



CONTRATO 226/2021
AS N°076/2024

**MUNICÍPIO DE MUQUI
DISTRITO SEDE**

**MELHORIAS DO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE
MUQUI – NOVA CAPTAÇÃO**

VOLUME IV – PROJETO GEOTÉCNICO

TOMO C – RELATÓRIO TÉCNICO

C-092-000-10-4-RT-0001

GANEM
Engenharia Ltda

MAIO/2025
REVISÃO 0

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do contrato nº 226/2021, celebrado entre a **GANEM Engenharia Ltda EPP** e a **Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN)**, em 21 de setembro de 2021.

Este contrato visa atender as demandas de análise operacional e projetos da **Gerência de Engenharia e Serviços (O-GES)**, e está sendo acompanhado pela **Divisão de Projetos Operacionais (O-DPO)**.

A **GANEM Engenharia Ltda EPP** apresenta o relatório técnico com a análise da viabilidade do uso de piping nas melhorias do sistema de abastecimento de água da sede do Município de Muqui, localizado no Estado do Espírito Santo.

O projeto completo das melhorias do sistema de abastecimento de água de Muqui é apresentado conforme descrito abaixo:

- Volume I – Topografia:
 - Tomo A – Caderneta Topográfica (D-092-000-00-1-CT-0001);
 - Tomo B – Desenhos.
- Volume II – Projeto Hidráulico:
 - Tomo A – Memorial Descritivo e de Cálculo (C-092-000-00-5-MD-0004);
 - Tomo B – Desenhos.
- Volume III – Projeto Estrutural:
 - Tomo A – Memorial Descritivo e de Cálculo (C-092-000-00-4-MC-0002);
 - Tomo B – Desenhos.
- Volume IV – Projeto Geotécnico:
 - Tomo A – Memorial de Cálculo (C-092-000-10-4-MC-0003);
 - Tomo B – Desenhos.
 - Tomo C - Relatório Técnico (C-092-000-10-4-RT-0001)
- Volume V – Orçamento (C-092-000-10-0-OR-0002):
 - Planilha Orçamentária (C-092-000-10-0-PL-0002)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REFERÊNCIAS UTILIZADAS	7
3	CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS E GEOTÉCNICAS DO LOCAL	8
4	CRITÉRIOS DE PROJETO E METODOLOGIA DE CÁLCULO	10
5	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	13
6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	14
7	CONCLUSÃO	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista 3D do ressalto hidráulico.	6
Figura 2 - Localização dos afloramentos descritos pelo SGB.	8
Figura 3 - Vista geral da área do projeto.	9
Figura 4 - Estratificação do subsolo na região da estrutura de ressalto hidráulico.	9
Figura 5 – Indicação em planta da seção transversal B-B, considerada nas análises. .	11
Figura 6 – Modelo geológico-geotécnico considerado.	12
Figura 7 – Distribuição das cargas hidráulicas obtidas.	14
Figura 8 – Distribuição das poropressões obtidas.	15
Figura 9 – Gradientes hidráulicos obtidos.	16
Figura 10 – Gradientes hidráulicos observados (filtro entre 0 e 0,1)	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos utilizados nas análises de percolação.....	13
--	----

RELATÓRIO TÉCNICO

1 INTRODUÇÃO

Apresenta-se no presente documento o memorial de cálculo/parecer técnico sobre a possibilidade de ocorrência de piping, simulando gradiente crítico, na fundação da Estrutura de Ressalto Hidráulico no trecho do novo sistema de captação de água em Muqui/ES. A Estrutura de Ressalto Hidráulico é ilustrada na Figura 1.

Essa avaliação não contempla projetos de drenagem pluvial, especificações de pavimentação, projetos de outras estruturas do local (acesso, edificações, etc.), não possuindo responsabilidade técnica sobre esses itens.



Figura 1 – Vista 3D do ressalto hidráulico.

2 REFERÊNCIAS UTILIZADAS

Foram utilizados como referência para a elaboração deste relatório técnico:

C-092-000-10-5-MD-0001	Melhorias do sistema de abastecimento de água de Muqui – Nova captação e AAB – Vol.IV, Projeto Hidráulico, R.0A, de JUL/24.
C-092-000-10-3-SD-0001	Melhorias do sistema de abastecimento de água de Muqui – Nova captação e AAB – Vol.III, Sondagem, R.0A, de AGO/22.
C-092-000-00-5-XX-0004	Melhorias do sistema de abastecimento de água de Muqui – Nova captação e AAB – Projeto Hidráulico – Ressalto Hidráulico e Tomada d'água – Planta e LM, R.0B, de AGO/24.
C-092-000-00-5-XX-0005	Melhorias do sistema de abastecimento de água de Muqui – Nova captação e AAB – Projeto Hidráulico – Ressalto Hidráulico e Tomada d'água – Cortes e Detalhes, R.0B, de AGO/24.

3 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS E GEOTÉCNICAS DO LOCAL

A região do projeto encontra-se sobre a unidade geológica complexo Paraíba do Sul, do Proterozóico e descrito na folha geológica como uma unidade onde podem ocorrer os seguintes litotipos: Anfibolito, gnaiss milonítico, granada gnaiss, mármore, metamarga e quartzito.

Afloramentos descritos no local pelo serviço geológico brasileiro (SGB) relatam a existência de afloramentos intemperizados de biotita gnaiss. A localização dos afloramentos pode ser visto na Figura 2.



Figura 2 - Localização dos afloramentos descritos pelo SGB.

No projeto, que está no Rio Claro, no município de Muqui – Sede, é relevante mencionar que o solo local terá influência predominante desse ambiente sedimentar, sendo esperado encontrar as fácies características do ambiente fluvial e de planícies de inundação. Como intercalações de areia com argila, denotando a intercalação de energias na planície de inundação, e as variações de seixos e areia nas diferentes porções do rio.

A Figura 3 apresenta uma fotografia aérea geral do local de implantação.

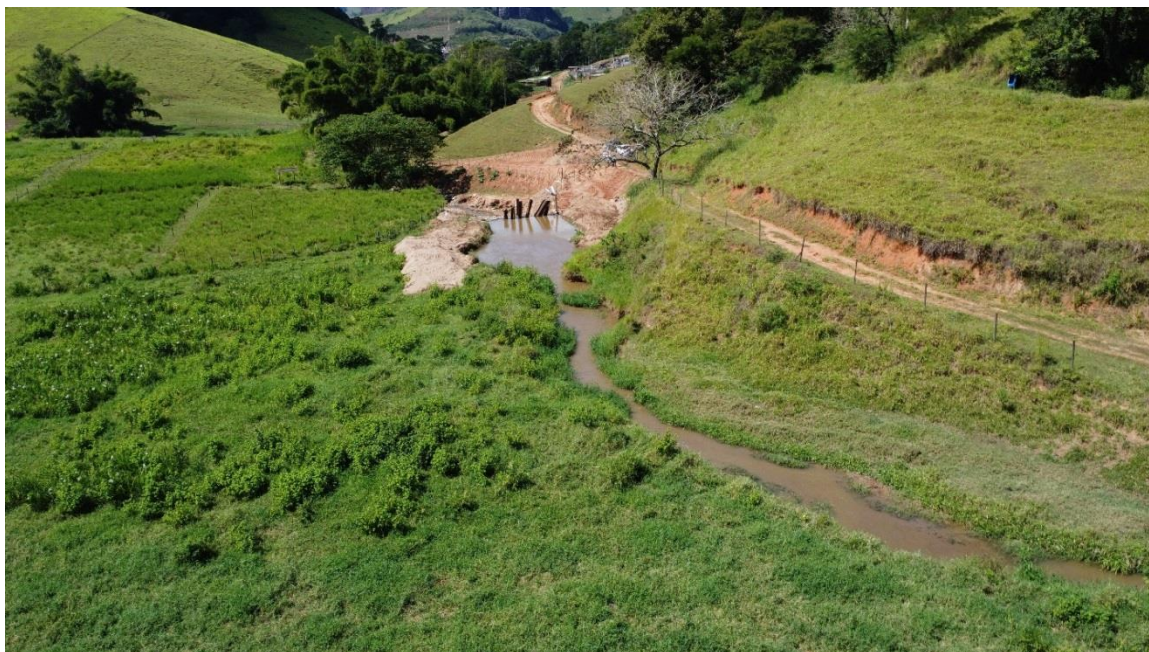


Figura 3 - Vista geral da área do projeto.

Para o reconhecimento geotécnico do subsolo, foram executadas 04 (quatro) sondagens à percussão (SPT), pela empresa Ganem Engenharia. Os boletins de sondagem indicam a possibilidade de divisão do material em 2 intervalos de iguais características geológico-geotécnicas com um intervalo de 0 a aproximadamente 7 m. de areia argilosa, com N_{SPT} médio de 9; e de 7 até cerca de 11 m. um silte argiloso com N_{SPT} médio de 18. Na Figura 4 é possível observar a estratificação explicada.

A presença do nível d'água nas sondagens coincide com o nível do rio no local.

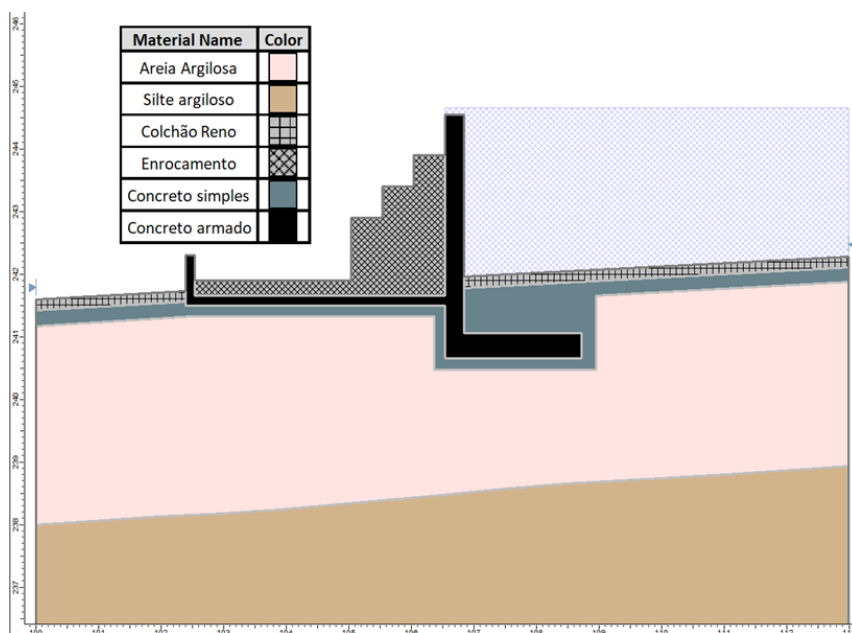


Figura 4 - Estratificação do subsolo na região da estrutura de ressalto hidráulico.

4 CRITÉRIOS DE PROJETO E METODOLOGIA DE CÁLCULO

Erosão interna (*piping*) é o processo pelo qual partículas de solo são deslocadas e transportadas pelo fluxo de água através de poros ou fissuras no solo, resultando na formação de canais internos que podem comprometer a integridade estrutural de barragens, diques e outras obras de engenharia civil.

O processo de erosão interna ocorre quando o solo está submetido a elevados gradientes hidráulicos. Logo, as forças de percolação formam um canal de erosão que transporta as partículas erodidas na direção de jusante.

De acordo com Massad (2003), solos argilosos são, em geral, menos suscetíveis a ocorrência de *piping*, pois a existência de coesão dificulta a ação das forças de percolação e o arraste de partículas. Conforme discutido no item anterior, o Ressalto Hidráulico da Estrutura de Captação será implantado em um local com um horizonte de solo areno-argiloso, seguido por um horizonte de silte argiloso. Apesar da presença de argila nos materiais de fundação reduzir as possibilidades de *piping*, serão conduzidas avaliações a partir dos gradientes hidráulicos obtidos em análises de fluxo.

As análises de fluxo, a partir da configuração geométrica da estrutura dos parâmetros geotécnicos, foram realizadas com a utilização do software Slide, da empresa ROCSCIENCE. O software, de formulação bidimensional, realiza análises de percolação pelo Método dos Elementos Finitos (MEF).

Nas análises de percolação utilizando MEF, considerou-se os materiais com comportamento isotrópico.

A análise de fluxo considerou a seção transversal B-B, indicada na Figura 5 e no desenho C-092-000-00-5-XX-0004.

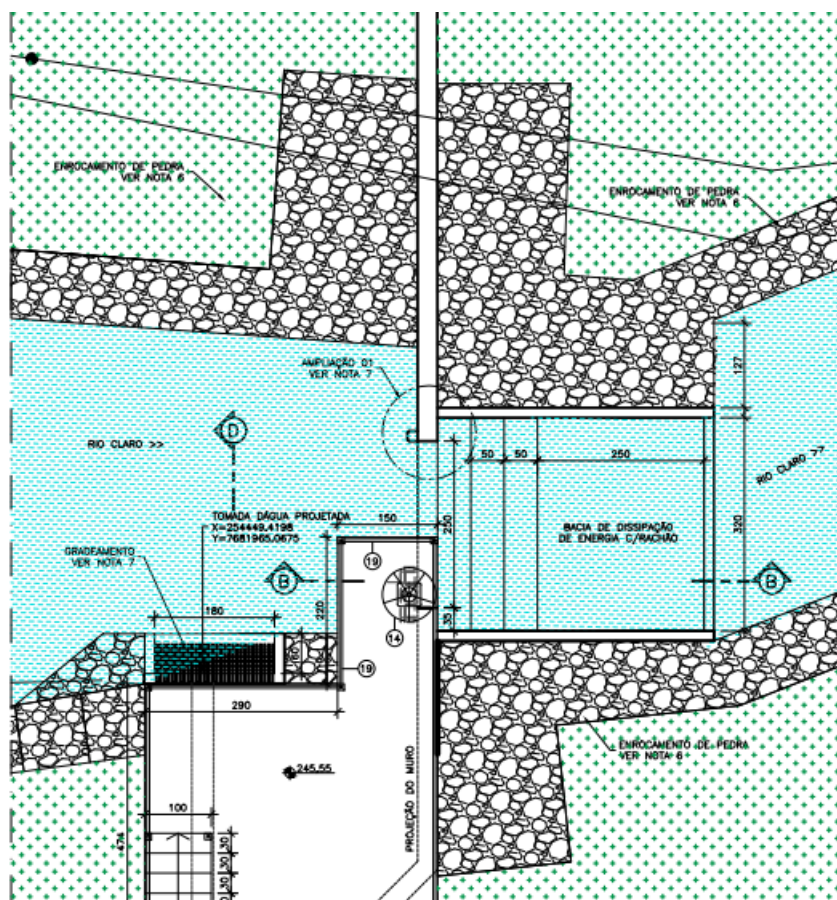


Figura 5 – Indicação em planta da seção transversal B-B, considerada nas análises.

O modelo geológico-geotécnico considerados nas análises de fluxo é apresentado na Figura 6. É importante ressaltar que nas análises realizadas, considerou-se o NA de montante do ressalto hidráulico na elevação 244,66 m, e de maneira conservadora, não se considerou a formação de NA a jusante da estrutura, de forma a gerar maiores gradientes hidráulicos.

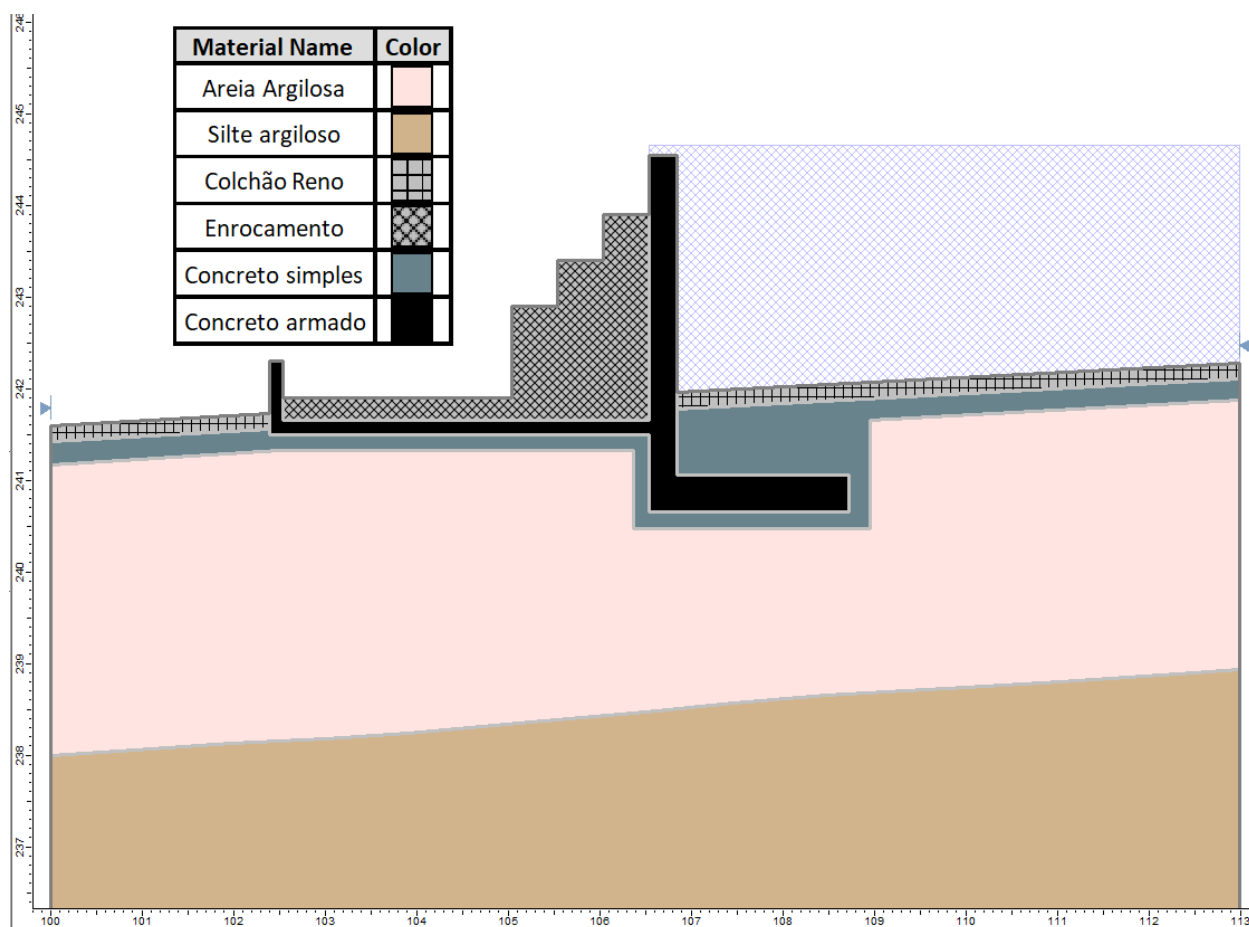


Figura 6 – Modelo geológico-geotécnico considerado.

5 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Para desenvolver as análises de percolação, é necessário definir o peso específico e o coeficiente de permeabilidade para os materiais de fundação e os materiais que compõem a estrutura de ressalto hidráulico.

A definição desses parâmetros foi feita a partir das seguintes referências bibliográficas: Godoy (1972) e Cruz (2004). Os valores consultados foram balizados pela experiência da projetista com materiais semelhante. A Tabela 1 apresenta os parâmetros considerados nas análises desenvolvidas.

É importante destacar, que caso no início das obras sejam identificados materiais com características diferentes das consideradas nas análises de percolação, os estudos deverão ser atualizados.

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos utilizados nas análises de percolação.

Material	Peso específico (kN/m ³)	Permeabilidade (m/s)
Areia Argilosa - Fundação	18	1,00E-06
Silte Argiloso - Fundação	19	1,00E-07
Colchão Reno	18	1,00E-02
Enrocamento - Bacia de dissipação	18	1,00E-02
Concreto simples	23	1,00E-09
Concreto armado	25	1,00E-09

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das análises de percolação realizadas para a estrutura de ressalto hidráulico.

A Figura 7 apresenta a distribuição de cargas hidráulicas e as linhas de fluxo obtidas. Os resultados obtidos são coerentes com o esperado para uma estrutura de concreto, com o fluxo ocorrendo majoritariamente pela fundação, como indicado pelas linhas de fluxo. Além disso, pode-se observar a concordância entre as linhas equipotenciais e as linhas de fluxo obtidas pela modelagem numérica.

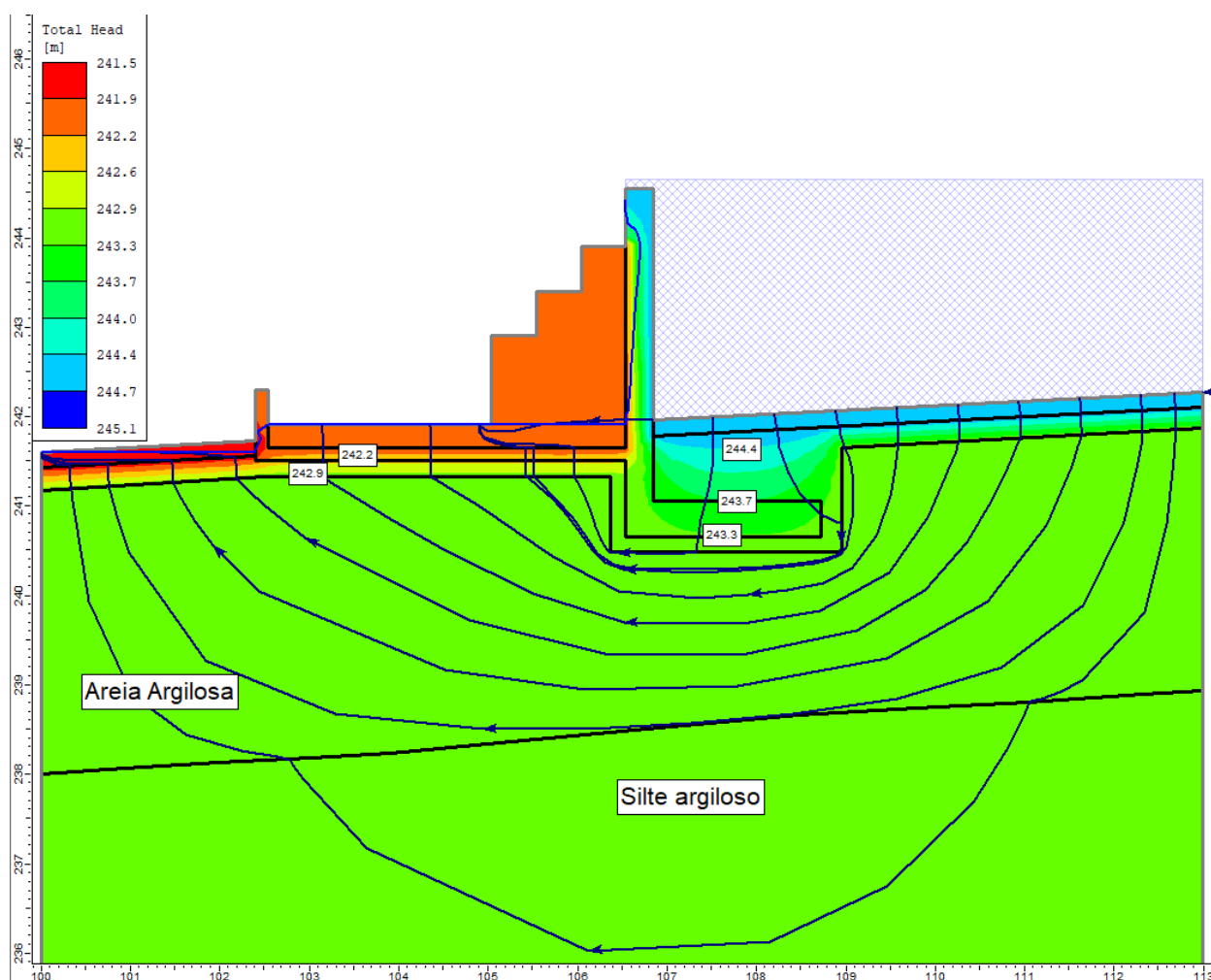


Figura 7 – Distribuição das cargas hidráulicas obtidas.

Os valores de poropressões obtidos são apresentados na Figura 8. Como esperado, os valores de poropressões aumentam em maiores profundidades, sendo observadas poropressões máximas de aproximadamente 25 kPa no concreto da estrutura de ressalto hidráulico e 50 kPa na areia siltosa presente na fundação. Os valores observados estão dentro do esperado para o porte da estrutura.

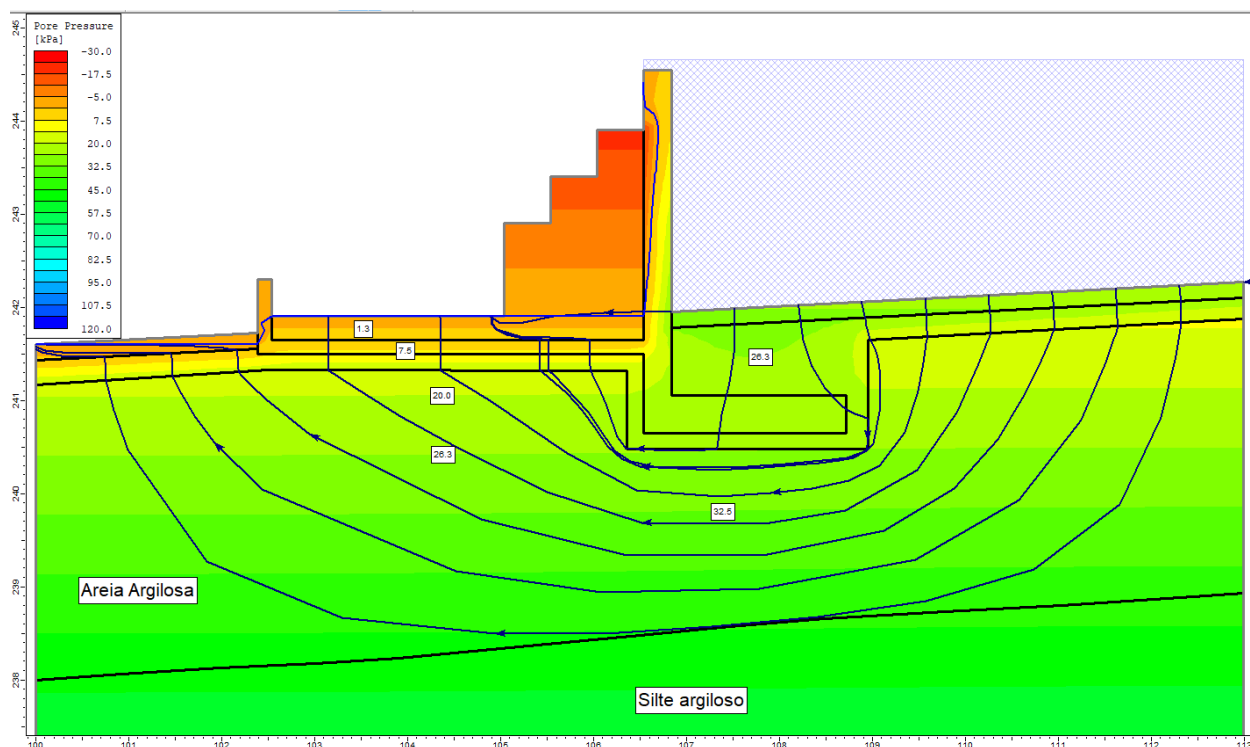


Figura 8 – Distribuição das poropressões obtidas.

A partir da observação de valores coerentes de carga hidráulica e poropressão, pode-se avançar para a avaliação dos gradientes hidráulicos observados na estrutura. Como mostrado na Figura 9, os maiores gradientes hidráulicos se concentram no concreto da estrutura de ressalto hidráulicos, e os valores observados no solo de fundação são praticamente nulos. Esse fato pode se justificar pela reduzida permeabilidade do concreto, que é aproximadamente 1.000 vezes menos permeável que os solos de fundação.

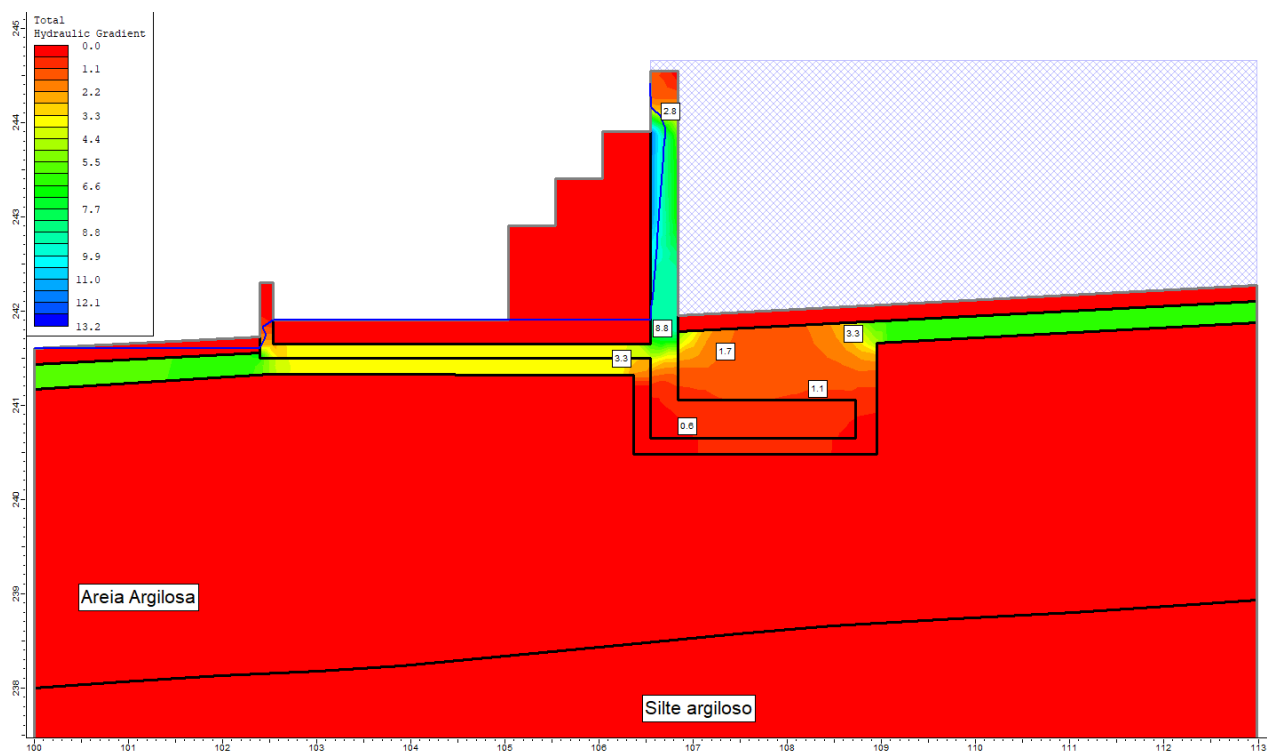


Figura 9 – Gradientes hidráulicos obtidos.

Foram filtrados os valores de gradiente hidráulico entre 0 e 0,1 (Figura 10), facilitando a visualização dos gradientes que ocorrem nos solos de fundação. Dessa forma, é possível observar que o gradiente hidráulico máximo observado na fundação da estrutura é de 0,02.

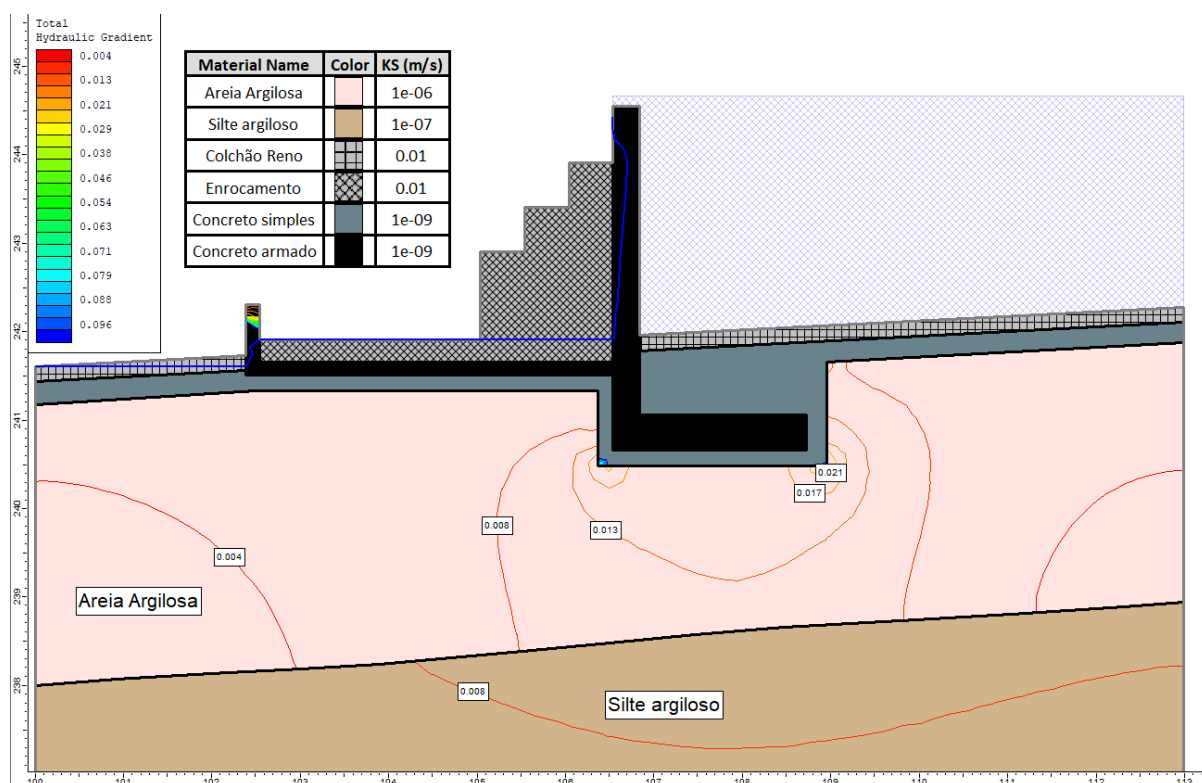


Figura 10 – Gradientes hidráulicos observados (filtro entre 0 e 0,1)

O gradiente hidráulico crítico para solos é da ordem de 1, pois nesse caso a tensão efetiva do solo se torna nula e o solo não apresenta resistência. De acordo com as análises de fluxo realizadas, os gradientes hidráulicos observados nos solos de fundação são baixíssimos (valor máximo de 0,02), com magnitudes significativamente inferiores ao gradiente hidráulico crítico (1,00). Portanto, o parecer técnico final é que a possibilidade de desenvolvimento de erosão interna (*piping*) pela fundação da Estrutura de Ressalto Hidráulico é de irrelevante a inexistente na Nova Captação do SAA de Muqui.

7 CONCLUSÃO

O presente relatório apresentou uma avaliação da possibilidade de desenvolvimento de *piping* na fundação da Estrutura de Ressalto Hidráulico na Nova Captação do SAA de Muqui. A avaliação foi feita a partir dos gradientes hidráulicos obtidos por análises de percolação realizadas no software Slide, da empresa ROCSCIENCE.

De acordo com as análises de fluxo realizadas, os gradientes hidráulicos observados nos solos de fundação são baixíssimos (valor máximo de 0,02), com magnitudes significativamente inferiores ao gradiente hidráulico crítico (1,00). Portanto, o parecer técnico final é que a possibilidade de desenvolvimento de erosão interna (*piping*) pela fundação da Estrutura de Ressalto Hidráulico na Nova Captação do SAA de Muqui é de irrelevante a inexistente.

É importante destacar, que caso no início das obras sejam identificados materiais com características diferentes das consideradas nas análises de percolação, e ou veios de quartzo com extensão relevante de montante para jusante, na região do ressalto hidráulico, os estudos deverão ser atualizados.

É importante ressaltar que não houve necessidade do estudo de remanso, pois trata-se de um ressalto hidráulico e não há volume de água retido.