XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/95

Interação entre Estrutura de Contenção e Extravasor de Concreto Existente: Avaliação Tensão-Deformação em Alteamento de Barragem

Laís Brenda Lopes Rezende
Engenheira Geotécnica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, lais.brenda@ufv.br

Ronaldo Vilela Wanderley Neto
Engenheiro Geotécnico, JF Brasil Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, ronaldo.vilela@jfbr.com.br

Gustavo Ribeiro Paulino
Engenheiro Geotécnico, JF Brasil Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, gustavo.paulino@jfbr.com.br

Ciro Gabriel Tozetti Franco
Geólogo, JF Brasil Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, ciro.franco@jfbr.com.br

RESUMO: A modernização de técnicas construtivas em geotecnia tem impulsionado métodos construtivos capazes de compatibilizar intervenções em barragens com estruturas preexistentes. Este artigo apresenta um estudo de caso de alteamento de barragem utilizando uma solução de solo reforçado *StrataSlope* (*Strata System Inc.* EUA), conciliada com a preservação de um extravasor de concreto já implantado. O objetivo é avaliar a influência da nova estrutura de contenção sobre o comportamento do extravasor por meio de análises tensão-deformação. Para tal, foram realizadas simulações numéricas no *software* RS2 (Rocscience), com modelos constitutivos adequados, contemplando 15 etapas construtivas desde a condição *in situ* até a configuração final. Avaliaram-se deslocamentos das paredes e da laje do extravasor, bem como as tensões atuantes. Os resultados indicam deslocamentos máximos da ordem de 3,0 mm, com deformações distorcionais máximas de 1:1241 (0,08%). Tais deformações totais e diferenciais localizadas se mantêm dentro de limites aceitáveis para estruturas hidráulicas, sem caracterizar estado limite de serviço. Em relação às tensões, observou-se redução durante a escavação, seguida de aumento gradual ao longo da implantação da contenção até a condição final, em que, ainda que o estado de tensões seja superior ao *in situ*, nota-se força cortante resistente pelo menos duas vezes maior que a força cortante solicitante, indicando que a estrutura se encontra dentro dos limites admissíveis. Conclui-se que a interação entre a contenção projetada e o extravasor existente é satisfatória, com deformações e tensões em níveis aceitáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Tensão-Deformação, Solo Reforçado, Barragem, StrataSlope.

ABSTRACT: The modernization of geotechnical construction techniques has driven the development of methods for reconciling interventions in dams with pre-existing structures. This paper presents a case study of a dam raise using a reinforced soil technique StrataSlope (*Strata System Inc.* EUA), while preserving an existing concrete spillway. The main objective is to evaluate the influence of the new retaining structure on the behavior of the existing spillway through stress-strain analysis. Numerical simulations were performed using RS2 (Rocscience), with constitutive models appropriate for the materials involved, covering 15 construction stages from the initial *in situ* condition to the final design configuration. Displacements of the spillway walls and slab were evaluated, along with the acting stresses. The results indicate maximum displacements on the order of 3.0 mm, with maximum distortional strains of 1:1,241 (0.08%). Localized total and differential deformations remain within acceptable limits for hydraulic structures, without reaching a serviceability limit state. Regarding stress, a reduction was observed during excavation, followed by a gradual increase throughout the installation of the retaining structure until the final condition. Although the final stress state is higher than the *in situ* condition, the available shear resistance is at least twice the mobilized shear demand, indicating that the structure remains within acceptable limits. It is concluded that the interaction between the designed retaining structure and the existing spillway is satisfactory, with deformations and stresses at acceptable levels.

KEYWORDS: Stress-Strain Analysis, Reinforced Soil, Dam, StrataSlope.

1 INTRODUÇÃO

A modernização das técnicas construtivas em geotecnia tem ampliado a capacidade de engenharia de barragens em lidar com cenários cada vez mais restritivos, nos quais novas intervenções precisam ser compatibilizadas com estruturas existentes e com condicionantes operacionais, ambientais e regulatórios. No setor minerário, este desafio se intensifica à medida que os empreendimentos buscam soluções que permitiam a conciliação do desempenho, segurança e otimização dos recursos disponíveis e adquiridos.

A coexistência entre novas obras e estruturas préexistentes impõe um problema de engenharia: realizar a avaliação da interação entre o elemento existente e as intervenções que serão executadas ao seu entorno. Em particular, estruturas de concreto podem ser sensíveis a deformações, recalques e redistribuição de tensões do maciço e também pela implantação de contenções adjacentes. Assim, em casos em que serão realizadas obras próximas, é necessário prever, com base em metodologias adequadas e ferramentas computacionais capazes de auxiliar em tais análises, se a intervenção planejada mantém o desempenho estrutural e funcional do sistema existente, dentro dos limites aceitáveis de serviço, evitando assim o comprometimento operacional e a necessidade de reforços não previstos.

Neste contexto, a modelagem numérica tem se consolidado como instrumento fundamental para investigar a resposta tensão-deformação em diferentes etapas construtivas, permitindo representar a sequência executiva, o comportamento constitutivo dos materiais e a evolução do carregamento ao longo do tempo. Assim, é possível identificar regiões críticas e a estimativa de deslocamentos e tensões, fornecendo assim informações para tomada de decisão e para ajustes de projeto que possam se mostrar necessários.

Assim, este artigo apresenta um estudo de caso de alteamento de barragem no qual se emprega a técnica de solo reforçado utilizando o sistema *StrataSlope*, onde a estrutura de contenção se encontra próxima a um extravasor de concreto já implantado, preservando assim a sua integridade e função hidráulica. O objetivo central é avaliar a influência da nova estrutura de contenção sobre o comportamento tensão-deformação do extravasor, considerando diferentes fases de escavação e implantação até a condição final de projeto, por meio de simulações numéricas no software RS2. A partir dos resultados, discute-se a magnitude e o padrão dos deslocamentos, a evolução do estado de tensões observados nas estruturas e as implicações para a compatibilização entre a nova obra e a estrutura preexistente. Cabe destacar que, diante da ausência de projeto *As Built* do extravasor, a avaliação se fez especialmente útil do ponto de vista de sensibilidade, analisando-se, comparativamente, o estado de tensões e deslocamentos in situ com aquele verificado após implantação da estrutura de contenção.

2 OBJETO DE ESTUDO

Desde a antiguidade, é possível observar a aplicação de práticas semelhantes às atualmente empregadas no reforço de solo, nos quais materiais eram incorporados como elementos de reforço. Como exemplo, a utilização de mantas naturais compostas por raízes, como àquelas utilizadas pelos mesopotâmicos na construção de Zigurate de Ur (ERLICH; BECKER, 2009).

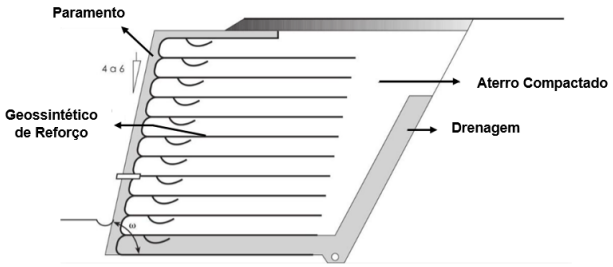
Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos distintos materiais que possuem características adequadas para serem utilizados em estruturas de contenção. A escolha da tipologia de material deve ser feita levando em consideração diversos aspectos, tais como, econômicos, condições *in loco*, especificidades do projeto, dentre outros. Assim, foi desenvolvido o conceito de uma estrutura de contenção em solo reforçado, em que a inclusão de novos materais em maciços complementam a resistência à compressão apresentada por solos e, outros materiais, a resistência à tração.

O solo reforçado pode ser definido como sendo uma técnica onde é feita a inserção de reforços – métalicos, geossintéticos ou outros – resistentes à tração, em maciços, de forma a se obter um compósito com melhores características mecânicas (ABNT NBR 16.920-1, 2021). O sistema é composto, basicamente, por três elementos distintos: solo ou material de preenchimento, elementos de reforço (inclusões) e elementos de face (paramento), como pode ser observado na Figura 1 (a).

As estruturas de contenção em solo reforçado com paramento flexível se cartacterizam pela utilização de telas metálicas como elemento de face, associadas a elementos geossintéticos (que podem ser geogrelhas

ou geotêxteis tecidos) dispostos horizontalmente no interior do maciço. Esses reforços atuam por interação mecânica com o elemento que compõe o maciço, mobilizando assim esforços de tração e promovendo a redistribuição das tensões internas, enquanto o paramento pode ou não possuir função estrutural em que, em sua maioria, apresentam função de contenção superficial, controle geométrico e, em algumas soluções, auxiliam na drenagem da estrutura. A flexibilidade do sistema permite acomodar deformações diferencias sem comprometer o desempenho global da estrutura, sendo essa uma tipologia amplamente empregada.

Diante da diversidade de soluções atualmente disponíveis, após a análise dos critérios estabelecidos para o desenvolvimento do projeto, foi considerada a utilização de um sistema de contenção em solo reforçado, empregando geogrelha como elementos de reforço e paramento metálico do tipo tela eletrossoldada. O preenchimento da face é feito com mix de brita 0 e 3, conferindo a solução maior segurança contra o arrancamento dos reforços, por meio do embricamento da brita na abertura das geogrelhas, além de promover também uma condição drenante para a face Essa solução enquadra-se no Anexo F da norma ABNT NBR 16.920-1 e um exemplo de aplicação pode ser observado na Figura 1 (b).



(a)



(b)

Figura 1 – (a) Elementos básicos de uma estrutura de contenção em solo reforçado. Fonte: VERTEMATTI, 2015 (adaptado) ; (b) Exemplo de Estrutura de Contenção em Solo Reforçado Utilizado como Solução para o Alteamento.

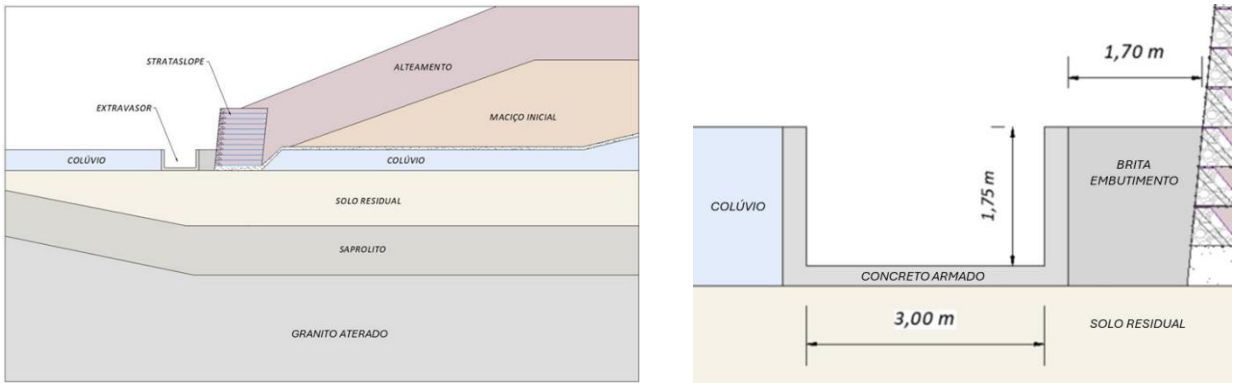
Previamente à realização da análise Tensão x Deformação, destinada a avaliar a influência da estrutura de contenção em relação à estrutura extravasora existente, procedeu-se o dimensionamento da estrutura conforme os critérios preconizados pela referida norma. Foram realizadas análises de estabilidade interna, external e global e, após a comprovação do atendimento integral aos fatores de segurança mínimos normativos, efetuou-se a modelagem numérica para a simulação do estudo.

3. SOLUÇÃO DE PROJETO

A aplicação de uma estrutura de contenção foi necessária tendo em vista a necessidade de alteamento e também de reforço da barragem. Considerando a estrutura do sistema extravasor existente, o projeto de reforço teria uma projeção tal qual interferiria na estrutura em questão, tornando-o inutilizável e sendo necessária a implantação de uma nova estrutura, o que não se justificava tendo em vista o bom estado de conservação da existente bem como a sua funcionalidade. Desta forma, foi necessário verificar soluções que pudessem integrar o sistema de reforço projetado com o extravasor existente.

Desta forma, após a realização de ensaios de campo e laboratoriais e a interpretação dos mesmos, foi realizado o dimensionamento da estrutura a partir da seção crítica (seção com maior altura) da solução em questão. Como resultado das análises de estabilidade realizadas, obteve-se uma estrutura com 5,00 m de altura máxima, em que foram aplicados paramentos de face com altura de 0,50 m (fiadas) e geogrelhas com resistência de tração de projeto de 50 kN/m em cada elemento de face. A solução final pode ser observada na Figura 2 (a).

Com relação ao extravasor existente na estrutura, o mesmo é composto por uma seção retangular de concreto armado, com dimensões 1,75 m x 3,00 m x 1,75 m e com espessura de 0,30 m. Já com relação a estrutura de contenção a ser implantada, a mesma encontra-se a uma distância de aproximadamente 1,70 m da parede externa do extravasor. Estas dimensões podem ser observadas na Figura 2 (b).



(a) (b)

Figura 2 – (a) Solução Final Implementada; (b) Dimensões do Extravasor.

Apresenta-se os parâmetros de resistência e de deformabilidade dos materiais presentes na seção analisada na Tabela 1. Tais parâmetros foram baseados em resultados de ensaios de laboratório e, na falta destes, em informações da literaura. Os reforços geossintéticos utilizados foram modelados como *Liners*, bem como os elementos frontais do sistema Strata, sendo seus parâmetros apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Parâmetros de Resistência e Deformabilidade dos Materiais

Material	Carregamento Inicial	Peso Específico (kN/m³)	Coeficiente de Poisson	Módulo de Young (kPa)	Ângulo de Atrito de Pico (°)	Coesão de Pico (kPa)
Aterro Argiloso (Maciço Inicial)	Tensão *In situ* e Peso Próprio	19	0,33	25000	28	12
Colúvio	Tensão *In situ* e Peso Próprio	18	0,30	20000	27	6
Solo Residual	Tensão *In situ* e Peso Próprio	20	0,30	45000	32	3
Saprolito	Tensão *In situ* e Peso Próprio	22	0,30	50000	35	25
Granito Alterado (1)	Tensão *In situ* e Peso Próprio	27	0,30	3000000	30	250
Drenagem Interna (2)	Tensão *In situ* e Peso Próprio	20	0,30	60000	30	1
Concreto (3)	Tensão *In situ* e Peso Próprio	23	0,25	25000000	35	3000
Aterro Argiloso (Alteamento)	Peso Próprio	19	0,33	25000	30	12
Brita (2)	Peso Próprio	20	0,30	60000	34	1

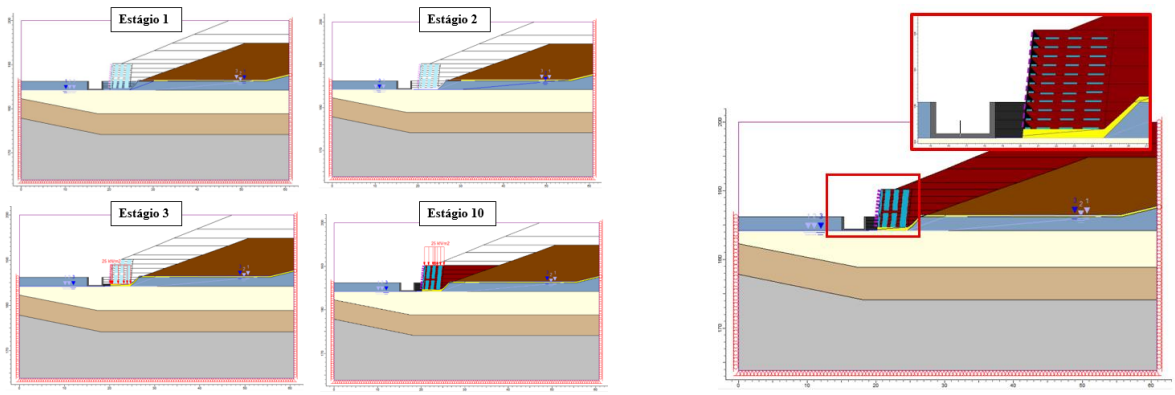
Notas: (1) Read & Stacey (2009); (2) Cruz (2004); (3) ABNT NBR 6118 (2026).

Tabela 2 - Propriedades dos *Liners*

Nome	Tipo	Elemento	Módulo de Tração (kN/m)	Tipo de Material	Resistência de Pico (kN/m)
StrataGrid	Geossintético	Reforço	555,55	Plástico	28,96
StrataSlope	Geossintético	Paramento	25000	Plástico	257,34

4 MODELAGEM NUMÉRICA

A modelagem numérica foi feita no software RS2, da empresa RocScience, em que foram considerados 15 estágios construtivos. O estágio 1 corresponde à condição *in situ*, adotada como referência inicial. O Estágio 2 contempla a escavação e o rebaixamento do nível freático. No Estágio 3, inicia-se o alteamento da estrutura de solo reforçado, que prossegue até o Estágio 10. Sobre cada camada lançada, foi aplicada uma carga distribuída de 25 kPa, que representa o tráfego de equipamentos. A partir do Estágio 11, executou-se o alteamento complementar, concluído no Estágio 15. A Figura *3* (a) ilustra os estágios 1 a 10, enquanto a Figura *3* (b) ilustra o Estágio Final, com detalhe entre a estrutura de contenção executada e o extravasor.



(a) (b)

Figura 3: (a) Estágios 1 a 10 Utilizados na Modelagem Numérica; (b) Estágio 15 e Final da Modelagem.

As análises foram conduzidas em condição de deformação plana (*plane strain)*, admitindo-se regime de fluxo com nível freático estacionário, o qual variou apenas entre os três primeiros estágios. As condições de contorno consistiram na restrição de deslocamentos horizontais (eixo x) nos bordos laterais e restrição de deslocamento horizontais e verticais (x e y) na base do modelo.

Para os materiais presentes desde o Estágio 1, adotou-se a condição inicial com peso próprio e tensões geostáticas simultaneamente, considerando um coeficiente de empuxo em repouso k0 = 0,5. Para os materiais inseridos ao longo das etapas construtivas, foi considerada apenas a condição inicial de peso próprio.

A discretização inicial foi realizada com, aproximadamente, 5000 elementos triangulares de seis nós, sob malha uniforme. A qualidade da malha foi verificada com base nos seguintes critérios geométricos: razão entre o maior e o menor lado inferior a 30, ângulo interno mínimo superior a 2° e ângulo interno máximo inferior a 175°, não sendo identificados elementos de má qualidade segundo tais critérios.

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados os resultados referentes a análise tensão-deformação da estrutura de concreto armado tanto com relação aos deslocamentos horizontais e verticais quanto em termos das tensões atuantes na estrutura em questão.

5.1 Deslocamentos

Em termos de deslocamentos horizontais, a Figura 4 traz os resultados da análise Tensão x Deformação feita através do *software* RS2. Para a análise dos resultados, a estrutura do extravasor foi segregada em três elementos: Parede Direita, Parede Esquerda e Base.

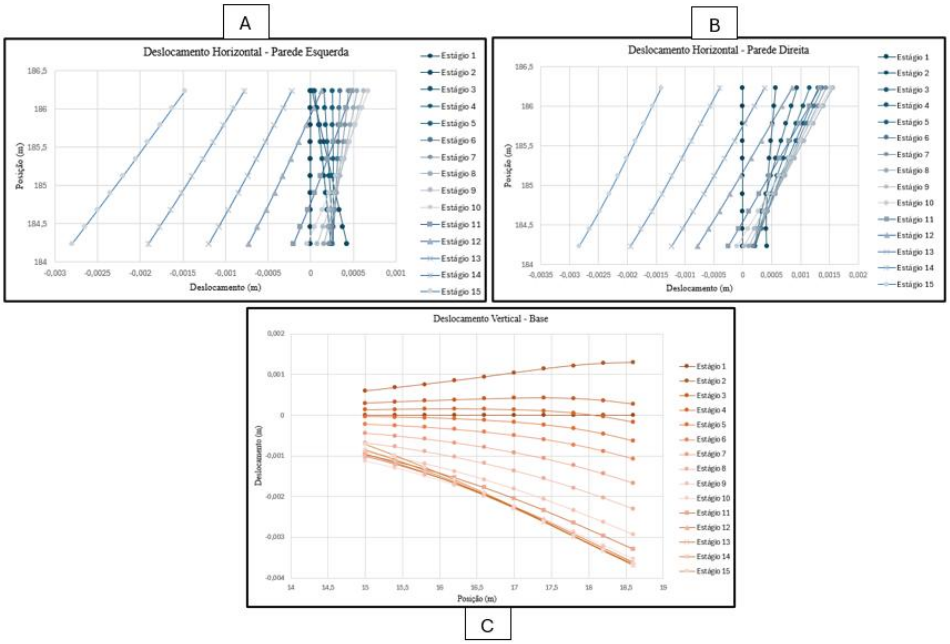


Figura 4 - Resultados Gráficos da Modelagem Tensão-Deformação: (A) Deslocamento Horizontal da Parede Esquerda; (B) Deslocamento Horizontal da Parede Direita; (C) Deslocamento Vertical da Base

Considerando a sequência construtiva demonstrada na Figura 3, observa-se que, inicialmente, a estrutura do extravasor é submetida a um desconfinamento lateral devido à etapa de escavação para implantação da contenção. Então, nos primeiros estágios que consideram esta etapa de escavação, há um aumento dos deslocamentos horizontais, com deslocamentos com maior magnitude relativa (quando se compara os deslocamentos das paredes do extravasor) na parede direita.

Já com relação aos deslocamentos da base da estrutura, observa-se uma tendência de deslocamento vertical para cima com o desconfinamento causado pela escavação, seguido por deslocamentos para baixo durante a implantação da estrutura de solo reforçado. Nestes estágios de implantação do *StrataSlope*, observa-se que, entre os pontos presentes na *query* (representados no gráfico pela posição analisada), há uma diferença de deslocamento vertical entre o lado direito e o esquerdo, podendo ser interpretado como um recalque diferencial, tendo em vista que os pontos da *query* mais próximos à parede direta (próximos à posição 18,00) apresentam valores de recalques maiores do que os pontos próximos à parede esquerda.

Também foram avaliadas as deformações em relação à distorção (d) apresentada dos elementos da estrutura no seu último estágio, em que a estrutura de contenção já está implantada. Desta forma, a distorção apresentada por cada elemento é representada pela seguinte equação:

$$\delta = \frac{\Delta_{Deslocamento}}{Comprimento\ da\ Estrutura}$$

Assim, para cada elemento (parede esquerda, parede direta e base), a deformação diferencial é:

$$\delta_{Base} \approx \frac{1}{1241} \qquad \delta_{Parede\ Esquerda} \approx \frac{1}{1538} \qquad \delta_{Parede\ Direita} \approx \frac{1}{1389}$$

Os resultados mais restritivos obtidos (para a base) atendem aos critérios preconizados em normativas nacionais e internacionais (NBR 6118, ABNT, 2026; prEN 1990:2020, Comité Européen de Normalisation, 2020) quanto ao deslocamento diferencial e ao deslocamento total. Com estes resultados, não se espera que a estrutura extravasora atinja um estado limite de serviço que comprometa sua função operacional.

5.2 Tensões Atuantes

Foram verificadas as tensões desenvolvidas na parede direita e na laje do extravasor. Na parede, os pontos de análise foram posicionados nas porções mais solicitadas, próximo ao encontro com a laje. Já na laje,

tem-se pontos de análise no encontro com a parede direita (mais próxima à escavação / estrutura de contenção). Para análise das tensões atuantes nas paredes de concreto da estrutura existente, estudou-se as tensões verticais (σ_{YY}) e cisalhantes (σ_{XY}) desenvolvidas nos modelos simulados, enquanto na laje se verificou as tensões horizontais (σ_{XX}) além das cisalhantes (σ_{XY}). Na Figura 5, apresentam-se as tensões verificadas para as etapas da modelagem nas quais se tem mais solicitação da estrutura de concreto (*in situ*, escavação e condição final).

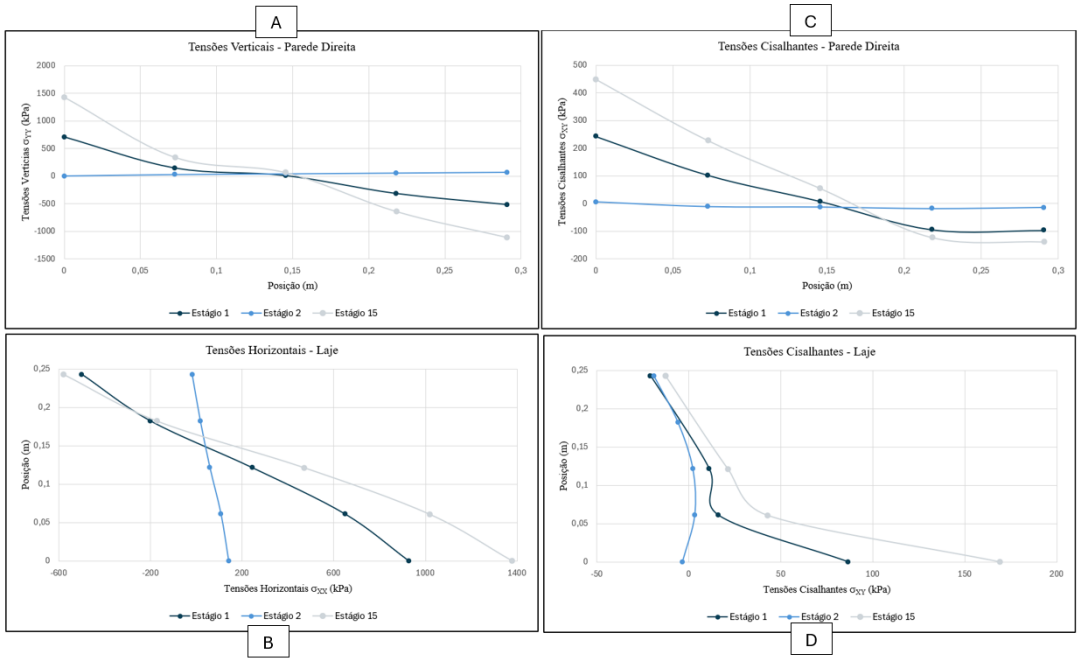


Figura 5 – Tensões Atuantes na Estrutura de Concreto. (A) Tensões Verticais na Parede Direita; (B) Tensões Horizontais na Laje; (C) Tensões Cisalhantes na Parede Direita; (D) Tensões Ccisalhantes na Laje.

Para a parede direita, no cenário *in situ,* as tensões verticais exibem padrão compressivo nas fibras externas (bordo esquerdo) e de tracionamento nas fibras internas (bordo direito), indicando coerência na resposta do modelo numérico. Nota-se que, ao se realizar a escavação prevista em projeto, as tensões de compressão e de tração diminuem consideravelmente, saindo da ordem de 700 kPa (compressão) e 500 kPa (tração) para valores praticamente nulos. Posteriormente, com o carregamento na margem do extravasor causado pela implantação da estrutura de contenção, as tensões verticais aumentam para patamar superior ao da etapa inicial de modelagem, solicitando a estrutura de concreto em, aproximadamente, o dobro da magnitude em termos de tensão vertical (1430 kPa compressão; 1100 kPa tração). A tensão cisalhante na parede direita segue o mesmo comportamento de diminuição durante as escavações e posterior aumento com a implantação da estrutura de contenção, indo da ordem de 250 kPa para 450 kPa nas fibras comprimidas e de 100 kPa para 140 kPa nas fibras tracionadas.

Na laje do extravasor, as tensões horizontais e cisalhantes diminuem com o desconfinamento provocado pela escavação, e tornam a aumentar progressivamente com a implantação da estrutura de contenção, semelhantemente às tensões verificadas para a parede. No estágio inicial, para as tensões horizontais e tensões cisalhantes, respectivamente, a parte comprimida apresenta valores de 930 kPa e 90 kPa e a porção tracionada 500 kPa e 20 kPa. Já no estágio final de projeto, estes valores são, para as tensões horizontais, 1380 kPa e 580 kPa e, para as cisalhantes, 170 kPa e 13 kPa.

Os resultados apresentados indicam que as tensões de compressão são de baixa magnitude e podem ser facilmente suportadas por estruturas usuais de concreto, mesmo aquelas com resistência característica (f_{ck}) inferiores à dos limites normativos. No que se refere aos esforços de tração, ainda que consideradas as condições de carregamento mais exigentes, correspondente à etapa final de construção, não se observa possibilidade de comprometimento da estrutura.

Ao se fazer uma avaliação simplificada da estrutura, mas com base em considerações favoráveis à segurança, nota-se que os resultados encontrados para as trações podem ser equiparados aos causados por um momento fletor atuante da ordem de 17 kN·m/m. Esse valor, contudo, ainda que majorado pelos coeficientes

de carregamento, seguirá inferior ao próprio momento mínimo de dimensionamento das armaduras previsto na norma ABNT NBT 6118,2026, que para esse caso seria de aproximadamente 26 kN·m/m, mesmo que seja considerado um concreto de classe C20 (f_{ck}=20 MPa), que é a de resistência mais baixa permitida. Em realidade, tendo em vista as dimensões da parede do extravasor (30 cm), a armadura mínima da estrutura estará condicionada pela taxa de 0,15% da área da seção transversal de concreto, o que proporcionará uma segurança ainda maior para essa condição.

No que se refere às tensões de cisalhamento a situação também é confortável, do ponto de vista de atendimento aos parâmetros de segurança estrutural, sendo que nas seções mais solicitadas a força cortante resistente de cálculo chega a superar em mais de duas vezes a força cortante solicitante de cálculo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou a interação tensão-deformação entre uma estrutura de contenção em solo reforçado (StrataSlope) e um extravasor de concreto armado existente, no contexto do alteamento a jusante de uma barragem. As análises numéricas bidimensionais, realizadas no software RS2 (Rocscience) contemplaram 15 etapas construtivas, desde a condição *in situ* (atual) até a configuração final de projeto.

Em termos de deslocamentos, a estrutura do extravasor apresentou valores máximos da ordem de 3,0 mm. As deformações distorcionais obtidas — da ordem de 1:1241 para a base, 1:1538 para a parede esquerda e 1:1389 para a parede direita — encontram-se dentro dos limites admissíveis estabelecidos por normativas nacionais e internacionais, não sendo identificado atingimento de estado limite de serviço capaz de comprometer a funcionalidade hidráulica do extravasor.

Quanto ao estado de tensões, a escavação para implantação da contenção provoca redução generalizada das tensões na estrutura de concreto. A partir do lançamento das camadas de aterro reforçado, as tensões retornam progressivamente, atingindo, na condição final, valores superiores aos verificados na situação *in situ*. De toda maneira, mostrou-se que tal acréscimo é confortável do ponto de vista de atendimento aos parâmetros de segurança estrutural.

Conclui-se que a solução projetada é compatível com a preservação da estrutura de concreto existente em termos de deformações e de tensões.

A metodologia de análise empregada demonstra-se adequada para a caracterização da interação entre novas obras e estruturas preexistentes em projetos de alteamento de barragens, fornecendo subsídios quantitativos para a tomada de decisão em projeto e para verificações estruturais complementares quando necessário.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-1. *Muros e taludes em solos reforçados Parte 1: Solos reforçados em aterros*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2026). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro.

Comité Européen de Normalisation. *EUROCODE 7: prEN 1997-1:2022. Geotechnical design – Part 1: General rules.* Bruxelas, 2022.

Comité Européen de Normalisation. *prEN 1990:2020. Eurocode – Basis of structural and geotechnical design.* Bruxelas, 2020.

Cruz, P.T. (2004). *100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto*. 2. ed. São Paulo. Oficina de Textos.

Ehrlich, M.; Becker, L (2009). *Muros e Taludes de Solo Reforçado: Projeto e Execução.* São Paulo. Oficina de Textos.

Read, J.; Stacey, P. (Eds.) (2009). *Guidelines for Open Pit Slope Design*. Leiden. CRC Press/CSIRO Publishing.

Vertematti, C.J (2015). *Manual Brasileiro de Geossintéticos.* São Paulo. Blucher.