



Recuperação Emergencial de Cortina Atirantada Fletida no Forte São João - Urca/RJ

Rodrigo dos Santos Morgado

Engenheiro de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, rodrigsmorgado@gmail.com

Maria Esther Soares Marques

Engenheira Civil, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, esther@ime.eb.br

RESUMO

Este artigo objetivou apresentar um estudo de caso concernente ao serviço emergencial de recuperação de um segmento de estrutura de contenção de solo em cortina atirantada aos fundos de um edifício localizado no Forte São João, Urca, Rio de Janeiro/RJ. Trata-se de um painel em concreto armado com 10,7 m de comprimento, 4 m de altura e 10 tirantes protendidos, sob risco de ruptura iminente à época, dado o deslocamento de seu paramento, com afastamento oblíquo total estimado em 50 cm de um dos vértices superiores, deflagrado sobretudo por fortes chuvas locais. Para tanto, apresentaram-se as soluções empregadas na retomada da estabilidade da estrutura, relativas em especial à adoção de um modelo estrutural com distribuição dos esforços de 10 novos tirantes, posicionados sobre novas vigas de concreto armado, em substituição à carga dos tirantes originais. Ainda, inseriu-se uma base para evitar a movimentação vertical do painel, desobstruíram-se os barbacãs e instalaram-se drenos horizontais profundos. Nos ensaios de recebimento realizados nos tirantes de reforço, conforme a norma ABNT NBR 5629/2018, concluiu-se que todos os novos tirantes resistiram satisfatoriamente à carga imposta, com deslocamentos elásticos dentro dos limites indicados, e sem tendência de aceleração de deslocamentos plásticos.

PALAVRAS-CHAVE: contenção de talude, cortina atirantada, recuperação de contenção

ABSTRACT

This article aimed to present a case study concerning the emergency recovery service of a segment of soil containment structure of anchored retaining wall at the back of a building located in the São João Fortress, Urca, Rio de Janeiro/RJ. It is a reinforced concrete panel 10,7 m long, 4 m high and with 10 prestressed tie rods, at risk of imminent rupture at that time, given the displacement of its face with a total oblique spacing estimated at 50 cm from one of the upper vertices, triggered mainly by heavy local rains. Therefore, the solutions applied to restore the structure stability were presented, especially regarding the adoption of a structural model with the distribution of 10 new tie rods efforts, positioned on new reinforced concrete beams, replacing the load of the original ones. Also, a base was inserted to prevent the panel vertical movement, the weep holes were cleared and deep horizontal drains were installed. In the receiving tests of the reinforcement tie-rods, according to the ABNT NBR 5629/2018 standard, it was concluded that all the new tie rods satisfactorily resisted the imposed load, with elastic displacements within the indicated limits, and without tendency of plastic displacements acceleration.

KEYWORDS: slope containment, anchored retaining wall, containment recovery

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



1 Introdução

O objeto de análise refere-se ao segmento de estrutura de contenção de solo existente aos fundos do Edifício São João, S/N, situado na Fortaleza de São João, Urca, Rio de Janeiro/RJ (coordenadas aproximadas 22°56'43.5" S e 43°09'30.7" O). Trata-se uma cortina atirantada com 10,7 m de comprimento e altura variável entre 3,4 e 4 m, disposta aos fundos dos blocos C e D do prédio, e composta de um muro de concreto armado com 15 cm de espessura e 10 tirantes protendidos, dispostos em 2 linhas horizontais e 5 verticais (Figura 1).



Figura 1. Segmento da cortina atirantada em análise (contornos em vermelho)

Em decorrência das fortes chuvas que se abateram sobre a região em fevereiro de 2020, deflagaram-se os deslocamentos vertical e horizontal do paramento de concreto da contenção, com um afastamento oblíquo total estimado em 50 cm entre o vértice superior esquerdo (pintado em azul) e o muro imediatamente adjacente, não tendo sido identificados danos à integridade estrutural do painel. Observaram-se também espaços vazios entre o talude e o paramento, com escorregamento de solo na base do muro junto à 2ª linha vertical de tirantes mais à esquerda, além de exposição de armadura à retaguarda, sem bainha e em estado avançado de oxidação, aparentemente ainda tensionada. Os drenos sub-horizontais encontravam-se colmatados e a drenagem superficial sobre o muro, na crista da estrutura, também estava obstruída.

A cortina, portanto, não se encontrava em segurança, havendo risco iminente de ruptura. Na ocasião, a Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro vistoriou o muro de contenção, tendo recomendado isolar seu entorno, sem entretanto orientar a evacuação da edificação.

Ante o exposto, este trabalho almejou apresentar o estudo de caso concernente ao projeto e à respectiva obra de recuperação da cortina supracitada, realizada em caráter emergencial.

2 Metodologia

2.1 Solução de engenharia adotada

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Em auxílio ao reforço da contenção existente, contemplou-se (Figura 2):

- a) Estabilizar o painel de cortina atirantada fletida mediante o implemento de 10 novos tirantes definitivos, do tipo Incotep THB 25, aço CA-50 (sob resistência característica de escoamento f_{yk} de 500 MPa), constituídos de monobarras de 25 mm de diâmetro, as quais foram dotadas de proteção anticorrosiva (conforme a NBR 5629/2018), inseridas no maciço em furo com calda de cimento e posicionadas sobre vigas de reforço em concreto armado;
- b) Ativar a carga dos novos tirantes, através de protensão com auxílio de macaco hidráulico, e proteger as respectivas cabeças com carapaça de argamassa;
- c) Implementar apoio de concreto armado de classe C-30 (com resistência característica do concreto à compressão f_{ck} de 30 MPa) na base do painel, até a base de rocha subjacente, para preencher todo o espaço vazio abaixo do paramento existente, além de sustentar o peso da estrutura de forma definitiva e evitar a movimentação vertical da cortina;
- d) Limpar os barbacãs existentes no painel;
- e) Implementar 5 novos drenos sub-horizontais profundos (DHP) de 6 m cada;
- f) Corrigir a canaleta de drenagem existente imediatamente à retaguarda do painel, junto à área de vegetação na crista da contenção; e
- g) Restaurar o passeio superior, adjacente à estrutura, e construir uma viga de complementação superior do painel, com bitolas de aço longitudinais de diâmetro 12,5 mm e estribos de diâmetro 8 mm, espaçados de 45 cm.



Figura 2. Solução de projeto

Os 10 novos tirantes de reforço foram projetados para uma carga de trabalho de 120 kN (igual à dos tirantes de aço CA-50 com 25mm de diâmetro previamente existentes), além de uma carga máxima de ensaio de 210 kN e de uma carga de incorporação de 100 kN. Ainda, o comprimento médio de perfuração em solo/rocha foi de 6 m, sendo 3 m em trecho livre e 3 m em trecho ancorado, adentrando-se o estrato rochoso, próximo à superfície lateral do talude. As vigas de reforço, por sua vez, foram projetadas com 40 cm de largura e 20 cm de espessura.

Tais detalhes seguem expostos na Figura 3.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



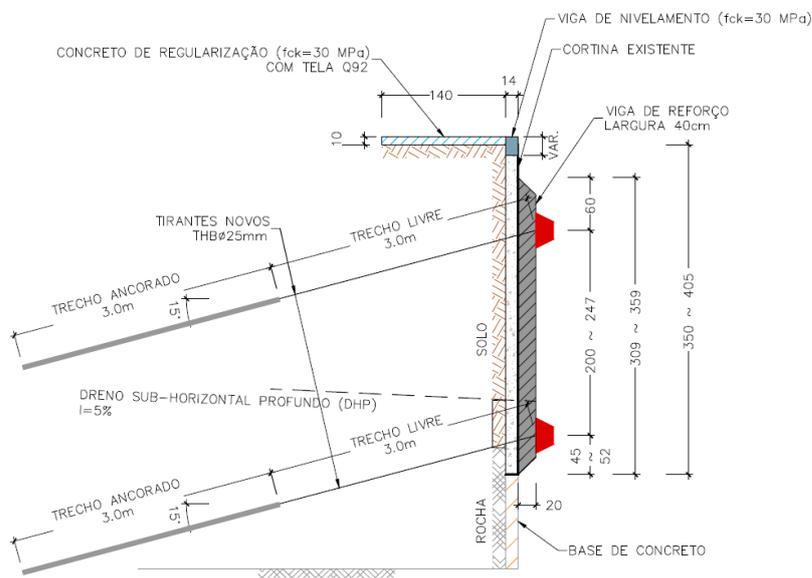


Figura 3. Seção típica em vista lateral

2.2 Equipamentos e materiais utilizados

Para a recuperação da cortina atirantada, empregaram-se os seguintes equipamentos:

- Escoras inferiores para a sustentação provisória do peso do painel da cortina;
- Andaimas para a sustentação de alpinistas industriais;
- Perfuratriz (modelo CR4);
- Misturador duplo para a calda de cimento;
- Bomba injetora de calda de cimento com estabilizador de pressão, misturador e agitador;
- Compressor.

Ainda, na perfuração, adotou-se água como fluido de limpeza dos furos, tendo-se atentado a quaisquer anomalias relativas a possíveis indícios de perda de água e de eventuais instabilidades nas perfurações. Em seguida, para o preenchimento dos furos com calda de cimento de fator água/cimento máximo de 0,5, com $f_{ck} \geq 15$ MPa, empregou-se um tubo de PVC rígido de pequeno diâmetro, introduzido no furo.

Por outro lado, para se atingir $f_{ck} \geq 30,0$ MPa no concreto aplicado na base e na crista do painel usinado, adotou-se por traço: brita 0 (368 kg/m³), brita 1 (359 kg/m³), areia (869 kg/m³), cimento (398 kg/m³), aditivo ADI-POLI 579 (2.388 ml/m³) e fator água/cimento 0,54.

3 Projeto

3.1 Dimensionamento das vigas de reforço

Adotaram-se como parâmetros de dimensionamento: a carga de trabalho do tirante f_t ($f_t \geq 120$ kN), a classe de agressividade ambiental (CAA II), a resistência característica do concreto f_{ck} ($f_{ck} \geq 30$ MPa) e a resistência característica do aço CA-50 ($f_{yk} \geq 500$ MPa). Para calcular as resistências de projeto destes materiais, adotaram-se os coeficientes de ajuste preconizados na Tabela 12.1 do item 12.4.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), relativos aos coeficientes de minoração

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



$\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$ para as resistências do concreto e do aço, respectivamente. Assim, obtiveram-se as correspondentes resistências de projeto, iguais a $f_{cd} = 21,4$ MPa e $f_{ck} = 434,8$ MPa.

Dimensionaram-se as vigas de reforço com base nos esforços solicitantes no paramento existente e nos tirantes adicionais, dada a reação do solo à contenção pelo painel. Assim, distribuíram-se as cargas desses tirantes ao longo da direção da referida viga, transmitindo-as para o painel, em substituição aos esforços dos tirantes originais, e considerando-se que no modelo estrutural adotado, após a protensão, essas novas ancoragens comportaram-se como apoios. Analisaram-se então diversos modelos estruturais, cujos vãos foram determinados pelas combinações dos comprimentos das vigas da Figura 4, gerando-se as condições de esforços mais desfavoráveis. Na análise destes esforços, empregou-se o software *Ftool* (PUC-RIO, 2018), versão 4.00.04 para o cálculo dos momentos fletores e dos esforços cortantes.

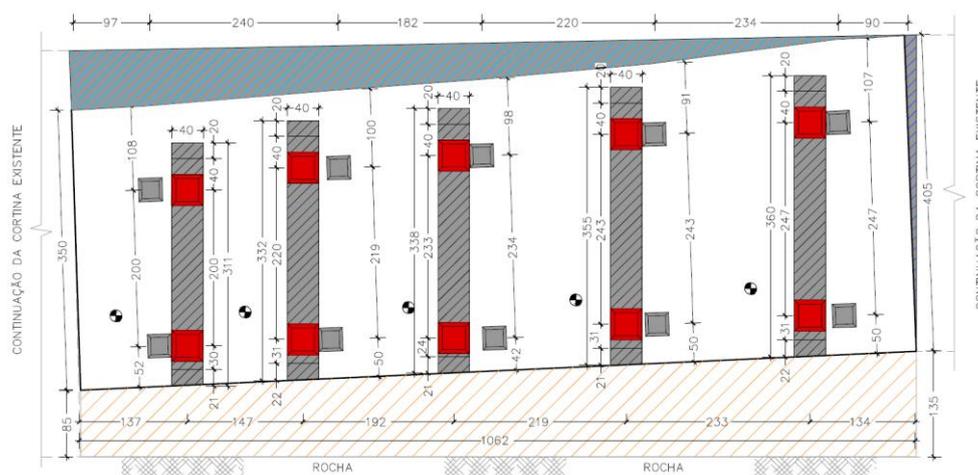


Figura 4. Vãos das vigas de apoio na vista frontal projetada para a cortina

Definidas as dimensões da estrutura, as resistências e os esforços solicitantes de projeto, dimensionou-se a armadura para as vigas de reforço, conforme as Figuras 5, 6A e 6B, as quais contemplaram as análises concernentes às:

a) Armaduras negativas e positivas:

Para o cálculo dos momentos solicitantes positivo ($M_{sd}^+ = 64,54$ kN.m) e negativo ($M_{sd}^- = 18,9$ kN.m) de projeto, consideraram-se os maiores valores característicos, em módulo, dos diagramas de momento fletor dos modelos analisados, assumidas as ações permanentes desfavoráveis ao longo da direção longitudinal, sob um coeficiente de ponderação das ações em casos normais igual a 1,4, conforme a tabela 11.1 do item 11.7 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014). Do exposto, arbitraram-se as armaduras negativa e positiva empregadas, referentes a 6 barras de diâmetro de 12,5 mm nas faces interna e externa, respectivamente, em atendimento à área mínima necessária de aço, necessária para suportar os momentos fletores críticos obtidos.

b) Armaduras transversais:

Considerada a distribuição da carga do tirante na seção transversal, obteve-se o momento fletor solicitante máximo de projeto ($M_{sd} = 8,4$ kN.m). Assim, adotaram-se estribos de diâmetro 6,3 mm e espaçamento 15 cm, atendendo-se tanto à seção mínima de aço necessária na armadura para suportar o referido momento fletor, quanto à maior área de aço dentre os seguintes critérios: 20% da seção de aço da armadura principal e 0,173% da área de concreto, conforme a Tabela 17.3 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



c) Verificação de punção do paramento:

Analisou-se também o punção do paramento existente na região de contato da viga de reforço para a carga dos novos tirantes, segundo o item 19.5 da NBR 6118 (ABNT, 2014), referente ao dimensionamento de lajes à punção. Assim, verificou-se a tensão solicitante atuante na superfície crítica relativa aos contornos críticos C e C' da região de interface entre a viga de reforço e o paramento existente, mediante o cálculo das tensões cisalhantes atuantes nos contornos das respectivas superfícies, tendo-se obtido $\tau_{SD,C} = 545,42 \text{ kN/m}^2$ e $\tau_{SD,C'} = 503,63 \text{ kN/m}^2$. Ainda, conforme os itens 19.5.3.1 e 19.5.3.2 da referida norma, verificaram-se as lajes submetidas a punção nessas regiões das superfícies críticas C e C', mediante o cumprimento das condições $\tau_{SD,C} \leq \tau_{RD,2}$ e $\tau_{SD,C'} \leq \tau_{RD,1}$, devidamente atendidas.

Ademais, o item 19.5.3.5 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê o implemento de armadura de punção em estruturas nas quais a estabilidade global dependa da resistência ao punção da estrutura, devendo tal armadura mínima resistir a um mínimo de 50% da tensão solicitante. Isto posto, verificou-se, contudo, que a parcela resistente do concreto da estrutura era capaz de resistir a todo o esforço solicitante, não tendo sido necessário prever armadura de punção mínima local.

d) Armadura de colapso progressivo:

O item 19.5.4 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê armadura de colapso progressivo para a garantia da ductibilidade local, devendo ela estar suficientemente ancorada, além dos contornos C' e C". Assim, considerado um coeficiente de ponderação das ações para o colapso progressivo igual a 1,2, adotaram-se armaduras de colapso progressivo com 3 bitolas de diâmetro 12,5 mm, em atendimento à área mínima necessária de aço a cruzar a região da placa.

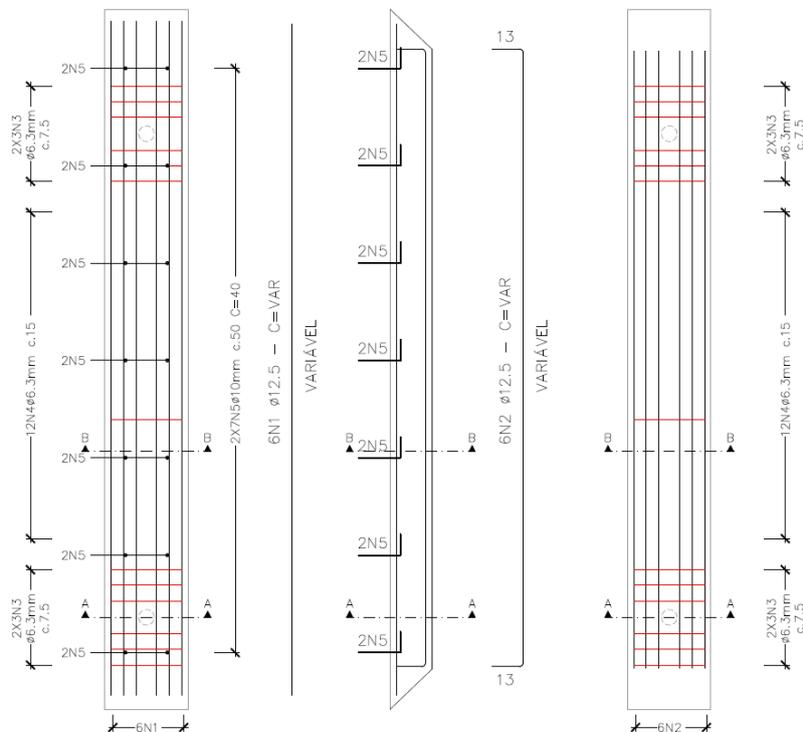


Figura 5. Armaduras da viga de reforço (na sequência: vistas das faces interna, lateral e externa)

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



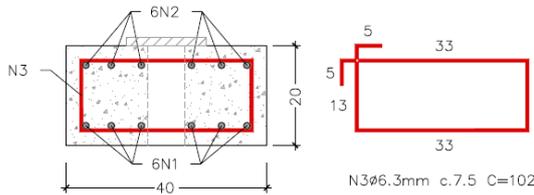


Figura 6A. Corte AA da Figura 5

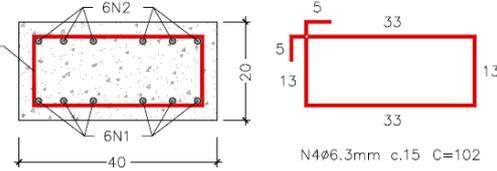


Figura 6B. Corte BB da Figura 5

Nos esquemas das vigas de reforço das Figuras 5, 6A e 6B, as barras N1 e N2 (diâmetro 12,5 mm) referem-se às armaduras longitudinais, negativa e positiva, respectivamente; as barras N3 e N4 (diâmetro 6,3 mm) referem-se às armaduras de colapso progressivo e às demais armaduras transversais, respectivamente; e as barras N5 (diâmetro 10 mm) referem-se às armaduras de fixação das vigas de apoio ao paramento da cortina.

3.2 Drenagem

Em relação à drenagem da estrutura, detalham-se adiante os 5 novos drenos sub-horizontais (DHPs) profundos implementados no painel (Figuras 7 e 8), representados por tubos de PVC rígido com inclinação horizontal de 5% e diâmetro de 50 mm, perfurados mediante aberturas circulares a cada 10 cm, além de submetidos a uma envoltória de geotêxtil, fixada por arame de amarração com passo helicoidal de 10 cm. Tais estruturas dispuseram de um tampão de vedação à montante do escoamento, tendo sido envolvidas em argamassa com traço 1:3, além de inseridas em aberturas de diâmetro 75 mm em trecho de substrato de solo/rocha, e circundadas por tubos de PVC rígido de diâmetro 10 cm nas entradas dos furos junto ao paramento da cortina.

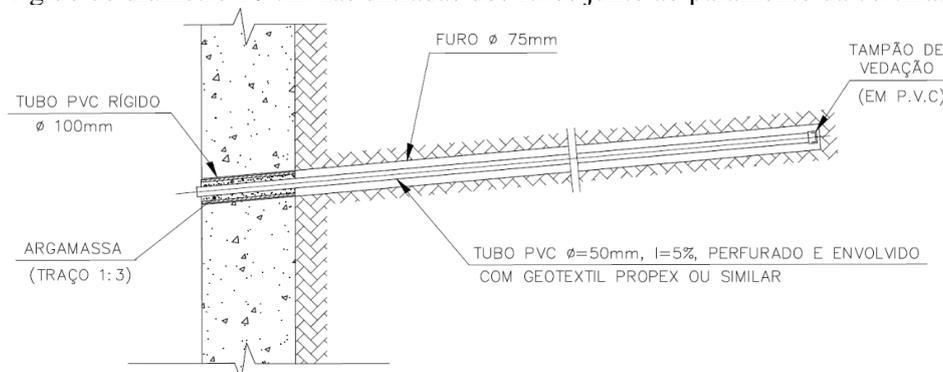


Figura 7. Vista lateral dos DHPs implementados

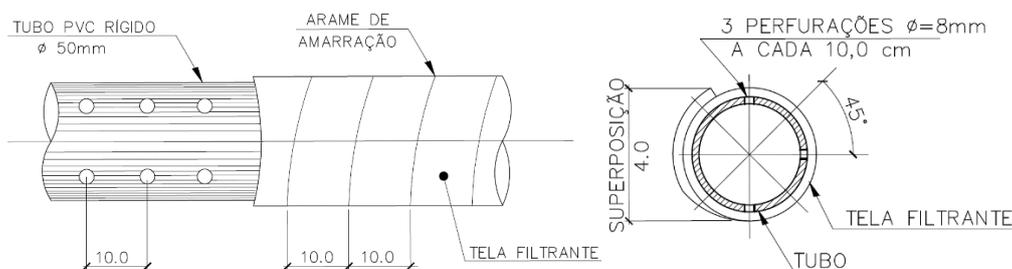


Figura 8. Detalhamento típico dos DHPs implementados

Pontua-se ainda terem sido desobstruídos os barbacãs originais do painel.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



3.3 Recomposição da crista e da base da contenção

Detalham-se também as soluções adotadas para a crista e a base da contenção. Entrementes, procedeu-se, no topo da estrutura (Figura 9), ao implemento de um passeio em concreto de regularização ($f_{ck} = 30 \text{ MPa}$), a contemplar a disposição de tela (Q-92), além da concretagem de uma viga de nivelamento (sem função estrutural) e da reconstrução das canaletas dispostas mais internamente à encosta. Na parte inferior do paramento (Figura 10), adotou-se uma solução de apoio com emprego da mesma tela, fixada mediante chumbadores de diâmetro 12,5 mm, injetados a cada 2 m na direção longitudinal.

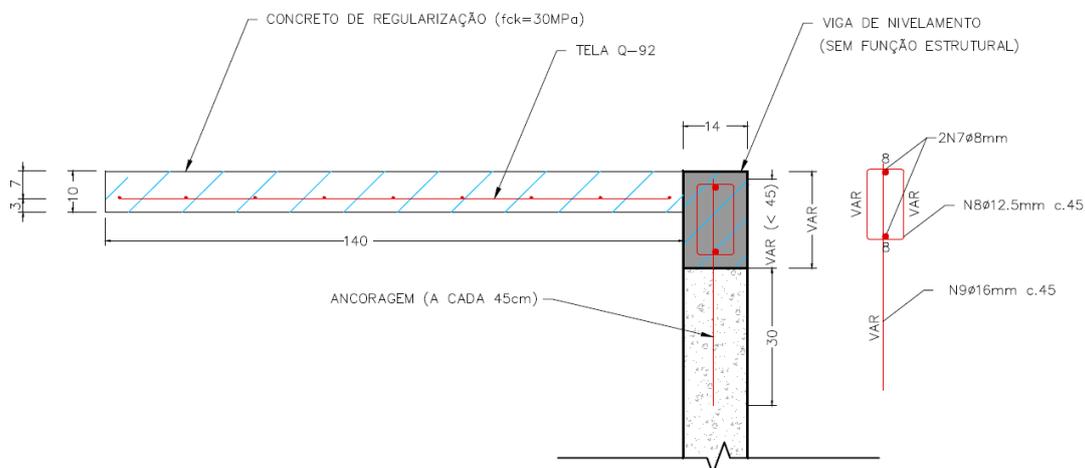


Figura 9. Recomposição de passeio e concretagem de viga de nivelamento na crista da contenção

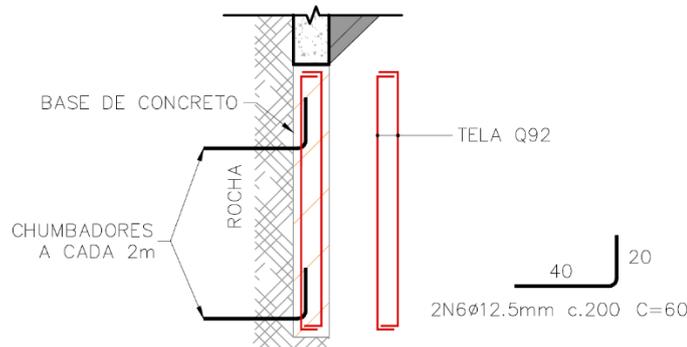


Figura 10. Implemento de nova base para o paramento

4 Resultados

Retratada a contenção fletida recuperada (Figura 11), apresentam-se os ensaios de recebimento realizados nos novos tirantes de reforço da cortina atirantada em análise, com a avaliação da integridade dos mesmos por ensaios de cargas, os quais fizeram parte do controle tecnológico previsto, de acordo com os procedimentos indicados para os ensaios de recebimento dos Tipos A e B preconizados no Anexo D da norma NBR 5629 (ABNT, 2018) (Tabelas 1 e 2).

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Tal anexo estabelece que os ensaios de recebimento do Tipo A devem ser executados em pelo menos 10% dos tirantes, devendo-se realizar o ensaio de recebimento do Tipo B nos demais.

Tabela 1. Resultados do ensaio do tipo A

Tirante n°	Comprimento (m)		Deslocamentos (mm)			Carga máxima (tf)
	Livre	Ancorado	Total	Plástico	Elástico	
9	3	3	10,07	8,10	2,0	21,00

Tabela 2. Resultados dos ensaios do tipo B

Tirante n°	Comprimento (m)		Deslocamentos (mm)			Carga máxima (tf)
	Livre	Ancorado	Total	Plástico	Elástico	
1	3	3	13,58	7,10	6,52	16,80
2			12,10	5,10	7,04	
3			12,37	5,30	7,04	
4			10,50	4,80	5,69	
5			13,67	7,20	6,44	
6			11,09	4,30	6,84	
7			10,17	4,00	6,13	
8			10,68	4,20	6,44	
10			8,20	1,00	7,19	

Constatou-se, portanto, que todos os novos tirantes resistiram satisfatoriamente à carga máxima imposta nos ensaios. Os deslocamentos elásticos ficaram dentro dos limites indicados. Quanto aos deslocamentos plásticos, não houve tendência de aceleração, indicando-se bom comportamento dos bulbos.

Do exposto, concluídas a obra e os ensaios, a cortina recuperada segue exposta na Figura 11, a qual também apresenta as carapaças de argamassa das cabeças dos novos tirantes e as respectivas vigas de suporte.



Figura 11. Cortina atirantada recuperada

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



5 Conclusões

Este artigo apresentou os principais aspectos de dimensionamento de cortinas atirantadas para a contenção de taludes de solo, com ênfase em uma aplicação orientada à recuperação de tal tipo de estrutura fletida em área residencial na Urca/RJ, nas dimensões de 10,7 m de comprimento, por uma altura variável entre 3,4 e 4 m. Na ocasião, implementaram-se 10 novos tirantes à cortina em análise, com cerca de 6 m de extensão, objetivando-se aprimorar a capacidade de retenção do solo à retaguarda do paramento. Detalharam-se, em especial, as armaduras calculadas para as vigas de reforço dos tirantes, além das soluções de drenagem empregadas, em orientação à preservação da estrutura, à integridade da transmissão das cargas de tração dos novos tirantes e ao suporte às tensões desenvolvidas na cortina. Por fim, a partir dos ensaios de recebimento realizados, pôde-se concluir que a estrutura atendeu aos fatores de segurança preconizados na norma NBR 5629 (ABNT, 2018), haja vista todos os novos tirantes terem resistido satisfatoriamente às cargas máximas impostas nos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno - Projeto e Execução*. Rio de Janeiro.
- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC RIO. (2018). Ftool [Software]. Versão 4.00.04. Disponível em: <<https://www.puc-rio.br/ftool>>. Acesso em: 06/06/2023.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

