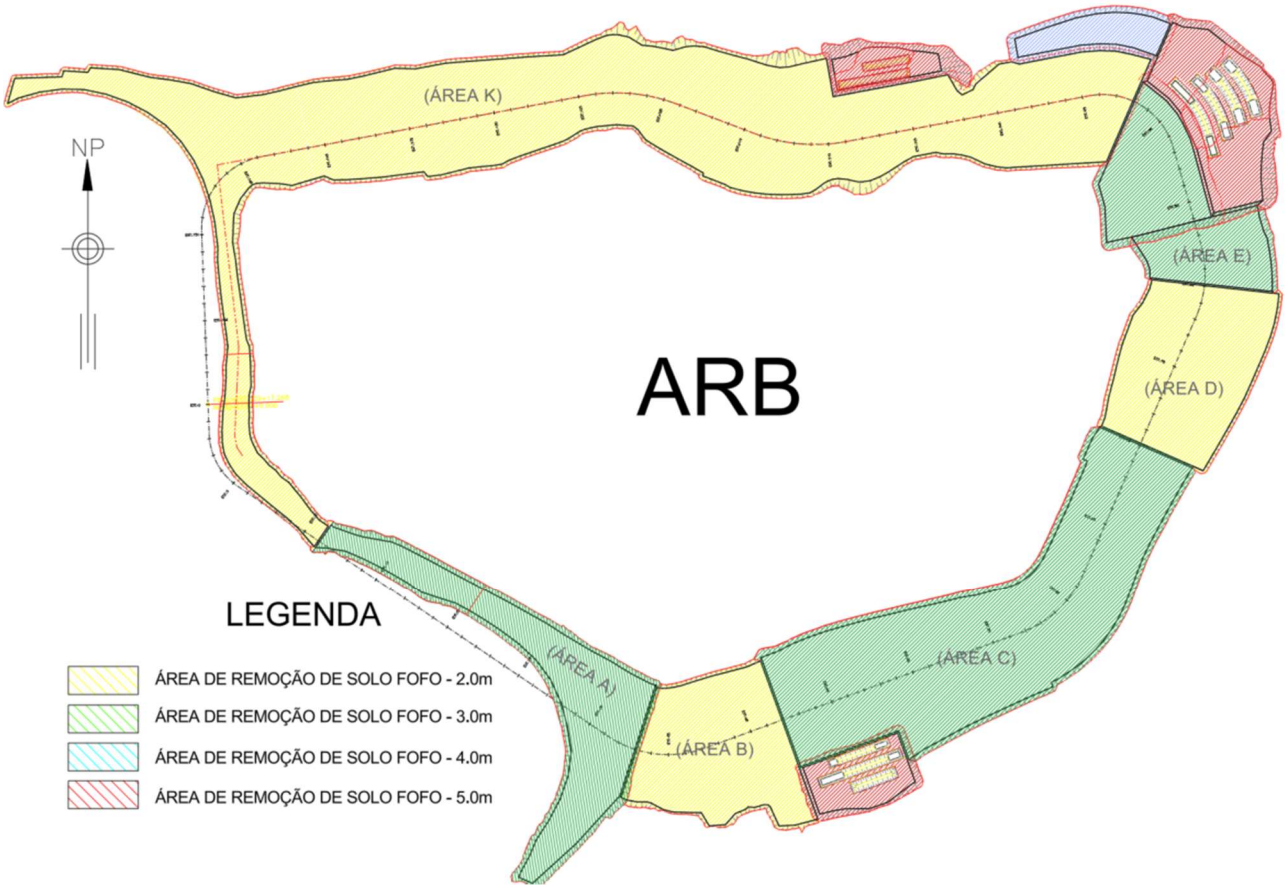


Figura 1- Áreas de substituição de solo fofo. Fonte: GEOCOBA

2.3 Informações necessárias para comparação e liberação da área de substituição de solo

As áreas solicitadas para liberação foram amarradas ao eixo do projeto, considerando distância entre estacas. Para validação das áreas, foram disponibilizados via sistema, dois arquivos com informações dos levantamentos planialtimétrico das áreas, com extensões XLS e DWG. Os arquivos no formato .dwg, foram enviados com as nuvens de pontos referente a área a ser liberada, bem como, seções gabaritadas e estaqueadas à cada 20m.

Foi apresentado pela empresa executante e fiscalização as seguintes informações referentes levantamento topográfico de escavação.

Para a planta da substituição de solo:

- Nuvem de pontos com informações planialtimétricas;
- Curvas de nível da área;
- Poligonal fechada da área.

Para as seções gabaritadas, os seguintes itens:

- Cotas do terreno;
- Cotas do projeto;
- Linha do primitivo;
- Linha de variação do terreno;
- Linha de escavação da troca solo fofo.

Após o recebimento do material, era realizado a verificação das coordenadas e geradas superfícieis em AutoCAD civil 3D para realizar o comparativo entre o projeto e As Built.

2.3.1 Critérios de aceitação

O critério de aceitação, referente aos levantamentos planialtimétricos se deu em função o limite de tolerância ≤ 10 cm de desvio topográfico para menos, em levantamentos topográficos diferentes de uma mesma área, utilizando-se planilha em Excel para comparação entre as informações repassadas pela Fiscalização e o Executante.

2.3.2 Entregáveis

- Pontos notáveis;
- Informações planialtimétricas do terreno natural;
- Informações planialtimétricas da escavação.

	VALIDAÇÃO DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS - VCT										GEOCOBA
Subsistema:	Liberação de Fundação			Registro:	28						Rev.: 0
Nº Projeto:	ARB	Nome do Projeto: ARB									Página: 1/1
Data: 20/10/23	Local de aplicação: NORTE				Área	H					Estaca: EST. 103+0,00 a 109+0,00
	Terreno Primitivo de Projeto				Diferença entre TPP e TPN						Tolerância
	Terreno Primitivo Natural				Diferença Média entre Primitivos						10 cm
COORDENADAS DE CAMPO - EXECUTANTE											
Ponto	NORTE		ESTE		C.E.		Observações			TPP	TPN	DEPN (cm)
173,0	9.700.270,890	✓	579.927,150	✓	42,173	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			44,81	44,52	29,18
174,0	9.700.272,020	✓	579.934,390	✓	42,697	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			45,36	45,39	-3,17
175,0	9.700.270,720	✓	579.945,970	✓	41,883	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			44,70	44,36	33,79
176,0	9.700.268,180	✓	579.956,790	✓	41,124	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			43,53	43,28	25,34
177,0	9.700.268,180	✓	579.962,940	✓	40,690	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			43,08	42,78	30,13
178,0	9.700.269,640	✓	579.972,090	✓	40,092	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			42,79	42,29	50,04
179,0	9.700.274,420	✓	579.983,360	✓	40,620	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			43,12	42,63	49,55
180,0	9.700.279,320	✓	579.992,060	✓	41,774	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			44,14	43,77	37,39
181,0	9.700.291,210	✓	580.010,250	✓	43,815	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			46,13	45,82	31,28
211,0	9.700.366,950	✓	579.928,280	✓	26,634	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			28,99	28,78	20,97
												30,45
COORDENADAS DE CAMPO - FISCALIZAÇÃO											
Ponto	NORTE		ESTE		C.E.		Observações			TPP	TPN	DEPN (cm)
173	9.700.270,890	✓	579.927,150	✓	42,171	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			44,81	44,51	30,18
174	9.700.272,020	✓	579.934,390	✓	42,695	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			45,36	45,38	-1,77
175	9.700.270,720	✓	579.945,970	✓	41,881	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			44,70	44,36	33,79
176	9.700.268,180	✓	579.956,790	✓	41,122	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			43,53	43,27	26,04
177	9.700.268,180	✓	579.962,940	✓	40,588	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			43,08	42,76	31,93
178	9.700.269,640	✓	579.972,090	✓	40,090	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			42,79	42,28	50,94
179	9.700.274,420	✓	579.983,360	✓	40,618	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			43,12	42,63	49,05
180	9.700.279,320	✓	579.992,060	✓	41,772	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			44,14	43,75	38,99
181	9.700.291,210	✓	580.010,250	✓	43,813	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			46,13	45,82	30,88
211	9.700.366,950	✓	579.928,280	✓	26,632	✓	Coordenadas dentro da tolerância estabelecida			28,99	28,77	22,07
OBS: DEPN NEGATIVOS INDICAM ESCAVAÇÃO MENOR QUE ESTABELECIDO EM PROJETO												31,21

Figura 2- Exemplo de compatibilização planimétrica aprovada Fonte: GEOCOBA

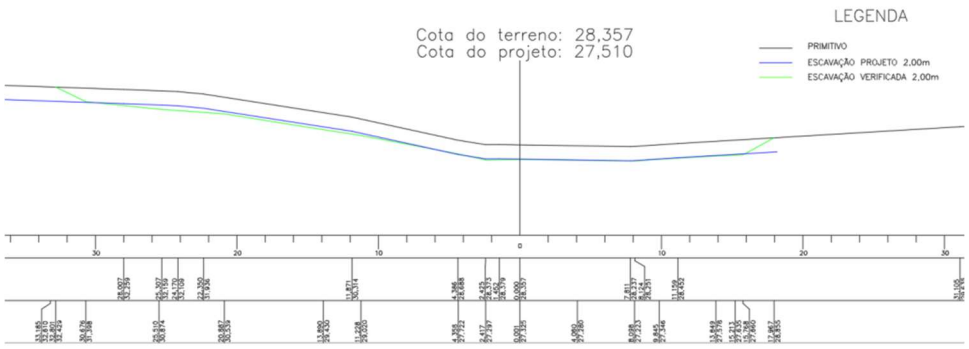


Figura 3 – Exemplo de compatibilização geometria aprovada, seção com substituição de solo fofo com espessura de remoção ~2m. Fonte: GEOCOBA

2.4 Verificação da resistência da fundação do dique

Para validação da fundação, utilizou-se uma campanha de pontos distribuídos equidistantes entre-se à cada 25m. Essa etapa foi acompanhada pela equipe técnica de campo (ATO), com o objetivo de verificar a aderência entre o projeto e a execução em campo. Além da conferência das profundidades previstas em projeto, foram realizadas sondagens adicionais in loco do tipo DPL *(Dynamic Probing Light)*. Sanchez et al. (2010). Abaixo, é apresentado na Figura 4 todos os pontos destinadas as sondagens a percussão superficial (SPS).

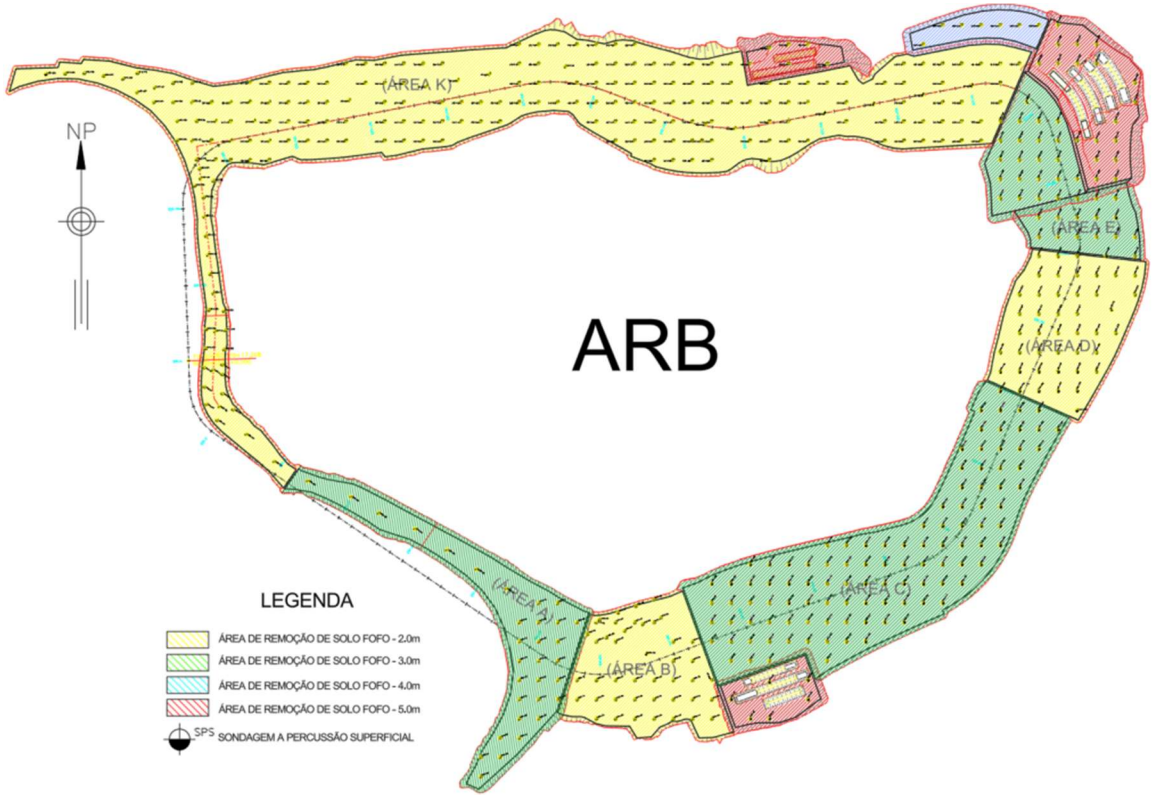


Figura 4- Furos de sondagem a percussão superficial (SPS) Fonte: GEOCOBA

2.4.1 Observação Visual

Foram realizadas observações visuais para identificação de material orgânico na área a ser liberada. Quando foi identificada, in loco, a presença de matéria orgânica, utilizou-se o método da mufla, conforme a NBR 13.600:2022, para quantificar o teor de matéria orgânica na camada de solo. Quando o teor de matéria orgânica excedeu 5%, o profissional geotécnico habilitado solicitou a retirada de 50 cm de espessura de material, para posterior reavaliação.

2.4.2 Liberação de Fundação

O critério de liberação de fundação, conforme definido em projeto, foi conduzido por profissional geotécnico habilitado, representando pela projetista (ATO). Para efeito de projeto, foi definido como nível de fundação/substituição de solo fofo, horizontes com NSPT > 4, conforme NBR 6484:2020.
Para a validação e verificação da resistência de suporte da camada, foi utilizado equipamento portátil DPL, com configurações descritas conforme ISSMFE (1989).
DPL – Dynamic Probing Light é um penetrômetro portátil que mede o número de golpes necessários para que um peso de 10 kg a uma altura de queda de 50 cm penetre 10 cm de camada de solo, a resistência à penetração (N10) é contabilizado pelo número de golpes necessários para cada avanço de 10 cm de profundidade do equipamento no solo. Os detalhes do equipamento estão apresentados na Figura 5.

A verificação de camadas de solo fofo por meio do DPL, adotada neste procedimento, utiliza a correlação média dos últimos 30cm N_{10}, proposta por Sanchez et al. (2010), conforme Equação 1 abaixo.

$$N_{30(SPT)} = 0{,}6062.N_{10} - 0{,}3644 \quad (1)$$

Portanto, o valor de N10 médio de referência para liberação de camadas de solo fofo adotado será de 8 golpes. Em situações cujo avanço do cone ocorrer somente por conta do peso próprio ou devido a perturbação da camada de solo superficial, o valor de N10 será corrigido, considerando em 2 cm como o avanço devido ao peso próprio do equipamento, sendo quantificado os N golpes necessários para finalizar os 10 cm finais por meio da Equação 2.

$$N_{10} = \frac{10.N}{8} \quad (2)$$

O critério interrupção de cravação do cone, foi realizado sempre que ocorrer uma das seguintes situações:

a) O número de golpes ultrapassar 30 para avançar os 10 cm de camada;

b) Se durante a cravação, após 5 golpes sucessivos não se observar avanço do cone.

Em casos de verificação de camadas de solo fofo, o ensaio foi repetido em ponto adjacente para comprovação. Quando comprovado camada de solo fofo, ou seja, o valor médio de N10 < 8 era realizado a retirada da camada de 50 cm nas respectivas áreas e adjacências e, ainda assim, verificar novamente por meio do DPL a compacidade da camada seguinte. Esta etapa era refeita até que toda a camada de solo fofa fosse removida.

Tabela A.1 – Estado de compacidade e consistência

Solo	Índice de resistência à penetração *N*	Designação [a]
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	20 a 30	Muito rija(o)
	> 30	Dura(o)

[a] As expressões empregadas para a designação da compacidade das areias (fofa, compacta etc.) são referências à deformabilidade e à resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não podem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compacidade relativa

ENSAIO COMPLEMENTAR SONDAGEM SUPERFICIAL PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE - DPL

GEOCOBA

Subsistema:	Liberação de Fundação	Local de aplicação:	Área	Estaca:	Registro: 11
Nº Projeto:	ARB				Rev.: 1
Nome do projeto:		NORTE	K	123+00 a 126+00	Página: 1/2

Furo:		Coordenadas		Cota
SPS- 94		N (m)	E (m)	(m)
Data: 18/08/23		E:579631,78	9.700.420,250	41,75

Z (cm)	N10	N10cor.	N10med	Nspteq (N30)	Comp. Relativa	Check
0	15	15	14,3	8	Med. Comp.	✓
10	24	24				
20	15	15				
30	14	14				
40	14	14				

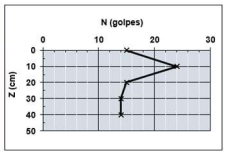


Figura 5 - Validação da resistência de suporte da camada Fonte: GEOCOBA

3. VERIFICAÇÕES DE ADERÊNCIA PROJETO X AS BUILT

Após a execução e validação em campo pela equipe técnica (ATO), a etapa de *As Built* consistiu na comparação e verificação de todas as seções de substituição de solo fofo (denominados "primitivos") entre a empresa fiscalizadora e a empresa executora, confrontando-as com os dados de projeto.

A partir dessa análise, os documentos e desenhos *As Built* encaminhados pela construtora eram utilizados e validados, desde que demonstrassem aderência às diretrizes e aos parâmetros previstos. As verificações foram conduzidas por meio de checklists aplicados a áreas previamente definidas, com registos de conformidades e não conformidades. Quando necessário, os itens eram devolvidos para correção, acompanhados de comentários técnicos e orientações da projetista, mediante sua avaliação e aprovação.

As adequações realizadas em campo pela equipe técnica de ATO, como rebaixos necessários para obtenção da resistência mínima para liberação da fundação do dique, forem devidamente catalogadas e concatenas em um único documento, de *As Built*, desenvolvido pelo auxílio de plataforma AutoCAD. Sendo desenvolvido e validado um novo produto final entregável ao cliente. Abaixo, na Figura 6 e 7, exemplo do produto final de *As Built*.

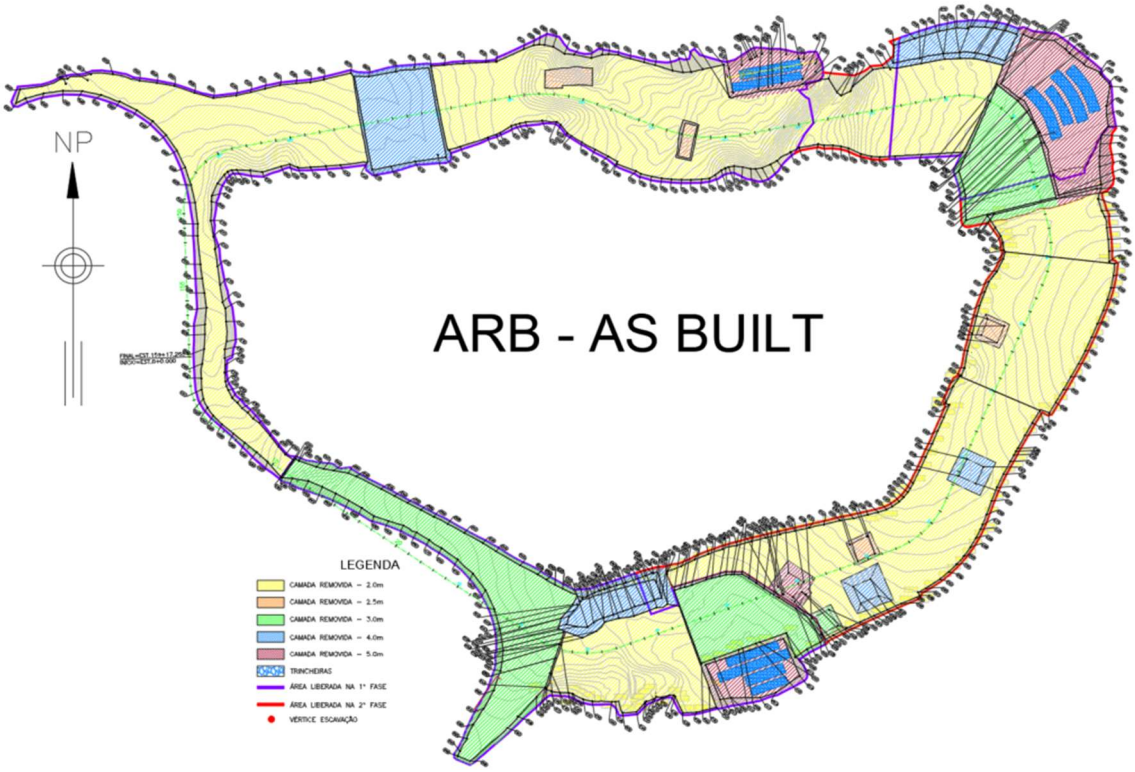


Figura 6 - Planta *As Built* de substituição de solo fofo. Fonte: GEOCOBA

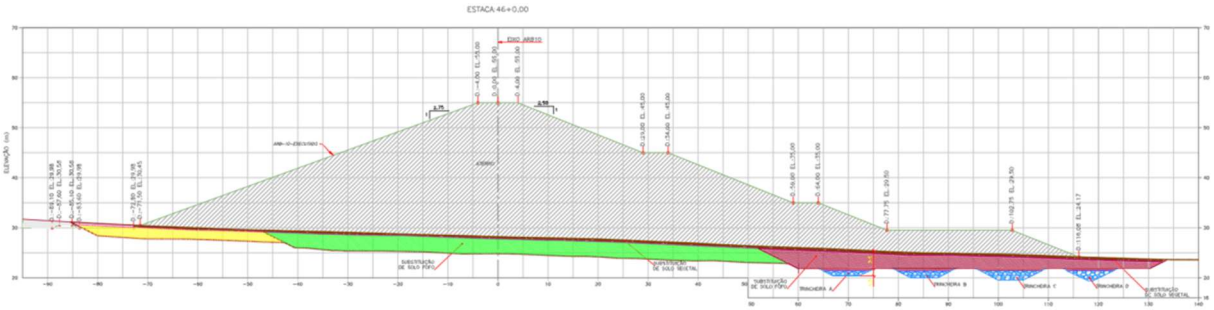


Figura 7 - Seção transversal *As Built* de substituição de solo fofo. Fonte: GEOCOBA

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A GEOCOBA apresentou a metodologia e o projeto de substituição do solo fofo em uma Área de Resíduo de Bauxita (ARB), descrevendo os principais problemas identificados e o método de análise empregado para comparação entre os dados de projeto e os registros de campo (*As Built*) encaminhados pela empresa executora.

No início das verificações, foram observadas algumas divergências entre os resultados, as quais foram gradativamente esclarecidas e sanadas ao longo do desenvolvimento das análises e do avanço das frentes de serviço, com base em checagens adicionais e validações sucessivas na estrutura.

Para efeito de controle de aderência e validação em relação ao projeto, considerou-se aceitável a tolerância de ±10 cm entre a linha prevista em projeto e a linha registrada no *As Built*. Essa tolerância foi adotada em função das incertezas inerentes aos levantamentos topográficos (precisão de equipamentos e métodos), bem como de eventuais discrepâncias de cadastro em campo durante a escavação das trincheiras e a delimitação das áreas efetivamente removidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da empresa GEOCOBA PROJETOS DE ENGENHARIA pela oportunidade de divulgar o trabalho realizado em situações de validação *As Built*, bem como as contribuições trazidas pela engenheira Vanessa Frazão e o engenheiro Paulo Emílio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. Solo – Sondagens de simples reconhecimento. com SPT – método de ensaio. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025). NBR 13133. Execução de levantamento topográfico - Procedimento. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). NBR 14645-1. Elaboração do "como construído" *(As Built)* para edificações Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25 000 m², para fins de estudos, projetos e edificação - Procedimento. Rio de Janeiro.

GEOCOBA PROJETOS DE ENGENHARIA. Procedimento para liberação de substituição de solo fofo, 2023. 14 p.

SANCHEZ, Pablo Fernando et al. (2010) Estudo da viabilidade do uso do Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) para projetos de fundações de linhas de transmissão em solos do estado do Paraná. ENGENHARIA GEOTÉCNICA PARA O DESENVOLVIMENTO, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, v. 8, 2010.