

Eduardo de Lara Cardozo
(Organizador)

**GEOLOGIA AMBIENTAL: TECNOLOGIAS PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 2**

Atena Editora

2017

2017 by Eduardo de Lara Cardozo

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Edição de Arte e Capa: Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto (UFPEL)

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Javier Mosquera Suárez (UDISTRITAL/Bogotá-Colombia)

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior (UEPG)

Prof. Dr. Gilmei Francisco Fleck (UNIOESTE)

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza (UEPA)

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa (FACCAMP)

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior (UFAL)

Profª Drª Adriana Regina Redivo (UNEMAT)

Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua (UNIR)

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR)

Profª Drª Ivone Goulart Lopes (Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatric)

Profª Drª Lina Maria Gonçalves (UFT)

Profª Drª Vanessa Bordin Viera (IFAP)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G345

Geologia ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável
2 / Organizador Eduardo de Lara Cardozo. – Ponta Grossa (PR):
Atena Editora, 2017.

252 p. : 38.026 kbytes – (Geologia Ambiental; v. 2)

Formato: PDF

ISBN 978-85-93243-38-7

DOI 10.22533/at.ed.3870809

Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Geologia ambiental. 3. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Cardozo, Eduardo de Lara. II. Título. III. Série.

CDD-363.70

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

2017

Proibida a reprodução parcial ou total desta obra sem autorização da Atena Editora

www.atenaeditora.com.br

E-mail: contato@atenaeditora.com.br

Apresentação

No segundo volume da obra **“Geologia Ambiental: tecnologias para o desenvolvimento sustentável”**, apresentamos estudos ligados à preocupação da relação entre o homem e o meio ambiente, da ocupação e alteração do espaço geográfico e suas consequências. De que maneira utilizar os recursos naturais presentes, tendo como foco o desenvolvimento sustentável.

A população mundial hoje está próxima a 7,5 bilhões de habitantes, no Brasil próximo a 210 milhões de habitantes e constantemente usufruindo dos recursos naturais para o seu desenvolvimento, sua existência. Mas sabemos que os recursos são finitos, precisamos encontrar alternativas, trabalhar os recursos hoje presentes de uma forma sustentável, garantindo a nossa existência, bem como das próximas gerações.

Esta coletânea de artigos trabalha em diferentes temas o uso desses recursos naturais e a preocupação ambiental. Estudos como avaliação de uso de solo laterítico como sub-base em pavimentos urbanos, características geotécnicas de uma argila e um resíduo da construção e demolição visando sua utilização conjunta como barreira capilar, o crescimento do mercado da construção civil e a preocupação ambiental no que diz respeito aos recursos naturais como a areia e a avaliação da permeabilidade intrínseca em alguns solos tropicais representativos do Brasil, são também discutidos.

Questões sobre planejamento, avaliação a partir da Engenharia de Resiliência, processos erosivos lineares do tipo ravina e boçoroca, mapeamento de áreas de riscos geológico na prevenção de perda de vidas e prejuízos econômicos, delimitação de áreas frágeis à ocupação, gestão de riscos urbanos, mapeamento e concepção de soluções para áreas de risco geológico, regularização fundiária de núcleos de ocupação precária e loteamentos irregulares, mapeamento do risco geológico e hidrológico, mapeamento geomorfológico de áreas densamente urbanizadas e mapeamento georreferenciado de deslocamentos horizontais e verticais de muros de contenção em gabião, são outros temas debatidos nesta coletânea.

E para fechar os diferentes temas trabalhados, temos estudos ligados à caracterização de solos das potenciais jazidas de empréstimos selecionadas para projetos das barragens e as investigações geológicas geotécnicas para a implantação da barragem de São Bento do UNA, no Estado de Pernambuco.

Diversos temas e informações integradas sobre a geologia ambiental e o desenvolvimento sustentável. Temas esses presentes em nosso cotidiano, e que nos auxiliam a encontrar maneiras para um desenvolvimento sustentável e a mitigação dos inúmeros impactos ambientais gerados por nós, nessa relação homem e meio ambiente.

Desejo uma excelente leitura e que os artigos aqui apresentados contribuam para o enriquecimento do conhecimento do leitor.

Eduardo de Lara Cardozo.

SUMÁRIO

Apresentação.....	03
<u>CAPÍTULO I</u>	
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA E DA DURABILIDADE À MOLHAGEM E SECAGEM DE UM SOLO DE SINOP-MT ESTABILIZADO COM CAL	
<i>Raul Tadeu Lobato Ferreira, Augusto Romanini, Celso Todescatto Junior, Flavio Alessandro Crispim, Julio César Beltrame Benatti e Rogério Dias Dalla Riva.....</i>	07
<u>CAPÍTULO II</u>	
CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA DE UM RCD E UMA ARGILA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO BARREIRA CAPILAR	
<i>Julio César Bizarreta Ortega e Tácio Mauro Pereira de Campos.....</i>	19
<u>CAPÍTULO III</u>	
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO ARENITO FURNAS NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (PR) PARA USO EM ARGAMASSAS	
<i>Melissa Zanferrari Godoy, Fabio Luiz Chemin, Patrícia Kruger e Luiz Carlos Godoy.....</i>	34
<u>CAPÍTULO IV</u>	
AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE INTRÍNSECA EM SOLOS REPRESENTATIVOS DA PAISAGEM BRASILEIRA	
<i>Luiza Silva Betim, Eduardo Antonio Gomes Marques, Klingner Senra Rezende, Brahmani Sidhartha Tibúrcio Paes, Vitor Luiz Reis de Almeida e Luana Caetano Rocha de Andrade.....</i>	56
<u>CAPÍTULO V</u>	
ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA: UMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO COM A GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES SOCIONATURAIS	
<i>Andréa Jaeger Foresti, Luiz Antônio Bressani, Cornelia Eckert e Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.....</i>	67
<u>CAPÍTULO VI</u>	
EROSÕES LINEARES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO PEIXE, SP	
<i>Gerson Salviano de Almeida Filho, Maria Cristina Jacinto de Almeida, Tatiane Brasil de Freitas e Zeno Hellmeister Júnior.....</i>	87
<u>CAPÍTULO VII</u>	
ESTUDO PRELIMINAR DE RISCOS GEOLÓGICOS EM REGIÃO DO MUNICÍPIO DE ARENÁPOLIS, MT: ETAPA PREPARATÓRIA DE DETALHAMENTO DE CAMPO	
<i>Natália de Souza Arruda, Thiago de Oliveira Faria e Fernando Ximenes de Tavares Salomão.....</i>	103

CAPÍTULO VIII

FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NO BAIRRO BRIGADEIRO TOBIAS, SOROCABA-SP
Camila Bertaglia Carou, Fernando Nadal Junqueira Villela, Eduardo Soares de Macedo e Marcos Roberto Martines.....114

CAPÍTULO IX

GESTÃO DE RISCOS COMO POLÍTICA PÚBLICA PRIORITÁRIA NA REGIÃO DO GRANDE ABC
Luiz Antonio Bongiovanni e Sandra Teixeira Malvese.....125

CAPÍTULO X

LEVANTAMENTO, MAPEAMENTO E CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES PARA PROBLEMAS NAS ÁREAS DE RISCO DOS BAIROS DE NOVA CAPÃO BONITO, SÃO JUDAS TADEU, VILA APARECIDA E VILA JARDIM SÃO FRANCISCO, MUNICÍPIO DE CAPÃO BONITO, SP
Priscila Taminato Hirata, Fabrício Araujo Mirandola, Eduardo Soares de Macedo, Marcela Penha Pereira Guimarães, Claudio Luis Ridente Gomes e Alessandra Cristina Corsi.....136

CAPÍTULO XI

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES E DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs) EM NÚCLEOS E LOTEAMENTOS IRREGULARES NO MUNICÍPIO DE SÃO ROQUE, SP
Priscila Ikematsu, Eduardo Soares de Macedo, Alessandra Cristina Corsi, André Luiz Ferreira, Fabrício Araújo Mirandola e Priscilla Moreira Argentin.....151

CAPÍTULO XII

MAPEAMENTO DO RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DO MUNICÍPIO DE CASTELO - ES-BRASIL
Leonardo Andrade de Souza, Marco Aurélio Costa Caiado, Gilvimar Vieira Perdigão, Sílvia C. Alves, Larissa Tostes Leite Belo e Raphael Henrique O. Pimenta.....168

CAPÍTULO XIII

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE ÁREAS DENSAMENTE URBANIZADAS
Alberto Franco Lacerda.....184

CAPÍTULO XIV

MONITORAMENTO GEORREFERENCIADO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DE MUROS DE CONTENÇÃO EM GABIÃO
Nilton de Souza Campelo, Mário Jorge Gonçalves Santoro Filho, Otávio César de Paiva Valadares, Michael Douglas da Costa Paes e Aroldo Figueiredo Aragão.....196

CAPÍTULO XV

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE TRÊS MISTURAS DE SOLOS PARA BARRAGENS DE TERRA EM SANTA CATARINA
Nilo Rodrigues Júnior, Vitor Santini Müller, Matheus Klein Flach, Murilo da Silva Espíndola, Daniel Galvão Veronez Parizoto, Gabriela Bessa e Juan Antonio Altamirano

Flores.....209

Capítulo XVI

INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM SÃO BENTO DO UNA - PE

Hosana Emilia Abrantes Sarmiento Leite, Diana Damásio e Castro Lopes, Rafaella Teixeira Miranda e Maiara de Araújo Porto.....223

Sobre o organizador.....241

Sobre os autores.....242

CAPÍTULO XIV

MONITORAMENTO GEORREFERENCIADO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DE MUROS DE CONTENÇÃO EM GABIÃO

**Nilton de Souza Campelo
Mário Jorge Gonçalves Santoro Filho
Otávio César de Paiva Valadares
Michael Douglas da Costa Paes
Aroldo Figueiredo Aragão**

MONITORAMENTO GEORREFERENCIADO DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DE MUROS DE CONTENÇÃO EM GABIÃO

Nilton de Souza Campelo

Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Engenharia Civil
Manaus – AM

Mário Jorge Gonçalves Santoro Filho

A.M. Soluções Empresariais
Manaus – AM

Otávio César de Paiva Valadares

Superintendência da Zona Franca de Manaus, Departamento de Engenharia
Manaus – AM

Michael Douglas da Costa Paes

Missão Evangélica CAIUA
Lábrea – AM

Aroldo Figueiredo Aragão

Ecology Suporte Ambiental e Engenharia
Manaus – AM

RESUMO: Muros de contenção (números 1 a 5) de maciço de solo, em gabião, foram construídos na área externa de um centro de compras, na cidade de Manaus, AM. Quando alcançaram uma certa altura, começaram a apresentar deformações horizontais (“embarrigamentos”) excessivas, causando a paralisação da construção. Estudos posteriores revelaram que as seções geométricas originais não atendiam às exigências de estabilidade geotécnica interna, externa e global. Assim, procedeu-se ao estudo de algumas alternativas, para se contornar o problema. A alternativa mais rápida e econômica demonstrou ser a escavação do aterro compactado, por trás dos muros, nas áreas de deformação excessiva do muro, ampliação da seção transversal do referido muro e posterior reaterro e compactação do solo de jazida. As novas seções transversais dos muros impuseram estabilidade teórica e construtiva aos mesmos, sendo comprovado pelo monitoramento posterior dos deslocamentos horizontais e verticais, pelo período de sete meses. Verificou-se que os maiores deslocamentos horizontais da face externa do paramento foram de 40 mm, no muro 4, e de 20,5 mm e 19,7 mm, no muro 2, todavia, os deslocamentos ocorridos nos muros eram aceitáveis, até a data final de monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: Muro de contenção, Gabião, Deslocamento horizontal, Monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

Na cidade de Manaus, AM, fora construído um centro de compras cuja infraestrutura externa previa a instalação de maciços de solo contidos por muros

de gabião, com altura e comprimento variáveis. Durante a fase construtiva, constatou-se que houve algumas regiões, ao longo dos muros, que apresentaram deformações excessivas, ocasionando o “embarrigamento” da face externa do gabião, mormente naquelas áreas mais próximas às bases das contenções, onde, decerto, os empuxos ativos do solo eram maiores. Esses muros foram denominados de 1, 2, 3, 4 e 5, com comprimentos de 73,40 m, 10,17 m, 14,05 m, 13,07 m e 15,33 m, e possuindo alturas livres, acima do nível do terreno inferior, de 7,80 m, 9,50 m, 11,25, 13,00 m e 13,00 m, respectivamente. A Figura 1 apresenta a localização, em planta, dos referidos muros.

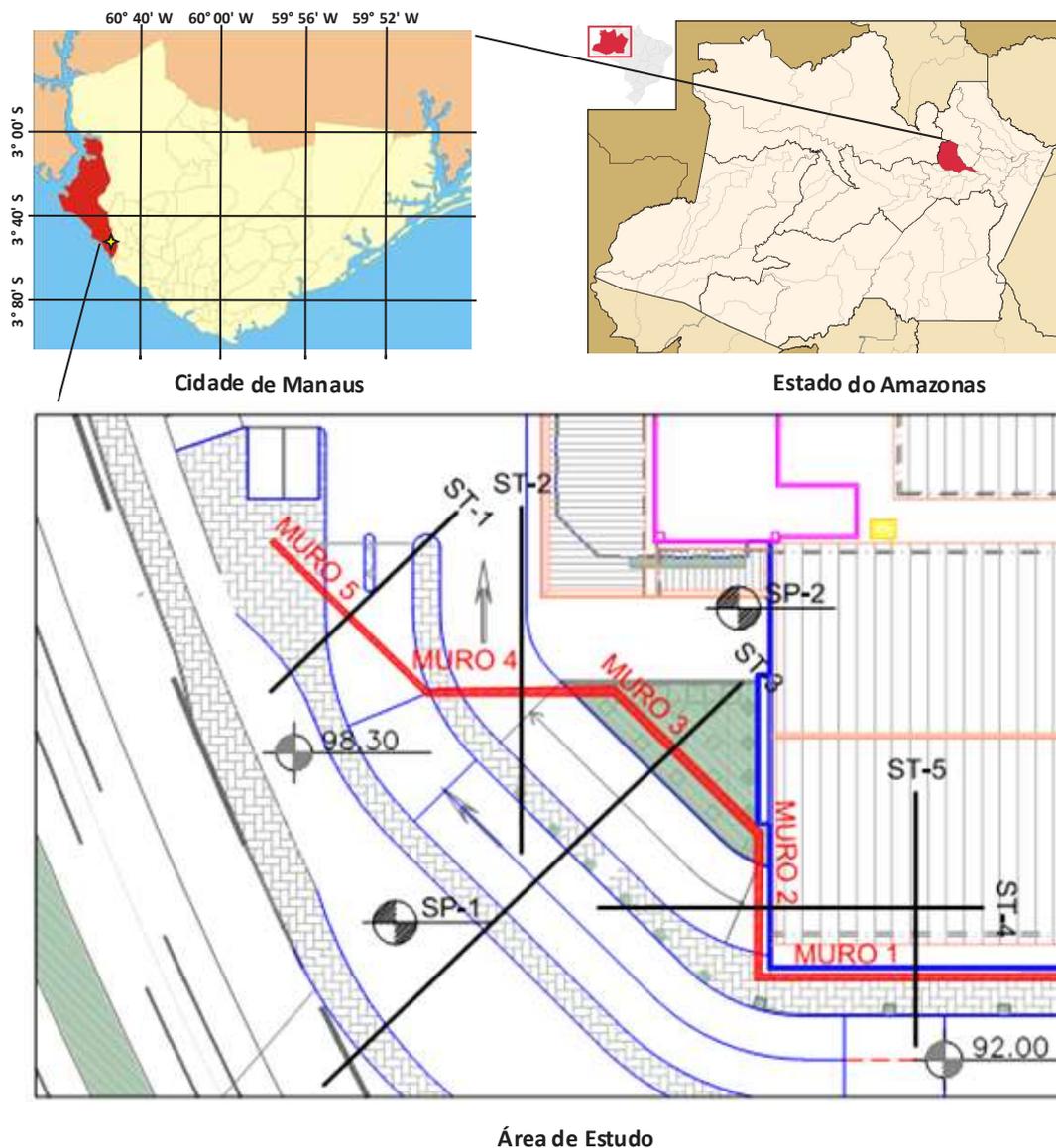


Figura 1. Localização, em planta, dos muros 1 a 5.

Devido ao “embarrigamento” da face externa dos gabiões, foram analisadas cinco seções transversais geométricas (ST-1 a ST-5), uma para cada muro, aliadas a várias sondagens de simples reconhecimento, no total de 30, com determinação dos índices de resistência à penetração (N_{SPT}). Tanto a indicação das seções de

estudo, quanto as sondagens, encontram-se representadas na Figura 1. A Figura 2 indica a comparação entre a seção típica do muro no projeto original e a do estudo final, para a altura livre de 13 m. Os vários estágios da construção do muro em gabião, desde a escavação de solo natural - para embutimento do gabião-caixa a um metro e dois metros de profundidade -, passando pelos serviços de montagem das gaiolas, com a colocação das pedras, a compactação do aterro, a colocação do material de filtro (geotêxtil) e o alteamento do muro, em seu nível final, podem ser melhor consultados em Campelo et al. (2015).

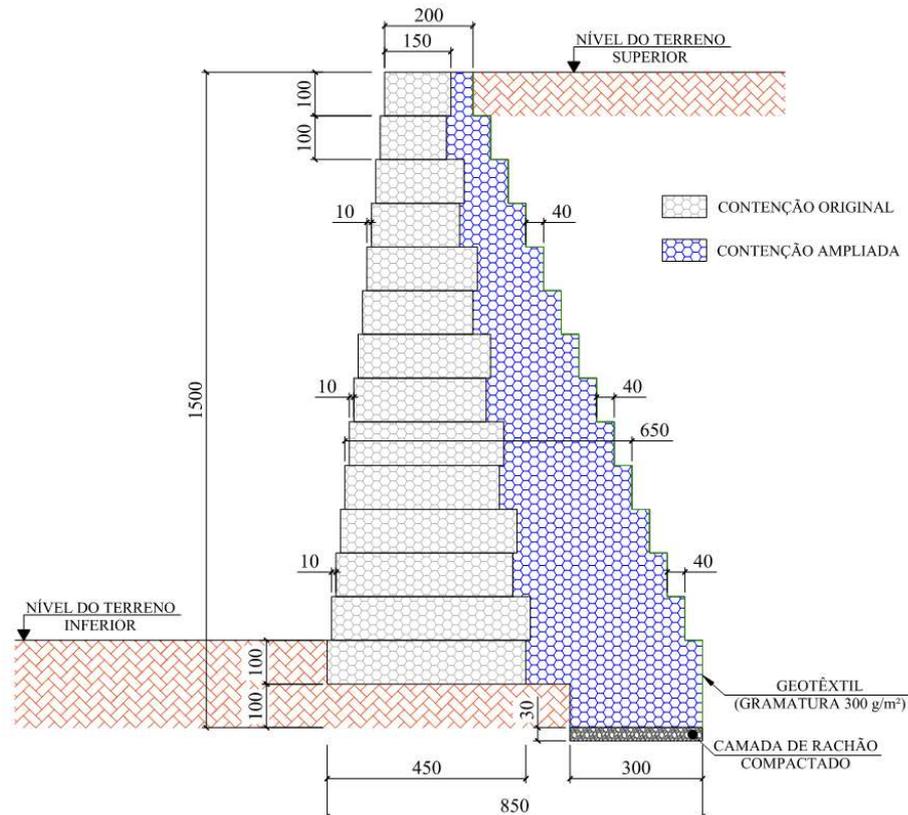


Figura 2. Seção transversal final do muro de contenção em gabião, em relação à original.

Em relação à análise dos muros de gabião em si, empregou-se o programa computacional GGU-GABION, da CivilServe da Alemanha (GGU Z.V., 2015), que permite a determinação dos recalques, capacidade de carga, coeficientes de segurança contra deslizamento e tombamento, entre outros parâmetros de cálculo. Pelos resultados obtidos, concluiu-se que as seções geométricas originais dos muros mostraram-se instáveis; então, analisaram-se também três outras alternativas, que são o reforço do muro existente, por um sistema estrutural de grelhas atirantadas, assim como uma redefinição da geometria dos muros originais, por meio do uso do sistema “Terramesh”, ou apenas pelo aumento da seção transversal dos mesmos. Devido ao cronograma da obra e aos insumos importados, para as duas primeiras soluções, decidiu-se, então, pela adoção da última alternativa.

2. CONDIÇÕES GEOLÓGICO-TÉCNICAS DO LOCAL

A cidade de Manaus, localizada na margem esquerda do rio Negro, região do depocentro da Bacia Sedimentar do Amazonas (Cunha et al., 1994), encontra-se erigida sobre sedimentos da Formação Alter do Chão (Caputo et al., 1972). Esses sedimentos são constituídos predominantemente de argilitos, siltitos e arenitos avermelhados, depositados em ambiente continental fluvial e lacustrino, associado com a instalação de um sistema fluvial arenoso de alta energia, ocorrido no Neocretáceo (Daemon, Contreiras, 1971, Daemon, 1975). A Formação Alter do Chão é composta por arenitos silicificados avermelhados e arenitos inconsolidados com granulação fina a média, intercalados com níveis argilosos, mormente, caulíníticos. Apresenta estruturas sedimentares, tais como estratificações tabular, cruzada e plano-paralela, e ainda mostram ocorrências de fragmentos vegetais e de atividade biológica.

Tais características denotam que a citada unidade é representativa de uma deposição em ambiente flúvio-lacustre. A espessura desse pacote sedimentar na cidade de Manaus, conforme informações oriundas de perfurações para água subterrânea, é cerca de 200 metros, podendo alcançar 1.250 metros ao longo da bacia. A unidade informal denominada de “Arenito Manaus” é uma fácies sedimentar dessa unidade estratigráfica, sendo muito explorada na região, como principal fornecedora de matéria-prima para agregados na construção civil. A Formação Alter do Chão é coberta por solo argilo-arenoso amarelado, por vezes avermelhado, com espessura da ordem de poucos metros (8 m a 10 m), e por uma crosta laterítica, geralmente, ferruginosa.

3. HISTÓRICO DAS CONDIÇÕES ANALISADAS

Nas simulações da estabilidade interna e externa da contenção original em gabião, foram consideradas diferentes condições de estudo, a saber: i) alteamento do muro em gabião, com respectivo incremento na sua seção transversal, de acordo com o projeto original; ii) se a condição anterior não satisfazia aos critérios de estabilidade, proceder-se-ia, então, ao estudo de reforço do muro de gabião, por meio do emprego de estruturas em grelhas (nas faces externas dos muros) e tirantes, em quatro ou cinco níveis de atirantamento; iii) como uma segunda alternativa, fora também estudado o caso de ampliação da seção transversal do muro existente, ao longo de sua altura, com o emprego de geogrelha (“Terramesh”); iii) a terceira alternativa estudada fora incrementar a seção transversal original do muro, aumentando-se, portanto, seu peso próprio e, destarte, combatendo, mais eficientemente, os esforços solicitantes.

Além das análises do alteamento e conseqüente aumento da seção transversal do muro, estudou-se também a adição de sobrecarga de 20 kPa na superfície do terreno (NT), induzida por tráfego de veículos. O maciço de solo fora

dividido em duas camadas, sendo a primeira constituída por aterro argilo-arenoso compactado, com a espessura correspondente à da altura efetiva ou líquida do muro, sobrejacente à camada de terreno natural. Após a adequação de várias seções transversais da contenção em gabião, que pudesse suportar os esforços solicitantes do empuxo ativo de solo e sobrecargas no nível do terreno superior, analisou-se, então, a estabilidade global do conjunto maciço de solo/contenção em gabião, a fim de verificar se haveria potencialidade de ruptura do maciço de solo e do muro. Essas análises encontram-se pormenorizadas em Campelo et al. (2015).

4. MONITORAMENTO DOS DESLOCAMENTOS DO PARAMENTO DO MURO

4.1. Histórico

Em junho de 2012, fora emitido um Relatório Técnico sobre a estabilidade de contenção dos muros em gabião, uma vez que o projeto original de execução da contenção - sob responsabilidade técnica de uma certa empresa - não contemplava uma perfeita estabilidade da mesma, a julgar pelas deformações excessivas verticais e horizontais que estavam ocorrendo à época, impondo à contenção um aspecto de “embarrigamento”, e fortemente documentado no mencionado relatório.

Assim, aquele relatório técnico apontava três alternativas, que eram a execução de reforço por tirante – solução esta dispendiosa e demorada – e a reconstrução do muro em gabião, em “Terramesh”, ou, simplesmente, na adequação de nova geometria de seção transversal do muro em gabião. Essa última solução acabou sendo adotada, a critério da construtora, haja vista não depender de importação de materiais de outras praças – a exemplo das primeira e segunda -, além de sua boa produtividade, reduzindo prazos de cronograma, ao contrário das duas primeiras alternativas.

Entrementes, nos idos do fim do ano de 2012 e início de 2013, algumas ocorrências externas, tais quais, intensas incidências pluviométricas, que causaram uma sobrelevada quantidade de armazenamento de águas pluviais, mormente em terreno lindeiro, conduziram a um fluxo superficial que, não encontrando ainda o terreno impermeabilizado, infiltrou no maciço de solo, e, devido ao fato de que gabiões são estruturas autopermeáveis, a água de saída encontrava-se com grande pressão, “empurrando” (empuxo da água no paramento da contenção), então, os muros. O resultado, destarte, fora o deslocamento das faces externas dos paramentos dos muros para a frente, variando entre 5 cm e 20 cm, conforme relato de engenheiros da construtora, que procederam, por meio de técnica expedita, sem precisão milimétrica, às medidas dos deslocamentos, em diversos pontos dos paramentos, ao longo de sua extensão, até a provável estabilização dos mesmos.

Por esse motivo, um segundo relatório técnico fora emitido, em março de 2013, abordando a estabilidade do conjunto formado pelo maciço de solo e a sua

contenção, comentando acerca do reflexo da infiltração d'água no subsolo, no equilíbrio do maciço. Nessa oportunidade, deve-se ressaltar que o muro 1 não teve sua geometria alterada no projeto de revisão, uma vez que, à época - antes da enxurrada deletéria que provocou deslocamentos indelévels nos muros - não apresentava deslocamentos apreciáveis a olho nu. Assim, o mesmo permaneceu com a sua geometria definida pelo projeto original, sob responsabilidade técnica de outra empresa.

Nesse aspecto, o presente trabalho descreve todas as leituras de monitoramento levadas a cabo desde o dia 2/8/2013 (1ª leitura) a 10/3/2014 (10ª leitura), perfazendo sete meses de monitoramento das leituras dos deslocamentos verticais e horizontais das faces externas dos muros em gabião.

4.2. Instalação dos Instrumentos

A Figura 3 mostra a vista frontal da instalação dos pinos de recalque, ao longo da extensão dos vários segmentos retilíneos dos muros de contenção. Observe-se as condições dos paramentos externos dos muros, durante a instalação dos instrumentos, no fim do mês de julho, na Figura 4. A Figura 4a apresenta a instalação de pinos de recalque no muro 4, enquanto na Figura 4b pode-se notar a luminosidade dos adesivos com 1 cm de diâmetro, colocados na superfície dos pinos de recalque, para leituras dos deslocamentos em três dimensões (longitude, latitude e elevação, acima do nível do mar), no muro 5.

Verifica-se o elevado embarrigamento de algumas regiões dos muros, com vários centímetros de defasagem, entre a base e a crista dos muros, vistos em planta, antes da efetuação das leituras de deslocamentos. Destarte, já houve uma grande movimentação lateral do muro, para a frente, desde sua execução. O intuito desse monitoramento era averiguar se os deslocamentos cessaram ou caminhavam em valores aceitáveis, atendendo aos requisitos de estabilidade global da contenção. Uma vez lidas as coordenadas nas três dimensões, medidas por meio de uma estação total geodésica, os deslocamentos horizontais e verticais foram calculados como a diferença entre as coordenadas nas 2ª, 3ª, 4ª, n-ésima leitura, etc., e a 1ª leitura.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS LEITURAS DO MONITORAMENTO

Por brevidade, será aqui apresentada apenas a diferença entre a última leitura e a primeira. A Tabela 1 sumariza as leituras levadas a cabo, para cada pino de recalque, durante os sete meses de monitoramento. A partir dessa tabela, foram elaborados os gráficos dos isovalores dos deslocamentos horizontais dos paramentos externos dos muros e o da modelagem 3D da superfície, em relação aos mesmos deslocamentos, indicados nas Figuras 5 e 6.

De uma maneira geral, quando parte do paramento externo do muro avança

para a frente, outra parte tende a recuar, ou seja, adentra o maciço – o que provoca o deslocamento horizontal negativo -, uma vez que o muro em gabião é uma estrutura sabidamente flexível.

A estabilidade fica comprometida quando há o avanço excessivo do muro para a frente, além de um certo valor admissível, pois o deslocamento relativo das gaiolas pode fazer com que haja o deslizamento e/ou tombamento do muro, induzindo à ruptura catastrófica.

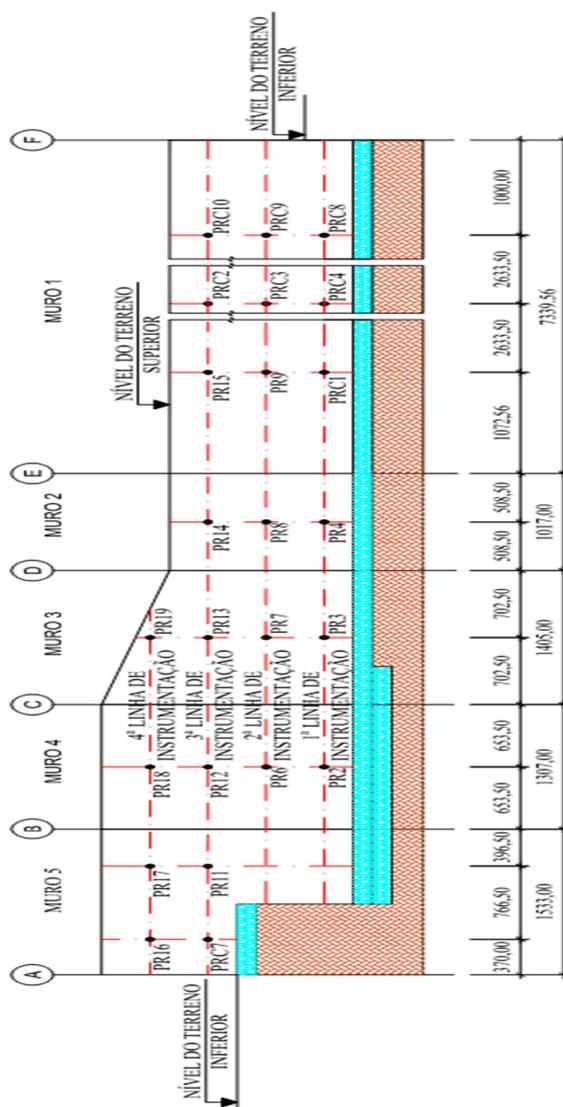


Figura 3. Vista frontal da instalação dos pinos de recalque, ao longo da extensão dos muros.

Tabela 1. Maiores deslocamentos horizontais da face externa do paramento.

Pinos	Muro	X(m)	Y(m)	Z(mm)
PRC-1		63,35	5,1	-1,2
PRC-2		89,68	11,1	-5,9
PRC-3		89,68	8,1	-3,0
PRC-4		89,68	5,1	-0,6
PRC-8	1	116,02	5,1	-1,6

PRC-9		116,02	8,1	-1,6
PRC-10		116,02	11,1	-1,2
PR-9		63,35	8,1	14,1
PR-15		63,35	11,1	13,3
PR-4		47,54	5,1	20,5
PR-8	2	47,54	8,1	19,7
PR-14		47,54	11,1	2,7
PR-3		35,43	5,1	5,2
PR-7	3	35,43	8,1	1,5
PR-13		35,43	11,1	2,0
PR-19		35,43	14,1	1,5
PR-2		21,87	5,1	0,3
PR-6	4	21,87	8,1	0,2
PR-12		21,87	11,1	1,2
PR-18		21,87	14,1	40,0
PRC-7		3,7	11,1	-1,1
PR-11	5	11,37	11,1	4,8
PR-16		3,7	14,1	6,5
PR-17		11,37	14,1	7,0

Em muros a flexão - e, portanto, rígidos, com comportamento de “bloco monolítico” - é mais fácil estabelecer ou fixar limites admissíveis de distorção angular - relação entre o recalque diferencial da base da fundação e a altura do muro -, entretantes, em contenções em gabião, o problema é mais complexo, devido ao fato de que, sendo formado por gaiolas costuradas, permite a movimentação bloco a bloco, *i.e.*, individualmente - e não monoliticamente -, possuindo primordialmente comportamento flexível.

Assim, enquanto em muros rígidos os limites admissíveis de distorção angular podem ser facilmente fixados, o mesmo não ocorre em muros flexíveis. Como agravante, nesses últimos fica difícil se conhecer, com precisão, a face do paramento externo, por causa da acomodação natural das gaiolas à deformação do terreno, dificultando a determinação da distorção angular do paramento do muro.

Devido ao fato de que os deslocamentos verticais (recalques) dos muros foram extremamente baixos, com valores inferiores a 10 mm, não serão aqui analisados.

Tanto pela observação da Tabela 1, quanto da Figura 5, verifica-se que os maiores deslocamentos horizontais da face externa do paramento, para a frente (positivo), é de 40 mm, no PR-18, no muro 4, de 20,5 mm no PR-4 e de 19,7 mm, no PR-8, estes dois últimos pertencentes ao muro 2.

Em alguns pinos de recalque, houve medições de leituras negativas, ou seja, como se a face do muro se deslocasse para trás. Essas medições negativas foram de pequena monta e ocorreram basicamente no muro 1.

Observou-se também que os maiores deslocamentos ocorreram nas terceira

e quarta linhas de instrumentação, e não na primeira linha - onde ocorrem os maiores empuxos ativos contra a face do muro -, corroborando com o fato de que os deslocamentos horizontais não foram decorrentes de insuficiência geométrica, posteriormente à fase de adequação da nova seção transversal dos muros, conforme mencionado nos tópicos anteriores, mas, sobretudo, oriundos da ação da água pluvial durante enxurrada que induziu ao deslocamento das gaiolas, podendo ter deixado algum “vazio” entre o maciço de solo e as mesmas, e, dessa forma, a possível fragilidade das ligações entre os blocos, dando continuidade no deslocamento do paramento do muro, com o passar do tempo.

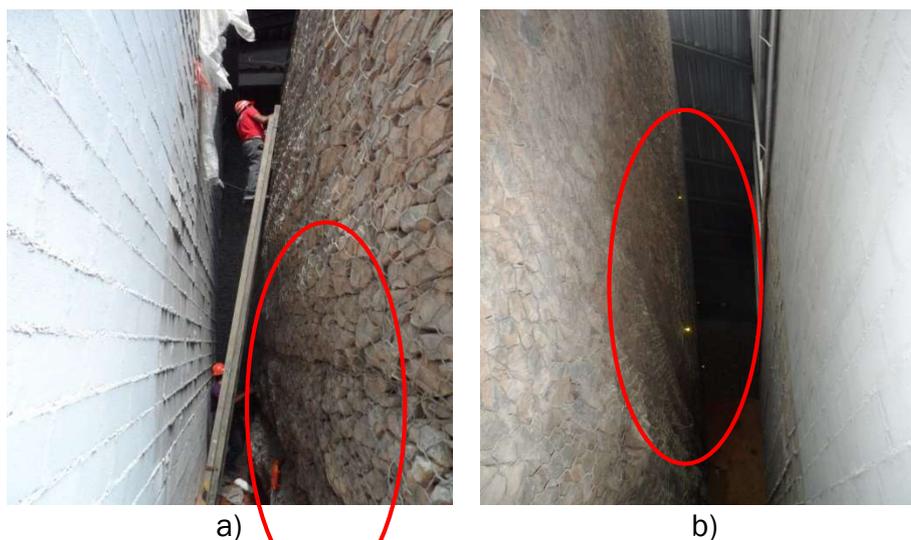


Figura 4. a) Instalação de pinos de recalque no muro 4. Notar o “embarrigamento” na região inferior do muro, antes do início do monitoramento; b) adesivos com 1 cm de diâmetro, colocados na superfície dos pinos de recalque, para leituras dos deslocamentos em três dimensões (longitude, latitude e elevação, acima do nível do mar), no muro 5.

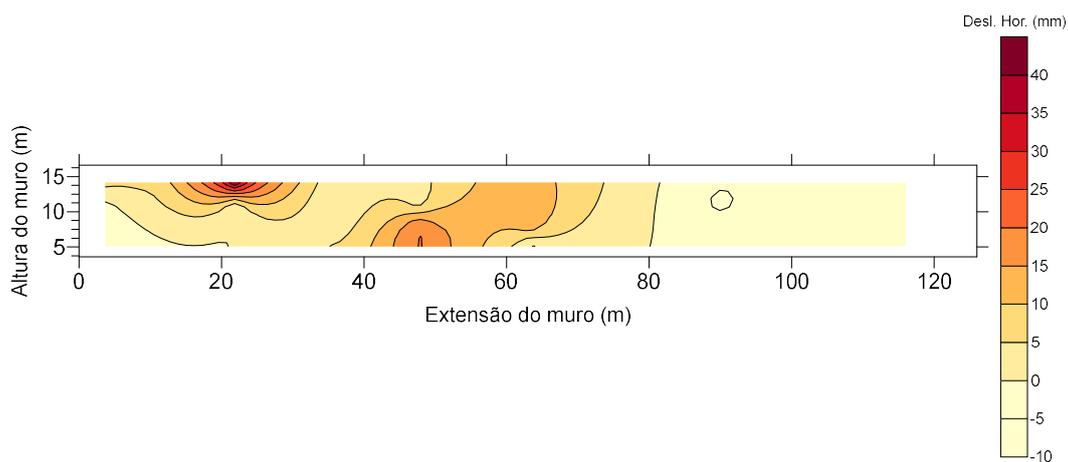


Figura 5. Isovalores de deslocamentos horizontais das faces externas dos muros 1 a 5.

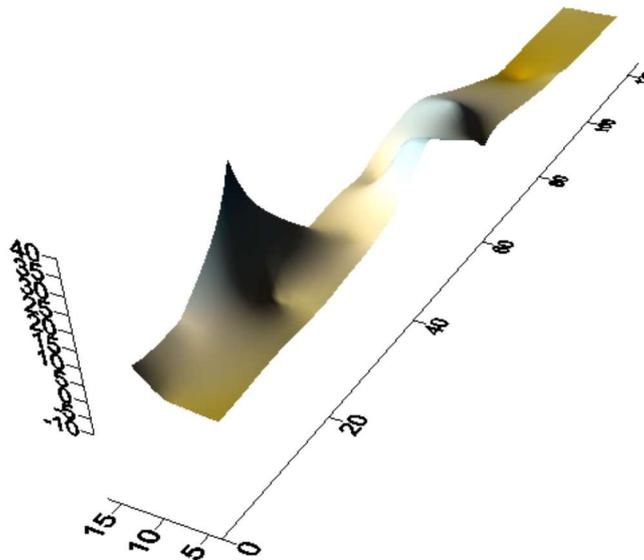


Figura 6. Modelagem 3D dos deslocamentos horizontais da face externa dos muros 1 a 5.

Segundo Lin et al. (2010), a razão entre os deslocamentos pode ser enunciada através das equações 1 e 2, para estruturas flexíveis em gabião. Desse modo, os deslocamentos devem respeitar os valores máximos estabelecidos na Tabela 2, tendo como parâmetro as fórmulas 1 e 2.

$$\left(\frac{\delta}{H}\right) = (0,002 \times H^{1,2}) \times \left(\frac{h}{H}\right) \quad (1)$$

$$\left(\frac{S}{H}\right) = (0,008 \times H^{0,75}) \times \left(\frac{h}{H}\right) \quad (2)$$

Onde:

δ - Deslocamento frontal máximo (mm);

H - Altura total do muro (m);

h - Altura do bloco de gabião (m);

S - Deslocamento de recalque máximo (mm);

Tabela 2. Relação entre a altura e deslocamentos máximos admissíveis (aceitáveis), de acordo com Lin et al. (2010).

Altura (m)	Deslocamento Máximo (mm)	
	Vertical (Recalque)	Horizontal (Frontal)
7,0	34,43	20,66
9,5	43,29	29,81
13,0	54,77	43,43

De acordo com os valores máximos definidos na Tabela 1, foi possível verificar que os mesmos são inferiores aos definidos na Tabela 2. Com isso, pode-se afirmar que os deslocamentos ocorridos nos muros eram aceitáveis, até as medições do último monitoramento.

6. CONCLUSÕES

Em relação ao exposto nas seções anteriores, é pertinente comentar acerca de algumas conclusões sobre o trabalho realizado. Assim, pode-se afirmar que algumas regiões dos paramentos dos muros 1 a 5 encontraram-se com grandes deformações, mormente horizontais (“embarrigamentos”), que apareceram após a percolação de águas pluviais, provindas de terreno vizinho, carreando material na superfície e possivelmente no interior do maciço, e o empuxo da água fora de tal magnitude que empurrou, para a frente, o muro em questão, e de acordo com engenheiros da obra, em cerca de 10 cm a 20 cm.

As estruturas de arrimo em gabião são reconhecidamente flexíveis, acomodando-se, portanto, às deformações do terreno de fundação e do maciço de solo lateral. Assim, mesmo com os deslocamentos horizontais acentuados, pode haver a estabilização dos mesmos, daí a necessidade de se ter monitorado o muro por um período de sete meses. No entanto, a não estabilização pode comprometer a estabilidade global do sistema maciço de solo-muro em gabião, possibilitando causar uma ruptura catastrófica do sistema, com terríveis consequências. Os maiores deslocamentos verticais foram de 20,5 mm, 19,7 mm e 40 mm, em algumas regiões dos muros. Quanto aos deslocamentos verticais (recalques), os valores máximos foram inferiores a 10 mm, não sendo, portanto, motivos de preocupação com a estabilidade dos muros

Pode-se verificar que os deslocamentos máximos horizontais e verticais estavam ainda na faixa admissível, até o final do monitoramento, contudo, o ideal seria a continuidade do monitoramento, por tempo não inferior a um ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à empresa ECOLOGY SUPORTE AMBIENTAL, pela cessão dos dados aqui apresentados e analisados.

REFERÊNCIAS

CAMPELO, N.S., SANTORO FILHO, M.J.G., PAES, M.D.C., VALADARES, O.C.P., ARAGÃO, A.F. **Análise de estabilidade de muros de contenção em gabião**. In: Seminário de Engenharia de Fundações, 8 – SEFE 8, 2015, São Paulo. Anais... São Paulo, ABMS, 23 a 25 de junho de 2015. 1 CD-ROM.

CAPUTO, M.V., RODRIGUES, R., VASCONCELOS, D.N.N. **Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Rio Amazonas**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26, 1972, Belém. Anais... São Paulo, SBG, 3:35-46.

CUNHA, P. R. C.; GONZAGA, F. G.; COUTINHO, L. F. C. E FEIJÓ, F. J. **Bacia do**

Amazonas. Boletim de Geociências, Rio de Janeiro, PETROBRÁS, vol. 8, n. 1, p. 47-55, 1994.

DAEMON, R.F. **Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas.** Revista Brasileira de Geociências, SBG, Rio de Janeiro, vol. 5, n. 2, p. 78-84, 1975.

DAEMON, R. F. E CONTREIRAS, C. J. A. **Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, 1971, São Paulo. Anais... São Paulo, SBG, p. 79-91.

GGU Z.V. **GGU-Gabion.** GGU Zentrale Verwaltung mbH, Braunschweig, CivilServe, Deutschland, v. 2015.

LIN, D.G.; HUANG, B.S., LIN, S.H. **Deformation analyses of gabion structures.** In: INTERPRAEVENT, 15, Taichung, Taiwan, 2010, p. 512-526.

ABSTRACT: Gabion retaining walls (numbers 1 to 5) were built in the outer area of a shopping center in the city of Manaus, Amazon State. When they reached a certain height, began to have horizontal deformation excessive ("sagging"), causing the stoppage of construction. Further studies revealed that the original geometric sections did not agree with the requirements of internal, external and global geotechnical stability. Hence it was proceeded to study some alternatives, to work around the problem. The fastest and most economical alternative proved to be the excavation of the compacted fill in the areas of excessive deformation of the wall, wall cross section increase and subsequent backfill and compaction of the soil. The new cross sections of the walls imposed theoretical and constructive stability to them, being proven by subsequent monitoring of the horizontal and vertical displacements, for a period of seven months. It has been found that the largest horizontal displacement of the external face of the wall were 40 mm in the number 4 wall, and 20.5 mm and 19.7 mm in number 2 wall, however, and these displacements were acceptable to the end of monitoring date.

KEYWORDS: Retaining wall, Gabion, Horizontal displacement; Monitoring.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93243-38-7



9 788593 243387