

ISBN 978-65-01-12637-1

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13386145>



GEOSSAM'2024
27 E 28 DE AGOSTO

**DESAFIOS,
SOLUÇÕES E
OPORTUNIDADES**

**Workshop sobre Aplicações
de Geossintéticos na
Região Amazônica**

Editores Delma Vidal/José Schiavon



GEOSSAM'2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Realização - IES

EESC



IFTO



ITA



UEMA



UFAC



UFAM



UFAM

UNIFAP



UNIR



UFRR



UFRR

Apoio na Organização



Apoio na Divulgação





GEOSAM ´ 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Conteúdo

Prefácio

Comissão Organizadora

Corpo revisor

Programa do evento

Sumário

Resumos Expandidos

Índice de Autores

Agradecimentos



GEOSSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Prefácio

O GEOSSAM'2024 - Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica – DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES objetiva apresentar e debater as dificuldades e desafios de obras na região, as soluções com as quais os geossintéticos podem contribuir e as oportunidades para expansão do conhecimento, estabelecendo conexões entre projetistas, usuários e acadêmicos.

O evento começou a ser delineado a partir de conversas entre pesquisadores, professores e profissionais atuando na região, que mostraram a necessidade de ampliar os debates sobre os problemas peculiares à região e as vantagens e eventuais desvantagens do emprego de produtos geossintéticos na mitigação/solução destes problemas. Desde a primeira reunião, o grupo foi crescendo e muito rapidamente a sugestão inicial de uma simples Mesa Redonda foi ampliada para um encontro de trabalho, organizado em apenas três meses, graças ao empenho do grupo que formou a Comissão Organizadora.

Com uma configuração um pouco diferente da tradicional, estruturado apenas por voluntários, sem aporte de recursos financeiros, e transmissão pelo canal Geotecnia Brasil no YouTube, foi possível promover um evento inteiramente online, com inscrição gratuita, acessível a todos os interessados em debater obras de infraestrutura na região. O evento será gravado e estará disponível no Canal Geotecnia Brasil, para os interessados em assistir as palestras, apresentações e debates das mesas redondas, que não puderam fazê-lo nos dias 27 e 28 de agosto.

A reunião de pesquisadores e profissionais das áreas de geotecnia, geologia, geossintéticos, materiais e meio ambiente, atuando nos temas escolhidos permitiu organizar Mesas Redondas sobre: Características da Região e Durabilidade de Geossintéticos, Obras de terra e pavimentos, Obras emergenciais, Disposição de resíduos e Controle de processos erosivos, facilita o debate sobre as peculiaridades da região e potenciais soluções.

Os anais do evento, com os resumos expandidos aceitos para publicação após revisão criteriosa do corpo revisor, estarão disponíveis para download a todos os que se interessem pelos temas discutidos.

Comissão Organizadora do GEOSSAM 2024



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Comissão Organizadora

Adenilson Costa de Oliveira (UNIFAP-AP)
Anthony Belo Vasconcelos Santos, 1º Ten Eng (COMARA - PA)
Consuelo Alves da Frota (UFAM - AM)
Daniela Muniz D'Antona Guimarães (UFAM - AM)
Daniele Rodrigues dos Santos (Vinci Airports - AM)
Delma Vidal (ITA - SP)
Flávio Ornelas (IFTO - TO)
Gerson Mundstock (Vinci Airports - AM)
Jefferson Lins (EESC-USP - SP)
José Antonio Schiavon (ITA - SP)
Karla Costa Alves (DNIT - AC)
Luís Henrique Rambo (UNIFAP - AP)
Mariana Ramos Chrusciak (UFRR - RR)
Mayssa Alves da Silva Sousa (UEMA - MA)
Marcelo Augusto Rambo (UNIR - RO)
Matheus Pena Silva e Silva (UFAM - AM)
Narciso Oliveira (Vinci Airports - RR)
Petrus Luiz Luna Pequeno (UNIR - GPAMPA - RO)
Ricardo Salgado Fadul, Maj Eng (COMARA - PA)
Simone Ribeiro Lopes (UFAC - AC)
Tiago de Jesus Souza (Geotecnia Brasil)
Victoria Catarina Souza Lopes, Asp Of Eng (ITA - SP)



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Corpo Revisor

Delma Vidal (ITA - SP)

Denise de Carvalho Urashima (CEFET-MG)

Flávio Ornelas (IFTO - TO)

Jefferson Lins (EESC-USP - SP)

José Antonio Schiavon (ITA - SP)

Luís Henrique Rambo (UNIFAP - AP)

Mariana Ramos Chrusciak (UFRR - RR)

Mayssa Alves da Silva Sousa (UEMA - MA)

Simone Ribeiro Lopes (UFAC - AC)



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Programa do dia 27 de agosto 2024

MR1 - Características da região e durabilidade dos geossintéticos (das 10:00 as 12:30h)

Aspectos Geológicos e Hidrológicos Relacionados aos Problemas Geotécnicos da Amazônia, Dr. Marco Oliveira (CPRM-SGB-MME)

Características geológico-geotécnicas dos depósitos sedimentares da cidade de Rio Branco – AC: Uma discussão sobre as adversidades e os desafios no desenvolvimento de projetos e execução de obras, Prof. Dr. Ricardo Nascimento (UFAC)

Controle de Qualidade / Durabilidade dos Geossintéticos, Prof. Dr. José Antonio Schiavon (ITA) e Profa. Dra. Denise Urashima (CEFET-MG)

Apresentação de resumo

Debates – coordenação da Profa. Dra. Simone Lopes (UFAC)

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pda2ZU6uw6E>

MR2 - Obras de terra e pavimentos (das 14:30 as 18:30h)

Pavimentação na Região Amazônica: solos expansivos e ausência de materiais, Ten. Eng. José Maurício da Cunha Neto (COMARA)

Comportamento Geotécnico de Solos Lateríticos da Região Amazônica, Profa. Dra. Mayssa Alves (UEMA)

Geossintéticos no projeto de rodovias na região amazônica, Prof. Dr. Jorge Zornberg (Universidade do Texas, EUA)

Geossintéticos nos projetos de obras de terra, Profa. Dra. Delma Vidal (ITA)

Obras com geossintéticos na região amazônica, Dr. Cassio Carmo (Huesker)

Apresentação de resumos

Debates – Coordenação da Profa. Dra. Kárita Alves (IFTO)

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zLj8Z0ohYg8>



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Programa do dia 28 de agosto 2024

MR3 – Obras emergenciais (das 10:00 as 12:30h)

Geotêxteis e produtos correlatos em obras emergenciais, MSc. Nathalia Castro (Solmax Americas)

Caso de obra: Geocélulas: uma alternativa para abertura de vias de forma rápida e com aumento do suporte de carga, Gustavo Kamakura (Ober Geossintéticos)

Contribuição das barreiras geossintéticas em obras emergenciais, MSc. Patricia Yoshimura (ITA)

Exemplos de Soluções com Barreiras, Antonio J.Brito (Sansuy)

Debates – coordenação do Prof. Dr. Flavio Ornelas (IFTO)

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1wZZAEWv9w>

MR4 – Disposição de Resíduos (das 14:30 as 16:00h)

Sistemas de revestimento e drenagem em áreas de disposição de resíduos, Dr. Carlos Vinicius Benjamim (ENG Consultoria)

Melhores práticas na redução de geração de chorume através do uso de coberturas sintéticas na disposição final de resíduos: Estudo de caso do aterro sanitário de Marituba/PA, Enga. Verena Abdalla (AzulPack Geoground))

Técnicas de desaguamento de lodo: Foco em sistemas geotêxteis, Dr. Matheus Muller (Salus) e Eduardo Guanaes (Huesker)

Apresentação de resumos e Debates – Coordenação da Profa. Dra. Delma Vidal (ITA)

MR5 – Controle de Processos Erosivos (das 16:00 as 18:30h)

Erosões em obras deterraplanagem, Ten. Eng. Michel de Moraes Gouvea (COMARA)

Fenômeno das Voçorocas na Área Urbana do Município de Buriticupu/MA, Profa. Dra. Mayssa Alves e Prof. Dr. Carlos JoséSousa (UEMA)

Controle de Processos erosivos em taludes e margens dereservatórios, Prof.Dr. Jefferson Lins (EESC-USP) e Marta Luz (PUC-GO)

Caso de Obra: Controle de erosão com técnicas de engenharia naturalística, Eng. Gilberto Marinho (Tecnologias Vertical Green do Brasil)

Apresentação de resumos e Debates – Coordenação da Profa. Dra. Mariana Chrusciakl (UFRR)

Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=KIM_eXBODDA



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

SUMÁRIO

TÍTULO/Autores	pg
ENGENHARIA COM GEOSSINTÉTICOS EM SINTONIA COM O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL Guimarães, Mag G.A. e Urashima, Denise C.	11
DESAFIOS DA PAVIMENTAÇÃO NO ESTADO DO ACRE: APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE SUBLEITO EM SOLOS EXPANSIVOS Barbosa, Victor H.R., Souza, Lucas A. e Ramos, Aila R.P. e Lopes, Simone R.	15
GEOCÉLULAS: UMA ALTERNATIVA PARA ABERTURA DE VIAS DE FORMA RÁPIDA E COM AUMENTO DO SUPORTE DE CARGA Kamakura, Gustavo K., Paranhos, Samira T.S. e Palma, Silvio L.	19
AVALIAÇÃO TÉCNICA DO RCC RECICLADO COMO MATERIAL DE ATERRO E DE PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA USINA DE PALMAS – TO Alves, Kárita C.S.K., Nascimento, Queila B., Alves, Rannyere R., Fortes, Rodrigo A. e Santos Junior, José A.	23
PAVIMENTO RIGIDO RETICULADO TRACIONADO CALCULADO DE FORMA DINÂMICA PERMITINDO DESEMPENHO ESTRUTURAL EM SOLOS EXPANSIVOS Silva, Norberto G.S.	27
GEOSSINTÉTICOS NA AMAZÔNIA: UMA SOLUÇÃO LOGÍSTICA PARA DESAFIOS GEOTÉCNICOS DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA Lopes, Victoria C. e Santos, Anthony B.V.	31



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

TÍTULO/Autores	pg
APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS EM OBRAS EMERGENCIAIS NA REGIÃO AMAZÔNICA: DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES Brito, Antonio J. e Yoshimura, Patricia	35
ESTUDO DO USO DE GEOMEMBRANA EM CEMITÉRIOS NA REGIÃO NORTE PARA PROTEÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBSUPERFICIAIS Ornelas, Flavio S., Silva, Liliane G. e Oliveira, Meriele C.C.R.	39
DESAFIOS DA ÁGUA DE PRECIPITAÇÕES EM ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO NORTE Ornelas, Flavio S., Silva, Liliane G. e Oliveira, Meriele C.C.R.	43
MELHORES PRÁTICAS NA REDUÇÃO DE GERAÇÃO DE CHORUME ATRAVÉS DO USO DE COBERTURAS SINTÉTICAS NA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS: ESTUDO DE CASO DO ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA/PA Zanon, Thiago V.B. e Bernardinelli, A.L.C.S.	47
APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE BIOENGENHARIA PARA A ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS EM ÁREAS CONSTRUTIVAS Bittencourt Neto, Abelardo P. e Mejía, Marília S.A.	52
CONTROLE DE EROÇÃO COM TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURALÍSTICA Coelho, Isabel C. O., Coelho, Maurizio S. e Marinho, Gilberto V.	56
UNA NUEVA TECNOLOGIA PARA CIERRE DE GEOCONTENEDORES Calderon, Javier	60
UTILIZACIÓN DE GEOTEXILES NO TEJIDOS BIODEGRADABLES Calderon, Javier	64



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

RESUMOS EXPANDIDOS



ENGENHARIA COM GEOSSINTÉTICOS EM SINTONIA COM O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Mag Geiselly Alves Guimarães, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Varginha, MG, mag@cefetmg.br

Denise de Carvalho Urashima, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Varginha, MG, urashima@cefetmg.br

Palavras Chave: Geossintéticos, Funções, Aplicações, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

As diferentes ações antrópicas sobre o meio físico e geológico com a finalidade de atender as necessidades da humanidade demandam que a Engenharia Civil esteja atenta aos distintos desafios. Dentre estes, tem-se a fomentação de projetos e soluções em sintonia com os Novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) preconizados na Agenda 2030, de forma a minimizar os prejuízos socioambientais e econômicos a atual e futura gerações (Guimarães; Urashima, 2023; Jones *et al.*, 2024). Publicada em 2015 por países membros da Organização das Nações Unidas (ONU), a Agenda 2030 é composta por dezessete Novos ODS e cento e sessenta e nove metas indissociáveis e que se organizam em cinco âmbitos macro: Pessoas, Prosperidade, Paz, Parceria e Planeta (Nações Unidas Brasil, 2015).

Neste contexto, destaca-se a Engenharia com Geossintéticos com soluções técnicas, econômicas e ambientais no enfrentamento aos desafios correntes frente aos novos ODS globais por suas inúmeras ações resilientes, sustentáveis e eficientes (Dixon; Fowmes; Frost, 2017; Jones *et al.*, 2024; Koerner; Koerner, Koerner, 2019; Shukla, 2021; Touze, 2021). Geossintético (GSY) é um termo genérico para diferentes produtos de matriz polimérica, natural ou sintético, empregados em obras geotécnicas e ambientais (ABNT NBR 10318-1, 2021).

O objetivo principal deste documento é apresentar e disseminar algumas das possibilidades de emprego de geossintéticos como soluções tecnológicas e viáveis com desenvolvimento sustentável.

2. GEOSSINTÉTICOS E SUSTENTABILIDADE

2.1 Tipos de geossintéticos e funções

Os geossintéticos abrangem uma diversidade de aplicações, desde obras de infraestruturas urbanas, proteção ambiental, explorações de minério ou mesmo agricultura. Os geossintéticos podem se divididos em três grandes grupos: geotêxteis (GTX), produtos correlatos aos geotêxteis (GTP), barreiras geossintéticas (GBR) e os geocompostos (GCO). A depender do tipo de geossintético, esse poderá desempenhar diferentes funções, como reforço, estabilização, drenagem, filtração, proteção, separação, barreira, controle de erosão e alívio de tensões (ABNT NBR 10318-1, 2021).

2.2 Sustentabilidade por meio de geossintéticos

A aplicação dos geossintéticos é de suma relevância em projetos de engenharia em sintonia aos ODS, das quais se destacam as atividades que agregam a universalização da alimentação, proteção ao meio ambiente, desenvolvimento econômico, conexão entre pessoas por obras de infraestrutura urbanas, combate e tratamento de catástrofes naturais e qualidade de água, conforme exemplificado na Figura 1 (International Geosynthetic Society, 2021; Touze, 2021).

Importante mencionar os recentes esforços da IGS Internacional em fomentar tais discussões junto à comunidade acadêmica, técnica e empresarial. Além disso, a IGS Internacional publicou uma calculadora para a quantificação dos benefícios de sustentabilidade por Análise do Ciclo de Vida (ACV) pelo uso de geossintéticos em projetos de infraestrutura e seus vieses sustentáveis em comparação a demais materiais tradicionais (International Geosynthetic Society, 2024).

Como exemplificação, o tópicos seguinte discorre sobre algumas destas aplicações para corroborar os benefícios imediatos, isto é, durante a própria construção, e de longo prazos.



Figura 1. ODS aplicados aos geossintéticos.

Fonte: International Geosynthetic Society, 2021.

3. APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS

3.1 Desaguamento e confinamento de resíduos

Tubos de geotêxteis, também denominados de sistemas de confinamento de resíduos (SCR) (IGS 004, 2016), são aplicados para o desaguamento e confinamento de resíduos que apresentam alto teor de líquidos em relação ao teor de sólidos. Com o princípio de bombeamento sob pressão controlada e, se necessário, a realização de condicionamento químico, o emprego de tubos de geotêxteis apresentam vantagens na redução de volumes para o descarte final adequado, em comparação a técnicas de tratamento convencionais (Urashima *et al.*, 2021).

A referida aplicação se dá pelo emprego de geotêxteis tecidos (GTX-W), não tecidos (GTX-NW), ou de geocompostos (GCO), este último pela junção em dupla camada de GTX-W e GTX-NW, com fins de desaguamento e confinamento de resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), Estações de Tratamento de Água (ETA), Mineração e Sedimentos Industriais (Kiffle; Bhatia; Lebster, 2023; Lawson, 2008).

Os tubos de geotêxteis apresentam facilidade de instalação, inclusive em locais de difícil acesso e com poucas áreas disponíveis para os tratamentos convencionais, bem como a possibilidade de empilhamentos. Em termos de expansão de ETA nos centros urbanos, a referida técnica vem de encontro para atender infraestruturas de

potabilização em crescimento e evitar o lançamento de resíduos gerados no meio ambiente (Guimarães; Urashima; Vidal, 2014; Müller *et al.*, 2023). Em particular as ETA, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), publicado em 2020 e que representa uma estratégia para a aplicação efetiva da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aborda que, no Brasil, “[...] parte das ETA lança seus resíduos em cursos d’água, o que contraria a legislação vigente e provoca impactos ambientais [...]” (Brasil, 2020, p. 79).

Neste contexto, os tubos de geotêxteis podem ser considerados uma alternativa tecnológica e ambiental com viés a ODS 9, uma vez que agregam na fomentação de infraestruturas resilientes, sustentável e de inovação. Ao se desaguar os resíduos para o confinamento da parcela sólida destinada a deposição em aterros licenciados, há a prevenção da contaminação do solo e dos cursos d’água pela gestão segura e sustentável de resíduos sólidos e recursos hídricos, assim com padrões de consumo sustentáveis. Portanto, agregam em projetos de engenharia que atendam a ODS 6, ODS 11 e ODS 12 (International Geosynthetic Society, 2021; Nações Unidas Brasil, 2015).

3.2 Barreiras para disposição de resíduos sólidos

As barreiras geossintéticas poliméricas (GBR-P), ou geomembranas, e as barreiras geossintéticas argilosas (GBR-C), também denominadas de forros geossintéticos argilosos, são produtos geotécnicos e ambientais de suma relevância para a disposição de resíduos sólidos como barreira de baixa permeabilidade (ABNT NBR ISO 10318-1, 2021).

É um consenso que a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é uma temática complexa devido ao crescimento exponencial da população nas últimas décadas e os atuais padrões de consumo e consequente geração de RSU. Em 2022, estima-se que o país gerou 380kg/hab/ano, com destaque para a região Sudeste pelo quantitativo de 449kg/hab/ano (ABREMA, 2023). Ademais, ainda é realidade no país a disposição de RSU em lixões e aterros controlados, cuja realidade agrava inúmeras situações de saúde pública, contaminações ambientais e impactos na biodiversidade (Fbrer, 2021).

Portanto, o emprego de barreiras geossintéticas



se destaca como técnica sustentável e aderência ao desenvolvimento sustentável, pelo seu uso como barreira de proteção ambiental em aterros sanitários e de demais resíduos industriais, em substituição a camada de argilas. A referida alternativa reduz a extração deste recurso mineral, que demandariam camadas de até 2 metros após compactados, gastos energéticos e emissões de gases do efeito estufa (GEE) na mineração e transporte. Além disso, as barreiras geossintéticas apresentam facilidade de instalação, durabilidade e controle de qualidade rigoroso (Palmeira, 2018).

Quanto a emergentes projetos com viéses sustentáveis, a referida aplicação da engenharia com geossintéticos atende diretamente a ODS 12 e ODS 14, pois atuam diretamente na prevenção da contaminação do solo, água e demais mananciais hídricos pelos RSU e seus componentes lixiviados e gases gerados na disposição final e, portanto, promovem a gestão segura dos resíduos sólidos (International Geosynthetic Society, 2021; Nações Unidas Brasil, 2015).

3.3 Infraestrutura de muros reforçados

Os muros de solos reforçados com geossintéticos compreendem a aplicação de geogrelhas (GGR) e geotêxteis (GTX) com vistas a promover reforço e estabilização em muros com paramentos vertical ou quase vertical. Também, a estruturação de taludes íngremes (ABNT NBR 16920-1, 2021).

A incorporação de materiais geossintéticos nesta aplicação geotécnica tem ganhado notoriedade devido ao crescimento da população e a necessidade de inúmeras obras de infraestrutura urbana resilientes. Por exemplo, os geossintéticos de reforço viabilizam o uso do material natural existente no local, o que evita a necessidade de substituições de solos e seus impactos diretos e indiretos (Damians *et al.*, 2017; Palmeira, 2018).

Ademais, o emprego de geossintéticos viabiliza inúmeras conformações de contenções com reduzidos consumos de compostos cimentícios que, por Análise do Ciclo de Vida (ACV), desencadeiam maiores emissões de gases do efeito estufa (GEE) e de particulados finos na atmosfera (Scrivener; John; Gartner, 2018).

Neste contexto, a emergencial demanda por

práticas sustentáveis requer a mitigação da pegada de carbono e do emprego de recursos naturais não renováveis. Também, a conservação de recursos hídricos e vegetais para a captura de CO₂ inevitavelmente gerados, pauta recorrente em discussões mundiais, e reduções de processos erosivos progressivos em projetos seguros e duráveis pela engenharia com geossintéticos (Dabrowska; Kiersnowska; Trach, 2023; Dixon; Fowmes; Frost, 2017; Jones *et al.*, 2024; Touze, 2021).

Portanto, a engenharia com geossintéticos em infraestruturas de muros reforçados contribui em se atingir as ODS 11 e ODS 15, sejam pelo aumento da vida de serviço de projeto nos muros reforçados e reduções de recursos naturais e manutenções, reduzidos gastos de energia com baixo carbono e obras com menores custos e impactos sociais e ambientais em comparação a obras com infraestruturas convencionais (International Geosynthetic Society, 2021; Nações Unidas Brasil, 2015).

4. COMENTÁRIOS

A engenharia com geossintéticos apresenta amplo potencial para contribuir com o desenvolvimento sustentável, desde a redução dos impactos ambientais da construção até a mitigação das alterações climáticas. O avanço exponencial de projetos com geossintéticos, principalmente nas últimas três décadas, tem ocorrido por inúmeros fatores, tais como variabilidade de produtos, funções e aplicações, facilidade de instalação e transporte, aplicações em obras de cunho emergencial, custos competitivos, capacidade de substituir/reduzir o emprego de recursos naturais.

Todos os pontos supramencionados, bem como as discussões sumarizadas neste artigo, permitem reflexões sobre a expansão da engenharia com geossintéticos e difusão de suas inúmeras possibilidades.

A busca por projetos resilientes e com viéses sustentáveis, que contemplem processos para a remediação de impactos ambientais e melhorias da qualidade de vida a atual e futuras gerações, tem sido apontados como emergenciais e tangíveis a toda a população. Portanto, requer-se esforços conjuntos entre entidades, pesquisadores, fabricantes e projetistas na



difusão de tais possibilidades técnica e de seus inúmeros benefícios sociais, ambientais e econômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOSSINTÉTICOS. **Recomendação IGSBrasil 004**: Aplicação de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos. IGB Brasil, São Paulo, São Paulo, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16920-1: Muros e taludes em solos reforçados: Parte 1: Solos reforçados em aterros**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10318-1: Geossintéticos: Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. São Paulo: ABREMA, 2023.
- BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2020. 187 p.
- DABROWSKA, J.; KIERSNOWSKA, A.Z.Z.; TRACH, Y. Sustainability of geosynthetic-based solutions. *Environments*, v. 10, n. 64, 2023.
- DAMIANS, I.P.; BATHURST, R.J.; ADROGUER, E.G.; JOSA, A.; LLORET, A. Environmental assessment of earth retaining wall structures. *ICE Environmental Geotechnics*, v. 4, n. 6, p. 415-431, 2017.
- DIXON, N.; FOWMES, G.; FROST, M. Global challenges, geosynthetic solutions and counting carbon. *Geosynthetics International*, v. 24, n. 5, p. 451-464, 2017.
- FRENTE BRASIL DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS. **Atlas de Potencial Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, FBRER, 2021. 30 p.
- GUIMARAES, M.G.A.; URASHIMA, D.C. Holistic engineering with geosynthetics in the pursuit of sustainable development: The 2030 Agenda and indicators of sustainable cities and communities. *Environmental Forum of Alto Paulista*. v 19, n.r 4, 2023.
- GUIMARAES, M.G.A.; URASHIMA, D.C.; VIDAL, D.M. Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. *Geosynthetics International*, v. 21, n. 5, p. 310-320, 2014.
- INTERNATIONAL GEOSYNTHETICS SOCIETY. **Preparar o terreno para um futuro promissor. Como é que os geossintéticos servem a sociedade após meio século**. 2021. Disponível em: https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/uploads/2021/10/IGS_Ebook_Portuguese_V4.pdf. Acesso em: 03 agosto 2024.
- INTERNATIONAL GEOSYNTHETICS SOCIETY. **IGS Sustainability Calculator**. Disponível em: <https://www.geosyntheticssociety.org/sustainability/calculator/>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- JONES *et al.* Sustainable development: UK perspective on the role of geosynthetics. In: 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSYNTHETICS (12ICG). **Proceedings** [...]. IGS International, 2024, p. 135-160.
- KIFFLE, Z.B.; BHATIA, S.K.; LEBSTER, G.E. Dewatering of mine tailing slurries using geotextile tube: case histories. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, v. 9, 10p, 2023.
- KOERNER, G.R.; KOERNER, J.R.; KOERNER, G. R. Relative sustainability (ie, Embodied Carbon) calculations with respect to applications using traditional materials versus geosynthetics. *Geosynthetic Institute*, 2019.
- LAWSON, C.R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. *Geosynthetics International*, v. 15, p. 384-427, 2008.
- MÜLLER, M. *et al.* Comparativo de desaguamento em ensaio piloto entre bolsas geotêxteis com e sem drenagem vertical. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 45, p. 1721-1731, 2023.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 15 setembro 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimentosustentavel>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- PALMEIRA, E.M. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. 294 p.
- SCRIVENER, K.L.; JOHN, V.M.; GARTNER, E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, v. 114, pp. 2-26, 2018.
- SHUKLA, S.K. Geosynthetics and Ground Engineering: Sustainability Considerations. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, v. 7, n. 17, 2021.
- TOUZE, Nathalie. Healing the world: A geosynthetics solution. *Geosynthetics International*, v. 28, n. 1, p. 1-31, 2021.
- URASHIMA, D.C.; FARIA, A.P.M.; GUIMARÃES, M.G.A.; URASHIMA, B.M.C.; MÜLLER, M. Sistema de confinamento de resíduos: estudo de caso lodo de ETA. In: 1º ENCONTRO NACIONAL DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA 2021). **Proceedings** [...]. ITA, UNESP, USP, 2021, p. 180-184.



DESAFIOS DA PAVIMENTAÇÃO NO ESTADO DO ACRE: APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS COMO REFORÇO DE SUBLEITO EM SOLOS EXPANSIVOS

Victor Hugo Rodrigues Barbosa, Universidade Federal do Acre - UFAC, Rio Branco - AC, victorhrb@gmail.com

Lucas Assis de Souza, Universidade Federal do Acre - UFAC, Rio Branco - AC, lucas.assis@sou.ufac.br

Aila Roderick Pinto Ramos, Universidade Federal do Acre - UFAC, Rio Branco - AC, aila.ramos@sou.ufac.br

Simone Ribeiro Lopes, Universidade Federal do Acre - UFAC, Rio Branco - AC, simone.lopes@ufac.br

Palavras Chave: Pavimentação, Solo expansivo, Geogrelhas

1. INTRODUÇÃO

O sudoeste da Amazônia apresenta um desenvolvimento distinto das outras regiões do Brasil, devido às suas características geotécnicas únicas. Esses fatores criam desafios para obras de infraestrutura, como a presença de solos sedimentares finos, solos moles e expansivos, solos propensos à erosão, disponibilidade limitada de agregados pétreos, dentre outros fatores (Barbosa *et al.*, 2022).

No estado do Acre, a dosagem de frações nas proporções requeridas pelas curvas de Talbot - pela falta ou escassez dos agregados local, onera os custos de implantação e manutenção das vias, além de requerer soluções alternativas que possibilitem o aumento da resistência, rigidez, durabilidade, além de resultados satisfatórios quanto a deformabilidade e permeabilidade.

O uso de geossintéticos no reforço de solo está se tornando cada vez mais comum devido a crescente demanda por soluções eficazes em horizontes problemáticos (Silva; Sá, 2021). Nesse cenário, tais materiais são amplamente reconhecidos por melhorar o desempenho de estradas pavimentadas e não pavimentadas, especialmente quando construídas sobre subleitos de baixa capacidade de suporte (Al-Qadi *et al.*, 1994).

Pavimentos reforçados com geossintéticos podem suportar até três vezes mais cargas do que pavimentos convencionais, além de permitir uma redução de até 50 % na espessura da camada de base necessária (Al-Qadi *et al.*, 1994).

Este trabalho visa discutir a utilização de geogrelhas na restauração e reforço de pavimentos flexíveis, a fim de mitigar as manifestações patológicas oriundas da expansão por umidade, observadas em um condomínio residencial privado horizontal de alto padrão na cidade de Rio Branco-AC.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área investigada

No estado do Acre, na região de Rio Branco há abundância de solos finos sedimentares que apresentam desafios técnicos para o uso como material de suporte ou empréstimo em pavimentação. Argissolos e latossolos são predominantes, com latossolos adequados para empréstimo, mas a presença de solos plásticos e expansivos, como a “tabatinga” (termo regional para um solo silto-argiloso comum no Acre), cria dificuldades devido à sua suscetibilidade à umidade (Barbosa *et al.*, 2022).

O empreendimento investigado é circundado por afluentes do Rio Acre e como é típico dos ciclos sazonais locais, apresentam picos de cheias e vazantes significativas com esvaziamento rápido, o que pode afetar terrenos adjacentes, seja pela influência na variação do lençol freático e/ou por originar erosões.

Após a conclusão dos serviços de revestimento asfáltico do condomínio e antes do início da construção das unidades habitacionais, verificou-se que parte das vias apresentava manifestações patológicas compatíveis com aquelas observadas em expansão por umidade, para as quais fez-se necessário, uma intervenção com vista a restauração do sistema viário comprometido.

2.2 Programa experimental

Para o reconhecimento geotécnico do terreno natural foram realizados 16 furos de sondagem à percussão à profundidade de 15 m, além de 11 furos a trado para retirada de amostras deformadas. Foram realizados os ensaios de Granulometria, Limites de Liquidez e Plasticidade, Índices de Consistência e ISC com determinação da Expansão.



Foram realizados também ensaios triaxiais com carregamento dinâmico para a determinação dos módulos resilientes, além de testes de campo não destrutivos com o uso do DCP (Cone de Penetração Dinâmica) e LWD (Deflectômetro de Peso leve).

A sondagem revelou o perfil do solo, enquanto as medidas de umidade e densidade *in situ* forneceram dados sobre a compactação e umidade. A granulometria determinou a distribuição do tamanho das partículas, e os ensaios de LL e IP definiram as propriedades de plasticidade do solo.

Os ensaios de CBR e expansão avaliaram a capacidade de suporte e o potencial de expansão do solo. O critério para a seleção das regiões de coleta foi a ocorrência no entorno de defeitos em construções associados à expansividade do solo, coletando-se amostras deformadas e indeformadas para os ensaios de caracterização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Levantamento de Defeitos

Na região é comum a utilização de pavimentos com revestimento em concreto asfáltico e base em solo-agregado, graças às características mecânicas satisfatórias dos solos lateríticos locais.

Segundo Lopes (2020), as principais causas das degradações dos pavimentos flexíveis estão relacionadas a fatores como a intensidade do tráfego, as ações climáticas, as deficiências dos materiais empregados, as deficiências de projetos ou a qualidade de execução.

Embora seja esperado a degradação do pavimento com o tempo, registros apontam que as primeiras manifestações patológicas surgiram em 2016, pouco após a conclusão do serviço, levando-o à paralisação. Em meados de 2018, os trabalhos foram retomados com um novo projeto que previa o uso de blocos intertravados e o emprego de solos lateríticos, sendo utilizada na camada base uma mistura solo-brita (70 - 30 %).

A Figura 1 apresenta as manifestações patológicas observadas no pavimento do condomínio antes da aplicação do reforço. Trata-se de um padrão uniforme de trincamento longitudinal ao longo da seção da pista e posterior deformação permanente na trilha de roda, incluindo áreas não relacionadas ao tráfego.



Figura 1. Manifestações patológicas observadas

3.2 Expansão e CBR

Observou-se a ocorrência de solos expansivos em praticamente todo o substrato trabalhável do empreendimento, conforme registros da investigação do subsolo.

O Gráfico 1 apresenta os valores de CBR e expansão por umidade para o terreno natural.

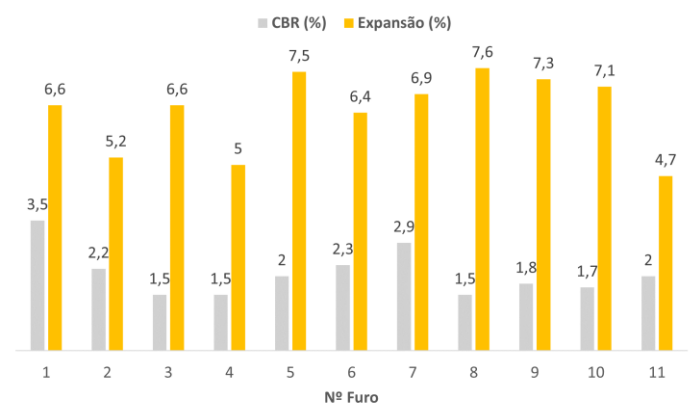


Gráfico 1. CBR e Expansão do subleito.

Os ensaios de expansão de solo apresentaram valores entre 4,7 % e 7,6 %, muito acima do limite de 1 % estabelecido pela ABNT NBR 9895:2017 e do limite de 2,0 % estipulado pelo Manual de Pavimentação do IPR/DNIT (2006). Essa alta expansibilidade é preocupante, pois a maioria dos solos em outras regiões do Brasil tem valores de expansão significativamente menores.



3.3 Caracterização dos Materiais de Empréstimo

A jazida, localizada a 39 km do empreendimento, foi explorada considerando dois tipos de solos: um mais superficial, composto por material fino, e outro, mais profundo, rico em pedregulhos.

O horizonte superficial da jazida apresentou um excesso de material fino, que, de acordo com a faixa B da norma DNIT 98/2007, não poderia ser utilizado em camadas de base sem a adição de agregados. Além disso, esse solo apresentou baixos valores de CBR e limite de liquidez, atendendo apenas aos critérios de expansão e índice de plasticidade.

Em contrapartida, o horizonte pedregulhoso se mostrou bem graduado atendendo aos limites da mesma norma para bases com solos lateríticos sem necessidade de adição de areia ou brita. Esse material também cumpriu os requisitos relacionados ao CBR com energia modificada, expansão, LL e LP.

Para estabilizar o solo fino, foi empregada uma mistura composta por 35 % de solo fino, 35 % de cascalho e 30 % de pedrisco. Ensaios triaxiais realizados com essa mistura indicaram um aumento significativo no módulo de resiliência, atingindo um valor médio de 871 MPa quando compactado na umidade ótima e com energia modificada.

3.4 Reforço com Geogrelhas

Para reforçar o pavimento e controlar as tensões de tração causadas pela variação de umidade no subleito, foram utilizadas Geogrelhas bidirecionais com resistência à tração de 65 kN, aplicadas em áreas críticas com alta deflexão, materiais de qualidade inferior e vias com maior tráfego. O controle da expansão e compressão do subleito foi um fator crucial para o desempenho do pavimento, proporcionado pela aplicação dos geossintéticos em pontos estratégicos onde o risco de tensões de tração era maior.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha de geogrelhas para o reforço e restauração do pavimento do empreendimento está relacionada a possibilidade de operar em áreas com camadas heterogêneas já executadas, sem a necessidade de sua completa remoção e substituição. Além da melhoria na distribuição dos

esforços em materiais de suporte de menor qualidade, uma vez que, o efeito de confinamento que aumenta a eficiência na compactação das camadas superiores, o auxílio na mitigação dos elevados esforços de tração (causados pela expansão do subleito) e o prolongamento da vida útil da estrutura.

Para assegurar maior estabilidade ao material, além de combater possíveis efeitos da plasticidade, bem como reduzir as deflexões foi utilizada uma mistura destinada ao uso nas camadas de base, composta por 35 % de solo fino laterítico, 35 % de solo pedregulhoso e 30 % de pedrisco. Essa combinação visou aumentar a estabilidade do material, mitigar os efeitos da plasticidade, reduzir deflexões e minimizar os riscos associados ao uso de materiais inadequados na camada mais solicitada do pavimento.

A composição de uma técnica convencional com o uso do material geossintético, se dá principalmente pela necessidade de equilibrar o orçamento, aplicando as geogrelhas apenas nas áreas com níveis de deflexão excessivos ou com materiais de qualidade inferior, e regiões sujeitas a maiores estados de tensão devido ao tráfego mais intenso.

Após a aplicação do geossintético foi executada a primeira camada de reforço sobre o subleito estabilizado, como mostra a Figura 2.



Barbosa (2022)

Figura 2. Aplicação de Geogrelha bidirecional após a camada de Reforço do subleito.

Para a estabilização referente a restauração e reforço do pavimento do empreendimento foram aplicados 5.148,95 m³ de laterita; 977,96 m³ de rachão e 6.407,21 m² de Geogrelhas.



Foi possível constatar que os materiais e as composições adotadas para o desenvolvimento das camadas estruturantes do pavimento, atendem às prescrições normativas, portanto, estima-se que tenha uma vida útil superior a vida útil de projeto, além de níveis defletoométricos e deformação permanente menores do que os especificados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Solos e Asfalto da Universidade Federal do Acre pelo apoio e disponibilidade, sem o qual o estudo não seria possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-QADI, Imad L. et al. Laboratory evaluation of geosynthetic-reinforced pavement sections. **Transportation Research Record**, [s. l.], n. 1439, p. 25–31, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459. Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180. Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181. Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182. Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7184. Solo - Determinação da densidade e da umidade do solo in situ - Método do frasco de areia**. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187. Sondagens de simples reconhecimento dos solos - Ensaio de penetração padrão (SPT)**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8045. Solo – Determinação da expansão de solos compactados**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15848-2. Ensaio de Penetração Dinâmica (DCP) - Parte 2: Método de ensaio para solos tropicais**. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16434. Ensaio de defletoimetria leve (LWD)**. Rio de Janeiro, 2015.
- BARBOSA, Victor Hugo Rodrigues et al. Avaliação do Potencial expansivo de solos da Formação Solimões no Estado do Acre para uso em Pavimentação. **Matéria**. Rio de Janeiro. v. 27, n. 2, 2022. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762022000200231&tIng=pt. Acesso em: 14 ago. 2024.
- BARBOSA, Victor Hugo Rodrigues. **Proposta De Avaliação De Suscetibilidade Para Solos Expansivos: Aplicações Em Obras De Infraestrutura Do Acre**. 2022. 198 f. Tese (Doutorado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2022.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes **DNIT-ES 098/2007 (2007) – Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico**. Brasil
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 131/94. Ensaio de compressão triaxial em solos**. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – IPR 719**. Manual de Pavimentação. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.
- LOPES, Simone Ribeiro; **Estudo das Propriedades Mecânicas e Reológicas de Misturas Asfálticas Mornas com Aditivos Químicos**. Rio de Janeiro, 2020. 165p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- PEDROSO, Gabriel Orquiza Mattiello; RAMOS, Gabriel; LINS DA SILVA, Jefferson. Evaluating geosynthetic base stabilization on lateritic gravel and granular material under cyclic moving wheel loads. **Case Studies in Construction Materials**. [s. l.]. v. 16, January 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00880>. Acesso em: 14 ago. 2024.
- SILVA, Beatriz Vieira; SÁ, Gisele Rodrigues De. **Análise do uso de geossintéticos para reforço de aterros**. In: PESQUISA E AÇÃO, v. 7, n. 1, p. 1–17, 2021, [s. l.]. ISSN 2317-3793.



GEOCÉLULAS: UMA ALTERNATIVA PARA ABERTURA DE VIAS DE FORMA RÁPIDA E COM AUMENTO DO SUPORTE DE CARGA

Gustavo Kenji Kamakura, Ober Geossintéticos, Nova Odessa, SP, gustavo.kamakura@ober.com.br

Samira T. S. Paranhos, Ober Geossintéticos, Nova Odessa, SP, samira.souza@ober.com.br

Silvio Luis Palma, Ober Geossintéticos, Nova Odessa, SP, silvio@ober.com.br

Palavras-Chave: Geocélulas, Estradas, Suporte de Carga

1. INTRODUÇÃO

Nos projetos de extração de gás e óleo, em sua maioria, surge a necessidade de se abrir estradas de acesso temporárias em busca de locais de exploração. Em alguns casos, o solo encontrado não possui boa capacidade de suporte de carga, o que gera transtornos para o seguimento da obra e, por vezes, chega a impossibilitar as operações, dada a necessidade da passagem de maquinários pesados para a construção de novos poços de exploração. Neste contexto, o uso de geocélulas para aumento da capacidade de suporte, aliado a facilidade executiva da solução, tem se mostrado uma ótima alternativa.

2. O PAPEL DAS GEOCÉLULAS

As geocélulas **FortCell** são estruturas tridimensionais em formato de “colmeias” produzidas a partir de tiras de geotêxtil não tecido de polipropileno termofixado ligadas entre si, tendo como função principal o confinamento de materiais.

Solos granulares têm sua resistência diretamente relacionada com o atrito entre as partículas e o imbricamento dos grãos. Ao comparar a mesma massa de um solo fofo com a de um compactado, verifica-se uma redução de volume alcançada pelo maior entrosamento dos grãos, o que aumenta o atrito e a resistência. O confinamento atua com os mesmos princípios, impedindo a expansão lateral e mantendo o imbricamento (LAVOIE, 2014). Nesse sentido, uma grande coesão aparente é exibida devido ao confinamento. Assim ocorre a melhora de comportamento do solo quando este está reforçado com geocélulas preenchidas de solo compactado.

A geocélula funciona como uma forma, que acondiciona o solo compactado, confinando-o e

criando consequentemente um sistema de reforço através da distribuição de cargas de forma mais efetiva. A superfície de ruptura que se desenvolveria devido a aplicação de carga em um solo sem reforço sofre a interferência das paredes desse geossintético, sendo necessário que o solo confinado supere o atrito com as paredes e puncione a camada inferior não confinada (KOERNER, 1994). A Figura 1 ilustra este mecanismo.

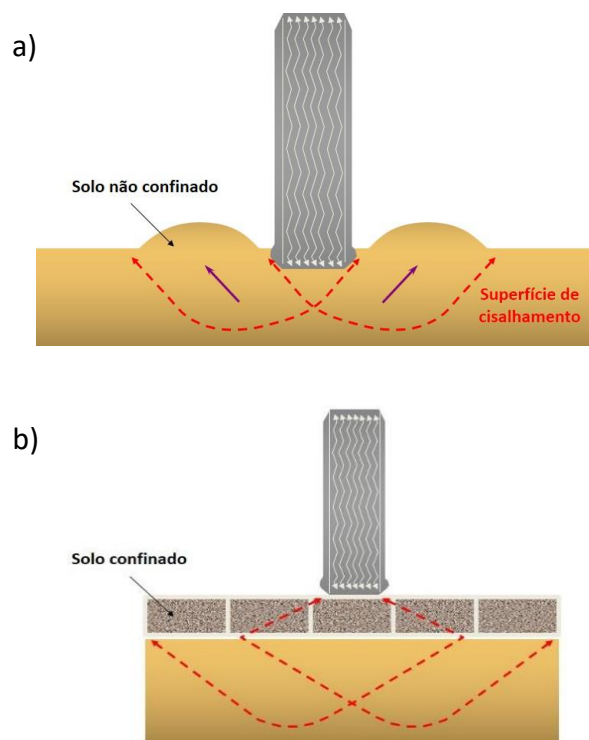


Figura 1. Comparação esquemática entre a distribuição de cargas no solo.

3. CASO DE OBRA

Em uma unidade da Petrobrás, no Amazonas, optou-se por utilizar as geocélulas da **OB** na construção de vias de acesso na bacia de Urucu, preenchidas com solo arenoso, de forma a solucionar o problema da falta de suporte de carga do solo da região.



O solo local apresentava baixa capacidade de suporte de carga e esta condição, aliada as altas precipitações que ocorrem durante o ano todo, tornavam os processos construtivos tradicionais inviáveis. A Figura 2 apresenta a aparência do solo local.



Figura 2. Aparência do solo local.

Para o projeto em questão, foram utilizadas geocélulas FC 06/20 e geotêxtil não-tecido **GeoFort GH10**, como meio de separação (Figura 3). As geocélulas apresentavam 15cm de altura e 20x20cm de abertura e o geotêxtil, gramatura de 200 g/cm².

O processo de instalação começou com a completa limpeza do solo-base, retirando-se raízes, galhos e objetos perfurantes para evitar avarias no geotêxtil a ser aplicado. Aplicado o geotêxtil, os painéis de geocélulas foram unidos com a ajuda de um grampeador pneumático (Figura 4), o que conferiu grande agilidade à obra. Depois de unidos, os painéis foram abertos e preenchidos com solo arenoso (Figura 5). A compactação foi feita com ajuda de um rolo vibratório liso.

Após o preenchimento, pode-se adotar como última etapa construtiva a execução de um revestimento flexível, podendo ser pavimento asfáltico ou pavimento com piso intertravado. Nos casos de estradas temporárias, o revestimento não se faz necessário.



Figura 3. Camada de geotêxtil aplicado como elemento de separação.



Figura 4. União dos painéis de geocélulas com grampeador pneumático.



Figura 5. Geocélula aplicada, sendo preenchida com solo arenoso.



4. CONCLUSÃO

Em projetos como esse, se o acesso não localizar nenhum poço de gás ou óleo, a pista deve ser inutilizada para retornar à sua condição natural. Dessa forma, a solução encontrada precisa ser de fácil e rápida execução, fornecer aumento do suporte de carga e permitir fácil desmonte. O uso das geocélulas, além de cumprir todos os requisitos, ainda torna viável o reaproveitamento do material de enchimento em novas construções. Isso faz da uma alternativa mais vantajosa, barata e rápida para esse tipo de aplicação frente às soluções convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LAVOIE, F. L. et al. Experiência na utilização de geocélulas de polipropileno em obras de engenharia. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 2015, Brasília.
- KOERNER, R. M. Designing with Geosynthetics, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 3rd Ed. 761p, 1994.



AVALIAÇÃO TÉCNICA DO RCC RECICLADO COMO MATERIAL DE ATERRO E DE PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA USINA DE PALMAS - TO

Kárita Christina Soares Kanaiama Alves, Instituto Federal do Tocantins, IFTO, Gurupi, TO, karita.alves@ifto.edu.br

Queila Barbosa do Nascimento, Instituto Federal do Tocantins, IFTO, Gurupi, TO, barbosaqueila71@gmail.com

Rannyere Rocha Alves, Instituto Federal do Tocantins, IFTO, Gurupi, TO, rannyere.alves@estudante.ifto.edu.br

Rodrigo Araújo Fortes, Instituto Federal do Tocantins, IFTO, Palmas, TO, rodrigofortes@ifto.edu.br

José Ademilson dos Santos Junior, Instituto Federal do Tocantins, IFTO, Palmas, TO, jose.santos@ifto.edu.br

Palavras-Chave: Agregado reciclado, Aterros, Pavimentação, Ensaios.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que consome muitos recursos naturais, como solos, rochas e água, nas suas diversas atividades. O setor também é um grande produtor de resíduos, como nas obras de construção, demolição, terraplanagem e pavimentação. Na construção civil os resíduos gerados são comumente conhecidos como RCC (resíduos da construção civil). Segundo o panorama da ABREMA (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 2023), no ano de 2022 o Brasil gerou cerca de 77 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos e 45 milhões de toneladas de RCC, que equivalem a cerca de 58 % do total.

Considerando os impactos ambientais promovidos pela construção civil, e a potencialidade de reciclagem e reuso do RCC, a Resolução n.º 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) traz orientações sobre a gestão desses resíduos. O documento separa o RCC em classes (A, B, C e D), sendo os da classe A oriundos de construção, demolição, reformas, reparos e de terraplanagem. Estes, especialmente, são indicados para reuso e reciclagem, na forma de agregados.

De acordo com a ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição), o RCC-R pode ser usado na pavimentação, na produção de concreto moldado *in-loco*, na confecção de artefatos, entre outras aplicações (ABRECON, 2019).

Logo, este trabalho teve como objetivo avaliar o RCC-R fino proveniente da Ambiental Usina, situada em Palmas - TO, com vistas à sua aplicação em obras de aterros e na pavimentação. Para

tanto, foi feita a sua caracterização, avaliação do seu comportamento mecânico e verificação do atendimento dos requisitos das respectivas normas técnicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material avaliado

Para mitigar os impactos ambientais causados pela geração de RCC na cidade de Palmas - TO, foi instalada uma usina de reciclagem no município. A Ambiental Usina recebe os RCC de classe A e B. Os RCC da classe A são classificados e britados, já a madeira é processada no picador, e outros resíduos são coletados por uma cooperativa de catadores. Os resíduos de classe A são separados inicialmente em fração fina e grossa, sendo que a fração grossa passa pelo processo de britagem. São produzidos dois tipos de RCC-R, que são comercializados para execução de camadas de aterro. Os materiais produzidos pela usina podem ser vistos na Figura 1. O RCC-R fino possui quantidade significativa de solo, já o RCC-R grosso apresenta-se como um agregado reciclado com predominância de partículas cerâmicas e cimentícias.



Figura 1. RCC-R produzido na usina de reciclagem.



2.2 Programa experimental

Foram coletados cerca de 200 kg de RCC-R fino, na Ambiental Usina. Os ensaios foram realizados nos laboratórios do *campus de Gurupi* e de Palmas, do IFTO. Para a caracterização e avaliação do comportamento mecânico do RCC-R foi realizado um programa experimental cujas normas e ensaios estão apresentados na Tabela 1. A caracterização do material foi feita a partir da determinação da granulometria (por

peneiramento e sedimentação, com defloculante e sem defloculante), da massa específica e dos índices de consistência. Já a avaliação do comportamento mecânico foi feita a partir dos ensaios de compactação, expansão e de ISC (Índice de Suporte Califórnia), nas energias Proctor normal e intermediária. Foram aplicadas as normas de solos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pois este RCC-R é composto predominantemente por grãos de solo, como mostrado na Figura 2.

Tabela 1. Normas e ensaios

Normas	Ensaio
NBR 6457 (ABNT, 2024)	Preparação de amostras para ensaios de caracterização e de compactação
NBR 6458 (ABNT, 2017)	Determinação da massa específica
NBR 7181 (ABNT, 2018)	Análise Granulométrica
NBR 6459 (ABNT, 2017)	Determinação do limite de liquidez
NBR 7180 (ABNT, 2016)	Determinação do limite de plasticidade
NBR 7182 (ABNT, 2020)	Ensaio de compactação
NBR 9895 (ABNT, 2017)	Ensaio de expansão e de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC)



Figura 2. Secagem do RCC-R ao ar.

Após a realização dos ensaios, o material foi avaliado de acordo com as normas DNIT 108/2009 – ES (DNIT, 2009) e NBR 15115 (ABNT, 2004), que apresentam os requisitos de material para execução de aterros e de agregados reciclados de resíduos de construção civil para aplicação na pavimentação, respectivamente.

De acordo com a norma DNIT 108/2009 – ES (DNIT, 2009) os materiais utilizados na execução de aterros devem ser isentos de matéria orgânica, micáceas e diatomáceas, não devendo apresentar turfas ou argilas orgânicas. Também devem enquadrar-se nas classificações de 1ª e 2ª categoria. Para o corpo do aterro, é necessário que o ISC seja maior ou igual a 2 % e a expansão seja menor que 4 %, ou o especificado em projeto. Para as camadas finais, a norma exige ISC maior do que 6 %.

Já em relação ao uso dos RCC-R na pavimentação, a NBR 15115 (ABNT, 2004) estabelece, entre

outros aspectos, que o material deve apresentar coeficiente de não uniformidade (C_u) maior do que 10, e a porcentagem que passa na peneira de abertura 0,42 mm deve estar entre 10 % e 40 %. Ainda, para seu uso nas camadas granulares de um pavimento, deve apresentar:

- Para reforço do subleito: $ISC \geq 12 \%$ e expansão $\leq 1 \%$;
- Para sub-base: $ISC \geq 20 \%$ e expansão $\leq 1 \%$;
- Para base: $ISC \geq 60 \%$ e expansão $\leq 1 \%$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaio de caracterização

O resíduo reciclado apresentou um teor de umidade natural de cerca de 2 %, na época da coleta (maio/2023), o que indica que a umidade precisa ser ajustada para a sua correta compactação em campo.

O ensaio de determinação da massa específica dos grãos resultou no valor de $2,888 \text{ g/cm}^3$, dentro da faixa esperada de valores para solos e agregados de construção civil.

Em relação à análise granulométrica, foram obtidas as curvas apresentadas na Figura 3. O RCC-R avaliado apresentou coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 e 3, e coeficiente de não uniformidade (C_u) maior do que 6. O material tem granulometria de uma areia bem graduada, com cerca de 70 % de



material nessa faixa, o que indica ser um material de boa drenagem.

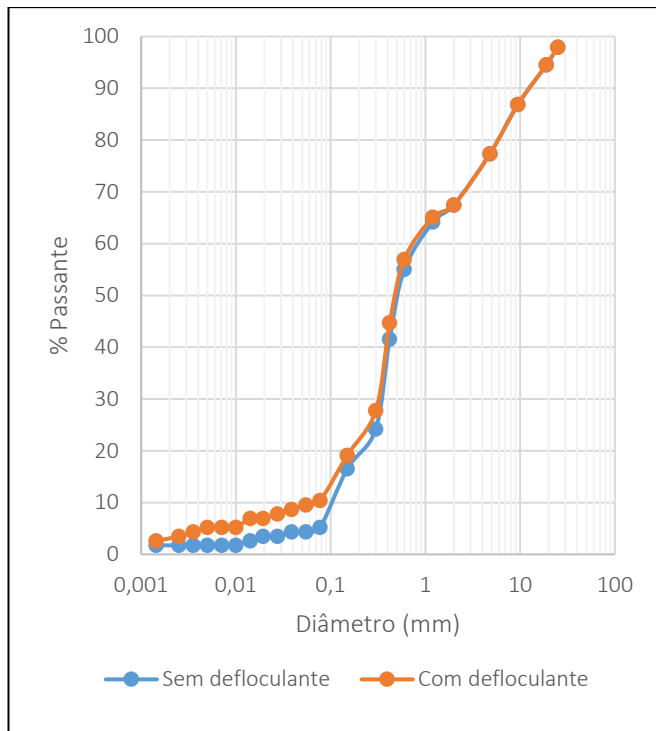


Figura 3. Curva granulométrica

Em relação aos requisitos de granulometria da NBR 15115 (ABNT, 2004), a análise resultou que o material não atende, pois apresentou entre 40 % e 50 % de material passante na peneira de número 0,42 mm.

Em relação à plasticidade, o material foi caracterizado como não plástico. O resíduo apresentou granulometria de areia bem graduada e, portanto, não foi possível moldar a amostra no aparelho de Casagrande, para determinação do limite de liquidez, tampouco reproduzir os cilindros para determinação do limite de plasticidade.

3.2 Compactação, expansão e ISC

O material foi compactado nas energias Proctor normal e intermediária, e posteriormente foram realizados os ensaios de expansão e ISC para análise dos parâmetros exigidos para aplicação em aterros e na pavimentação. As curvas de compactação do RCC-R em ambas as energias estão apresentadas na Figura 4.

A umidade ótima foi de 17,2 % e de 13,3 %, e a massa específica aparente seca máxima foi de 1,715 g/cm³ e 1,805 g/cm³, nas energias normal e intermediária, respectivamente. Como esperado, notou-se que com o aumento da energia da

compactação, o teor de umidade ótima diminuiu e a massa específica seca aumentou.

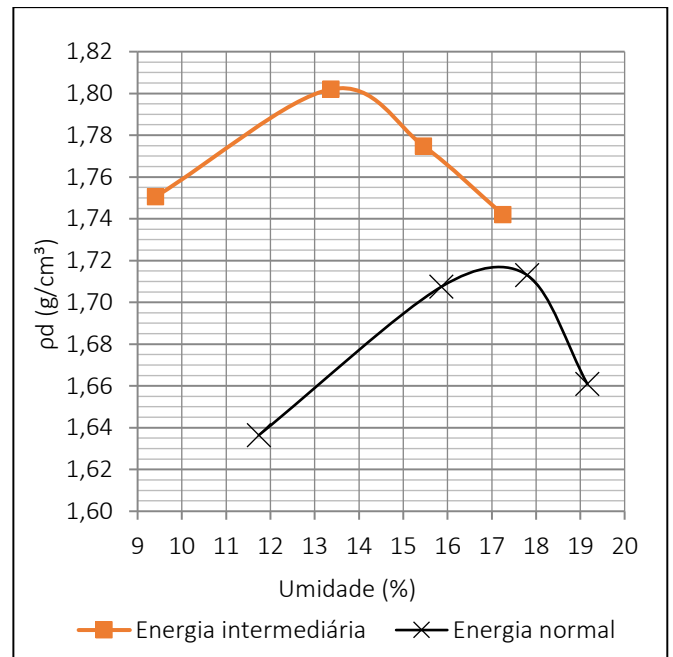


Figura 4. Curvas de compactação do RCC-R.

As curvas de compactação, expansão e ISC do material compactado nas energias normal e intermediária, estão apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Apesar de o RCC-R apresentar contaminações que são comuns neste tipo de resíduo, o material mostrou-se pouco expansivo, como mostrado nos resultados, sendo inferior a 1 % em todos os pontos.

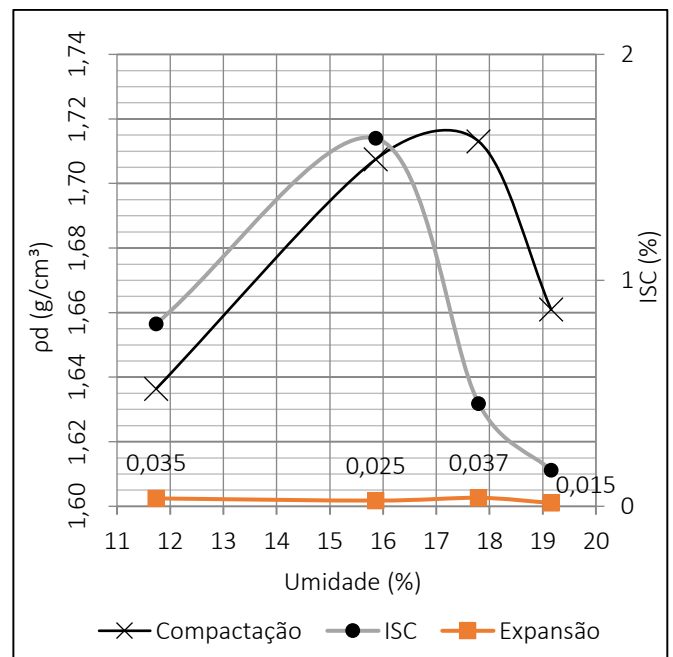


Figura 5. Compactação na energia normal, expansão e ISC.

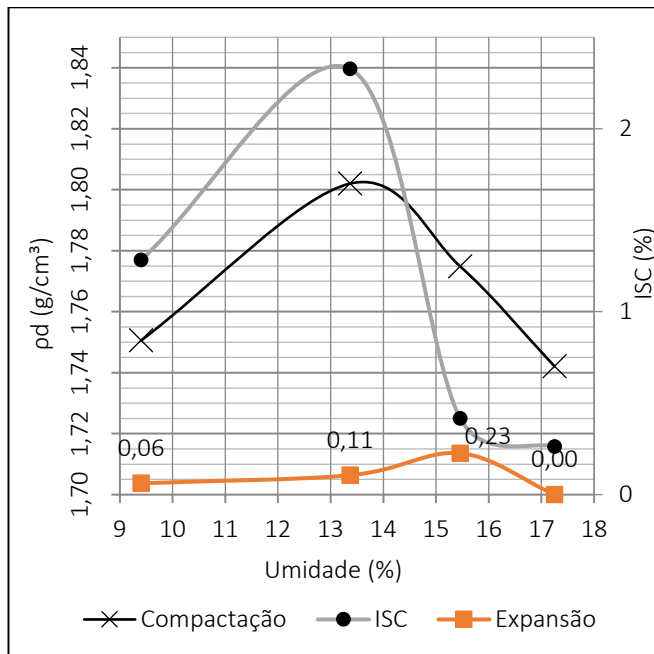


Figura 6. Compactação na energia intermediária, expansão e ISC.

Já em relação ao ISC, observa-se que atingiu o valor máximo de 1,63 % na energia normal e 2,35 % na energia intermediária. Os maiores valores foram apresentados pelos pontos de maior massa específica seca, e os valores dos pontos do ramo úmido foram inferiores aos do ramo seco.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem e o reuso de resíduos de construção civil são ações importantes e necessárias para a mitigação dos impactos da construção civil no meio ambiente. Os RCC-R são agregados reciclados provenientes do processo de britagem de resíduos da classe A, e podem ser utilizados, entre outras aplicações, nas obras de aterro e de pavimentação, desde que previamente avaliados à véspera de seu uso, devido a variabilidade da composição do resíduo na usina ao longo do ano.

O RCC-R avaliado neste estudo é comercializado na capital do Tocantins, Palmas, para obras de aterro. Para esta aplicação, de acordo com a norma DNIT 108/2009 – ES (DNIT, 2009), os resultados indicaram que este resíduo atendeu aos requisitos apenas para uso no corpo do aterro, devendo ser compactado na energia intermediária ou superior, não sendo indicado para camada final de aterro.

Já em relação ao uso desse material na pavimentação, observou-se que o RCC-R não atendeu aos critérios da NBR 15115 (ABNT, 2004),

tanto em relação à granulometria, quanto em relação ao ISC.

Sugere-se que este material seja avaliado em misturas com RCC-R grosso, ou ainda agregados naturais, ou aglomerantes, para verificar a possibilidade de atendimento dos critérios das referidas normas técnicas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Ambiental Usina de Palmas – TO pela cooperação nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade.** Rio de Janeiro, 2024.
- ABNT: _____. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT: _____. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT: _____. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT: _____. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT: _____. **NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 2020.
- ABNT: _____. **NBR 9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT: _____. **NBR 15.115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos de construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.
- ABRECON: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **MARE: Manual de Aplicação do Agregado Reciclado.** São Paulo, 2019.
- ABREMA: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2023.**
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 307,** de 5 de julho de 2002. CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.
- DNIT: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 108/2009 – ES: Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro, 2009.



PAVIMENTO RIGIDO RETICULADO TRACIONADO, CALCULADO DE FORMA DINÂMICA, PERMITINDO DESEMPENHO ESTRUTURAL EM SOLOS EXPANSIVOS

Norberto Germano Saraiva da Silva, Modelagem Engenharia - São Luís, MA, e-mail: nsaraivadasilva@gmail.com

Palavras Chave: Elementos Finitos; Cálculo Dinâmico; Reologia; Histerese; Solo expansivo

1. NOTAS GERAIS

A utilização de ferramentas de cálculo estrutural dinâmico e preferencialmente não linear permitem uma melhor compreensão das trajetórias de tensões devidas ao fluxo de veículos sobre o revestimento do pavimento rodoviário. O revestimento é a camada mais importante para garantir a vida útil da estrutura do pavimento, tanto em termos de fadiga como de deformações permanentes. Análises numéricas dinâmicas, com carregamento externo em forma de um pneu em movimento circular, acoplado ao eixo de carga de um veículo, em qualquer velocidade retilínea, induzem tensões de tração cíclicas dinâmicas, tanto na face inferior quanto superior do revestimento, sendo os valores máximos dados na face superior. Esta realidade de cálculo significa que o efeito da fadiga é muito mais uma função da capacidade do material constituinte da camada de cobertura do pavimento de resistir aos efeitos da repetição dos eixos de carga dos veículos sobre a superfície do pavimento rodoviário. Portanto, é necessário limitar a utilização de materiais desta camada a materiais capazes de garantir o desempenho estrutural sob esforços de tração e neste caso, também combater as tensões que venham a se manifestar devido à expansão da camada de solo, na qual a estrutura do pavimento se apoiará.

A garantia estrutural para que o revestimento do pavimento possa resistir aos efeitos da expansão do maciço de solo de fundação (solo expansivo), sem sofrer danos estruturais, pode ser dada por um reforço do concreto estrutural com lâminas e fibras sintéticas estruturais, as quais possuem elevada capacidade de resistir aos esforços de tração; desta forma evitam a propagação de trincas de tração devido às características de expansibilidade de maciços de solos expansivos, para o interior do revestimento do pavimento, objetivo deste resumo.

2. MODELO MATEMÁTICO DINÂMICO

2.1 Introdução

O modelo matemático utilizado tem por base, o método dos elementos finitos na análise das relações entre tensões-deformações usando o conceito de energia potencial, resíduo pesado ou métodos variacionais; a análise é no estado plano de deformações, admitindo-se a teoria das pequenas deformações e a carga externa é em movimento. Utiliza-se o conceito de histerese para o cálculo da fadiga e o critério de Mohr-Coulomb para a cedência plástica. É convencional que compressão é representada pelo sinal positivo e os símbolos $\langle \rangle$, $\{ \}$ e $[]$ significam respectivamente vetor linha, vetor coluna e matriz.

2.2 Equações do Método dos Elementos Finitos Aplicadas a uma Carga em Movimento sobre um Pavimento (Tráfego de Veículos)

A equação representativa do movimento dinâmico numa formulação pelo método dos elementos finitos, pode ser expressa da seguinte forma (DE SOUZA LIMA e SANTOS, 2008); (ZIENKIEWICZ, 1977):

$$\{F(t)\} = [K]\{a\} + [D]\{\dot{a}\} + [M]\{\ddot{a}\} \quad (1)$$

onde:

$\{F(t)\}$ é a força em função do tempo;

$[M]$ é a matriz massa do sistema;

$\{\ddot{a}\}$ é o vetor das acelerações nodais;

$[D]$ é a matriz dos coeficientes de amortecimento do sistema;

$\{\dot{a}\}$ é o vetor das velocidades nodais;

$[K]$ é a matriz de rigidez do sistema e

$\{a\}$ é o vetor dos deslocamentos nodais.



3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CÁLCULO NO DESENVOLVIMENTO DO PRT (PAVIMENTO RÍGIDO RETICULADO TRACIONADO)

Registrado no CONFEA-CREA na forma de direito autoral, sob o número 2.399 e publicado no DOU (Diário Oficial União), seção 3, página 241 em 17 de dezembro de 2018, atendendo a ABNT NBR 15.953; ABNT NBR 6118 e ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), esta alternativa em pavimento rígido, requer a inserção, na estrutura do Pavimento Rígido convencional, de um reforço estrutural em geossintéticos, na forma de lâminas soldadas denominados por geocélulas e fibras sintéticas designadas por macrofibras, as quais possibilitam que o novo arranjo estrutural, pelo aumento de rigidez, possa atingir vida útil bem superior ao que permite o Pavimento Rígido convencional e mais ainda que o Intertravado, também convencional (BALBO, 2009) e (IPR/DNIT – 714, 2005). As Figuras 1 a 4 ilustram a técnica e os elementos componentes.

Para avaliar este comportamento há necessidade de um embasamento científico conceitual e para tanto, é imprescindível a utilização de modernas ferramentas numéricas de cálculo que ajudem a melhor interpretar os efeitos causados por um eixo de carga em movimento circular, acoplado a um veículo em movimento retilíneo sobre um pavimento urbano ou rodoviário, ou seja, a integração da equação diferencial do equilíbrio dinâmico para conhecimento do campo de tensões e deformações dinâmicas necessários ao dimensionamento de forma correta e adequada ao nível de tráfego e desempenho da camada de subleito/fundação.

Para superar a forma estrutural de trabalhar apenas à compressão, e a necessidade do intertravamento realizado com elementos estruturais na forma de meios-fios confeccionados em concreto ao longo de toda a extensão da estrada, pode-se utilizar geossintéticos na forma de lâmina (shell element) soldadas entre si, que posteriormente preenchidas com concreto estrutural, de razoável a alta resistência mecânica, reforçado com macrofibras estruturais sintéticas, formarão figuras geométricas cúbicas com elevado desempenho estrutural. A presença destas

delgadas lâminas com espessuras em torno de 1,50 mm e alturas calculadas, em função do tráfego e capacidade de suporte da camada de apoio, assim como das macrofibras sintéticas com diâmetro da ordem de 0,50 mm e comprimento de 40 mm, induzirão por efeito membrana e axial, as características mecânicas necessárias para transformar o Pavimento Intertravado convencional em Pavimento Rígido Reticulado Tracionado (PRT), objetivo deste enfoque técnico. Pavimento rígido pelo fato de o revestimento ser em concreto de cimento Portland; reticulado pela inserção de reforços estruturais no formato geométrico de alvéolos, denominados “geocélulas” e tracionado pela elevada capacidade de trabalhar, à tração, deste reforços estruturais sintéticos (geocélulas e macrofibras sintéticas) inseridos na massa de concreto, aliviando a fragilidade do concreto quanto aos esforços induzidos à tração e, desta forma, aumentando o desempenho estrutural do compósito estrutural ou do revestimento desta alternativa de pavimento rígido fundado em solos expansivos.

Assim, adotados os conceitos descritos por BATHE (1982), D’ALEMBERT (1758), IDRISSE and SUN (1992), KRAMER and SEED (1988), MASHING (1926), STEVEN (2003), WÖHLER (1867) e ZIENKIEWICZ (1977) pode-se afirmar que:

- a) este arranjo estrutural requer que as lâminas sintéticas utilizadas exibam deformação específica estática máxima em torno de 1,50%, distorção de 1,00%, também estática, em operação e módulo elástico resiliente mínimo de 600 MPa assim como as macrofibras, também sintéticas, apresentem módulo elástico resiliente, mínimo de 10 GPa a fim de manter compatibilidade e harmonia estrutural com os módulos preenchidos com o concreto estrutural;
- b) este arranjo estrutural dispensa o uso de peças de confinamento estruturais designadas por meios-fios assim como barras de transferência de esforços cisalhantes;
- c) os módulos em concreto continuarão a trabalhar à compressão e cisalhamento e os sintéticos trabalharão à tração e as lâminas sintéticas, por efeito membrana, contribuirão ao cisalhamento. Este novo arranjo, será a nova alternativa estrutural do pavimento;



d) ou seja, presença dos sintéticos, induzindo reação, por efeito membrana e aumento da rigidez do novo arranjo estrutural, contribuirão para eliminar o principal problema das camadas de apoio da estrutura do pavimento ou as deformações permanentes, por eventual expansão do solo e efeito cíclico/harmônico;

e) será executada uma camada de recobrimento, com espessura, função do desempenho estrutural do subleito/fundação e do carregamento externo, na forma da repetição dos eixos de carga, acoplados a veículos em movimento retilíneo sobre a superfície do pavimento rodoviário; este recobrimento será em concreto estrutural reforçado com fibras estruturais sintéticas, onde serão executadas as juntas de dilatação, para alívio de tensões térmicas e acabamento da superfície superior, do pavimento urbano/rodoviário executado e acabado.

f) caso haja necessidade de transformar tal pavimento para além de estrutural, também drenante, basta que o concreto, que preenche as geocélulas, seja poroso e na camada de recobrimento, sejam executadas canaletas longitudinais de pouca largura, em torno de 3 cm e profundidade até atingir o concreto poroso nas geocélulas; preencher tais canaletas com material poroso para captação das águas pluviais incidentes na superfície do plano do revestimento.

4. VANTAGENS DO USO DESTA ALTERNATIVA DE PAVIMENTO

Citar-se-ão algumas destas vantagens:

- ✓ Mesmo custo inicial do pavimento intertravado convencional e em revestimento asfáltico;
- ✓ Facilidade e celeridade de execução com mão de obra local e o uso de equipamentos de concretagem convencionais; e
- ✓ O mais importante, vida útil mínima de 25 anos ou $N(USACE) > 5E+07$ como volume de tráfego mínimo (PINTO, 1991); PINTO RODRIGUES, 2008).

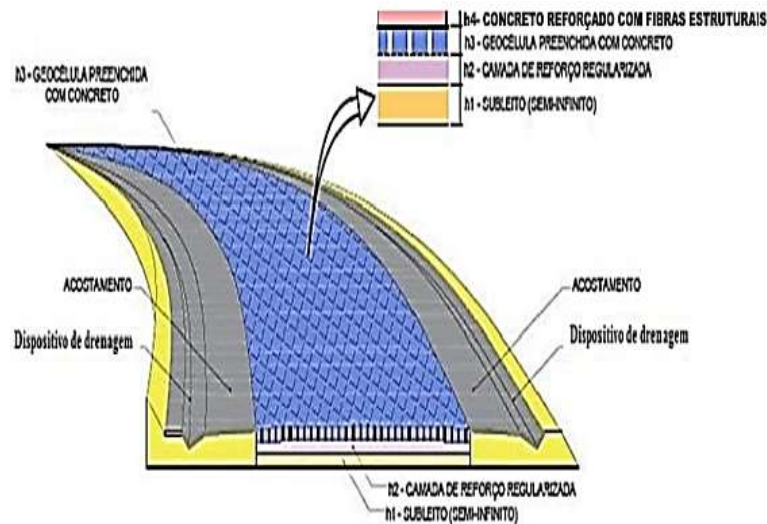


Figura 1. Vista e detalhe do pavimento com as respectivas camadas: h1=camada do subleito; h2=camada final de reforço; h3=geocélula preenchida com concreto e h4=recobrimento com concreto reforçado com fibras sintéticas).

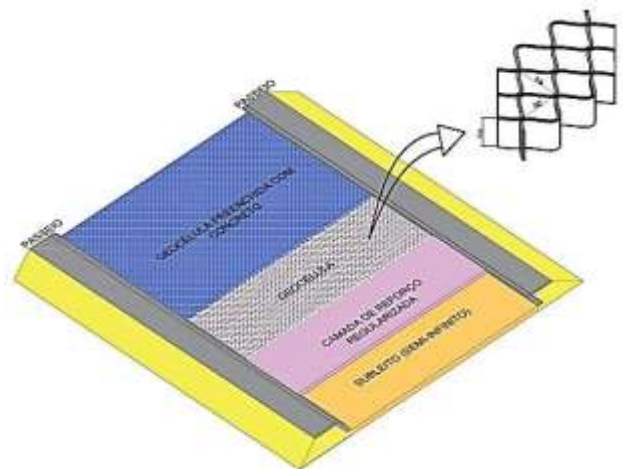


Figura 2. Vista do pavimento com detalhe da geocélula (projetada para fora do pano do pavimento).

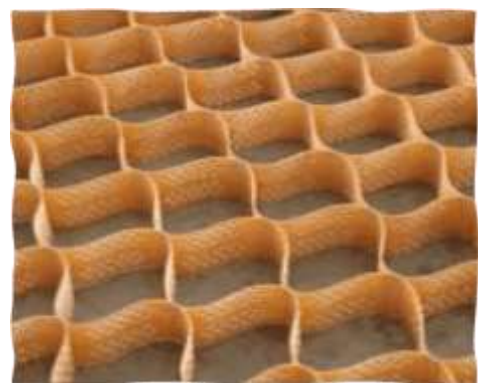


Figura 3. Geocélula.



Figura 4. MacroFibras.

STEVEN L Kramer (2003). Geotechnical earthquake engineering. Pearson Education.

WÖHLER, August (1867). Experiments on the strength of metals, Engineering vol. 4 pp160-161.

ZIENKIEWICZ, O. C. (1977). The finite element method. McGraw-Hill Book Company (UK). Third Edition. University of Sales, Swansea. McGraw-Hill (1977); 787 pages.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (2003), 256 páginas.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.953. Pavimento intertravado com peças de concreto — Execução (2011).
- BALBO, José Tadeu (2009). Pavimento de Concreto. Oficina de Texto, São Paulo, SP
- BATHE, K. J., 1982. Finite Element Procedures in Engineering Analysis. Prentice-Hall.
- D’ALEMBERT, Jean Le Rond (1758). Traité de dynamique.
- DE SOUZA LIMA, Sérgio e SANTOS, Sérgio H.C. (2008). Análise dinâmica das estruturas. Editora Ciência Moderna.
- IDRISS, I.M. and SUN, J., 1992, User's Manual for SHAKE91 A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits.
- KRAMER, S.L. and SEED, H.B. 1988. Initiation of Soil Liquefaction under Static Loading Conditions, ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 114, No. 4, pp.412-430.
- MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS. Publicação IPR/DNIT – 714. Ano 2005
- MASHING, G (1926). Eigenspannungen und verfertigung beim messing. Proceedings, 2nd International Congress on Applied Mechanics, Zurich.
- PINTO, S. (1991). Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PINTO, Salomão e RODRIGUES, Régis M. (2008). Revista Pavimentação. Ano III, pág. 44, dezembro.



GEOSSINTÉTICOS NA AMAZÔNIA: UMA SOLUÇÃO LOGÍSTICA PARA DESAFIOS GEOTÉCNICOS DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

Victoria Catarina Souza Lopes, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, SP, victoriacatarinalopes@gmail.com

Anthony Belo Vasconcelos Santos, Comissão de Aeroportos da Região Amazônica, COMARA, Belém, PA, anthonybe@outlook.com

Palavras Chave: Geossintéticos, Logística, Erosão, Aterro de conquista.

1. INTRODUÇÃO

A região amazônica, reconhecida por sua vasta biodiversidade e importância ambiental, apresenta um conjunto de desafios geotécnicos complexos que impactam diretamente o desenvolvimento de infraestrutura local. A extensa área, aliada a características singulares de clima e hidrografia, com altas temperaturas e intensas precipitações, além da ocorrência de solos com características heterogêneas, impõem obstáculos consideráveis à construção e manutenção de obras civis na região.

Para a Força Aérea Brasileira (FAB), a necessidade de operar em locais remotos e de difícil acesso exige a superação desses desafios, tanto em termos de logística de transporte de materiais quanto na viabilização de obras de engenharia civil em solos problemáticos. Diante desse cenário, o uso de geossintéticos, em conjunto com técnicas de lançamento aéreo, desponta como uma solução promissora. A literatura destaca as vantagens dos geossintéticos, como leveza, durabilidade e facilidade de instalação, que os tornam ideais para aplicação em solos problemáticos e em locais de difícil acesso. Este artigo explorará essa abordagem inovadora, demonstrando seu potencial para impulsionar o desenvolvimento de infraestrutura na Amazônia de forma a reduzir custos, prazos e impactos ambientais, garantindo a operacionalidade e a segurança das instalações da FAB na região.

2. DESAFIOS GEOTÉCNICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

A região amazônica é marcada por solos de comportamento desafiador, como os solos expansivos da Formação Solimões, ricos em argilominerais 2:1, que apresentam alta plasticidade e variação volumétrica em resposta às

mudanças de umidade (Barbosa et al., 2022). Esses solos, quando utilizados em pavimentos ou outras obras, podem causar trincas, deformações e até mesmo colapsos, comprometendo a integridade e a segurança das estruturas.

A FAB tem hoje, dentre as diversas obras de engenharia civil em andamento na região amazônica, algumas que se destacam pela complexidade conceitual e logística. Como exemplo pode-se citar a região de Estirão do Equador (AM).

Estirão do Equador é um distrito do município de Atalaia do Norte (AM), na fronteira com o Peru, que está inserido na área da Formação Solimões, já mencionada. A Figura 1 mostra um recorte da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, do Serviço Geológico do Brasil, de 2004. Em destaque, observa-se a região de Estirão do Equador.



Folha Juruá SB.19 da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Em vermelho, a região correspondente ao Estirão do Equador.

Figura 1. Recorte de carta geológica do estado do Amazonas. Fonte: CPRM Serviço Geológico do Brasil (adaptado pelos autores).

Na área em questão, o solo da via que liga o Porto ao Aeródromo é uma argila expansiva de alta



plasticidade, que dificulta (chegando a impossibilitar, muitas vezes) o acesso do equipamento, transportado da matriz via balsa, ao canteiro de obras. Haja vista a previsão de voltar à região para fazer reparos em uma erosão que avança na faixa de pista, a identificação de soluções eficazes e econômicas é interessante.

3. GEOSSINTÉTICOS

Segundo a NBR ISO 10318-1, de 2018, geossintético (GSY) é um termo genérico para um material em que pelo menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural, que se apresenta sob forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, sendo utilizado em contato com o solo ou com outros materiais, no contexto da engenharia geotécnica e civil. Tal produto pode desempenhar diversas funções, dentre as quais destacam-se reforço, separação, filtração, drenagem, proteção, barreira e controle de erosão superficial. A Figura 2 mostra a classificação dos geossintéticos em famílias de produtos.

A utilização de geossintéticos, como argumentado por Touze (2020) em "*Healing the World: A Geosynthetic Solution*", oferece uma série de

vantagens em relação aos materiais tradicionais na construção civil. Dentre tais vantagens, sua leveza, que reduz significativamente os custos de transporte e facilita o acesso a regiões remotas ou de difícil acesso, será amplamente explorada neste trabalho, por constituir fator crucial na logística de operações na região amazônica. Além disso, sua durabilidade, resistência a agentes químicos e biológicos, e facilidade de instalação garantem obras mais eficientes, econômicas e com menor impacto ambiental.

A Tabela 1 reúne dados físicos de produtos de três empresas de geossintéticos no Brasil: Huesker, OBER e Maccaferri, que foram utilizados como referência neste trabalho. Dos produtos tabelados, apenas a geocélula é vendida em pacotes de quatro peças; os demais, em bobinas individuais.

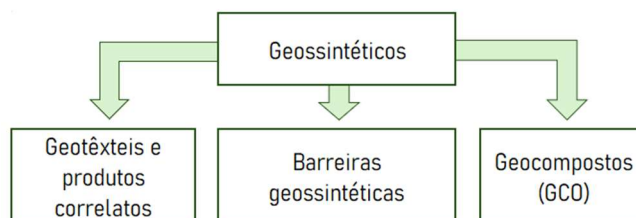


Figura 2. Classificação dos geossintéticos conforme a NBR ISO 10318-1. Fonte: autores.

Tabela 1. Dados físicos de alguns GSY disponíveis no mercado brasileiro.

Nome	Material	Comprimento (m)	Peso (kg)	Diâmetro (m)	Aplicação
Basetrac Woven	Geotêxtil tecido	5	100	0,3	Reforço de estrada de serviço/Aterro de conquista
Basetrac Woven	Geotêxtil tecido	5	300	0,5	
Geofort	Geotêxtil não tecido	2,3	30	0,4	Filtração/Separação/Proteção
Geofort	Geotêxtil não tecido	4,6	60	0,4	
Geofort	Geotêxtil não tecido	2,3	104	0,6	
Geofort	Geotêxtil não tecido	4,6	207	0,6	
FortCell	Geocélula (100% PP)	1,2	16	-	Reforço/Controle erosão
MacMat	Geomanta	2	40	0,68	Controle erosão



4. LANÇAMENTO AÉREO DE GEOSSINTÉTICOS: UMA SOLUÇÃO LOGÍSTICA

4.1 Container Delivery System (CDS)

As informações acerca do CDS foram fornecidas pelo Primeiro Esquadrão do Nono Grupo de Aviação (1º/9º GAv), o Esquadrão Arara. Cargas montadas segundo o método CDS são utilizadas atualmente pelas Forças Armadas em diversos contextos, a exemplo da ajuda humanitária. Para o funcionamento do método, é necessário o atendimento a certas condições de preparação, a saber: a carga a ser lançada deve ser capaz de ficar acondicionada sobre uma plataforma de madeira (deslizador) de dimensões 1,20m x 1,20m, sendo a área do deslizador maior do que a área da carga, cuja altura não deve ultrapassar 1,53m (incluindo a altura do paraquedas), e o peso do módulo deve estar entre 228kg e 1000kg, a depender do tipo e quantidade de paraquedas utilizados em cada carga. Em não dispondo de informação acerca do paraquedas, neste trabalho foi adotado um limite conservador de 650kg por CDS. A Figura 3 mostra o uso desse método na preparação para o lançamento de cargas na Terra Indígena Yanomami (TIY).



Cargas montadas no método CDS (equipamentos e paraquedas) para lançamento de cestas básicas em Surucucu (AP), em Terra Indígena Yanomami.

Figura 3. Módulos CDS prontos para lançamento.

Fonte: Exército Brasileiro.

Após os lançamentos, equipes de terra, coordenadas pelo Batalhão de Dobragem, Manutenção de Paraquedas e Suprimentos pelo Ar

(DOMPSA) prosseguem com o recolhimento dos paraquedas e envio, por aeronaves, do material de volta à respectiva base aérea, onde será feita a dobragem dos paraquedas para montagem de futuros CDS.

4.2 CDS e Geossintéticos

No cenário das obras de engenharia civil na região de Estirão do Equador, é necessário garantir que as bobinas de geotêxteis, geomanta ou pacotes de geocélula, respeitem o limite de 1,20m x 1,20m e altura de 1,53m. Como pode ser verificado na Tabela 1, nenhuma das opções em bobina atende o comprimento máximo de 1,20m, problema que pode ser contornado tanto pelo corte da bobina (por parte da empresa, quando viável) como pelo trabalho prévio de desenrolar a bobina em questão e enrolá-la novamente, observando a restrição de comprimento (por parte do efetivo da Organização Militar interessada na obra), considerando o que foi especificado como condição de dobra pelo projetista.

Outra limitação, referente ao contexto da OM interessada, está em quais aeronaves serão disponibilizadas para os fins desse lançamento. Em uma estima realista para o contexto da COMARA, a utilização de uma aeronave C-105 AMAZONAS tem a capacidade de lançar até 8 CDS em termos de volume, com o peso condicionado à disponibilidade para o trajeto desejado. Da Tabela 1, fica claro que o peso não é um fator limitante, uma vez que para que um CDS atinja um limite conservador de 650kg, são necessárias duas bobinas do geossintético mais pesado dentre as opções apresentadas, considerando que serão utilizados na íntegra (sem cortes para atendimento aos critérios de comprimento), totalizando 16 bobinas (maiores) de Basetrac Woven por aeronave. Segundo a empresa responsável, cada bobina desse geotêxtil tecido possui 1000m² de material, que significa, aproximadamente, 200m de extensão. Assim, um C-105 seria capaz de levar cerca de 3200m de geotêxtil tecido a ser aplicado como reforço de estrada de serviço, considerando o cenário conservador proposto.

Em termos de pacote de geocélula, produto tabelado mais leve, cada CDS poderia carregar cerca de 40 pacotes, totalizando 320 pacotes por aeronave. Segundo informações da empresa, esse pacote de 1,20m de comprimento por 35cm de



profundidade e 35cm de altura se expande quando instalado, ocupando uma área de 2,60m x 6,0m. Logo, uma aeronave C-105 AMAZONAS poderia transportar material suficiente para combater processos erosivos em uma área de quase 5000m² (com as considerações de limitação de peso adotadas).

Ademais, a força exercida sobre a carga na aeronave será apenas aquela de deslocamento desta sobre os roletes; enquanto a força exercida na abertura do paraquedas dependerá do tipo de paraquedas utilizado pelo DOMPSA, informação que não consta nos manuais da tripulação.

5. CONCLUSÕES

O emprego de geossintéticos como uma alternativa econômica na solução de problemas de engenharia civil e geotécnica é amplamente aceito. Em se tratando de obras da Força Aérea Brasileira na região amazônica, quase sempre de difícil acesso, esse uso torna-se ainda mais significativo. Este trabalho propôs-se a analisar a viabilidade de aplicação dessa solução, em termos logísticos. Para isso, foram utilizados dados fornecidos por empresas produtoras de geossintéticos no Brasil, com aplicação a um caso de obra da COMARA em andamento. Na medida em que se mostrou eficiente tanto em resolver questões logísticas como em atacar o problema cuja próxima missão ao local busca resolver, com previsão de redução de custos, maior agilidade e menor impacto ambiental, o estudo do lançamento de módulos CDS com geossintéticos revelou que essa alternativa não é apenas viável, mas também vantajosa.

A comprovação da eficácia da aplicação conjunta de geossintéticos e lançamento aéreo na região amazônica sugere um amplo potencial para a expansão dessa solução em diversas áreas e aplicações na região. O potencial de utilização dessa tecnologia em projetos de infraestrutura civil, como rodovias, pontes, barragens e sistemas de drenagem, é significativo, especialmente em regiões de difícil acesso e com solos problemáticos. Sugere-se, para futuros trabalhos, a ampliação da pesquisa para outras localidades da região amazônica, que demandam um estudo específico das suas particularidades geotécnicas e logísticas, resultando na investigação da

viabilidade de um transporte aéreo semelhante para outros tipos de geossintéticos. A continuidade dessa pesquisa e o desenvolvimento de novas aplicações para geossintéticos na região amazônica podem contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável da região, viabilizando a construção de infraestrutura de forma eficiente, econômica e com menor impacto ambiental. A colaboração entre a comunidade científica, empresas do setor e órgãos governamentais, como a FAB, é fundamental para impulsionar essa área de pesquisa e promover a inovação tecnológica em prol do desenvolvimento dessa região.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão às empresas OBER, Maccaferri e Huesker pela gentileza em fornecer os dados geométricos de seus produtos, contribuindo para a realização deste estudo. Agradecemos também à COMARA pelo apoio institucional e ao Primeiro Esquadrão do Nono Grupo de Aviação (1º/9º GAv), o Esquadrão Arara, pelas valiosas informações sobre o sistema CDS, fundamentais para a análise logística apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10318-1. Geossintéticos: Termos e Definições.** Rio de Janeiro, 2018.
- BARBOSA, V. H. R.; MARQUES, M. E. S.; GUIMARÃES, A. C. R., *et al.* Avaliação do Potencial expansivo de solos da Formação Solimões no Estado do Acre para uso em Pavimentação. **Revista Matéria.** Rio de Janeiro. V. 27, n. 2, dezembro de 2022. DOI 10.1590/S1517-707620220002.1373. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1373>. Acesso em: 19/08/2024.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Geologia, recursos minerais do estado do Amazonas. Escala 1:1.000.000. Brasília, DF, 2004. Disponível em <https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em 22/08/2024.
- TOUZE, N. Healing the world: a geosynthetics solution. **Geosynthetics International.** V. 28, n. 1, p. 1-31, fevereiro de 2021. DOI 10.1680/jgein.20.00023. Disponível em <https://doi.org.ez63.periodicos.capes.gov.br/10.1680/jgein.20.00023>. Acesso em: 21/08/2024.



APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS EMERGENCIAIS NA REGIÃO AMAZÔNICA: DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

Antonio Jose De Brito, Sansuy S.A. Industria de Plásticos, Embu das Artes, SP, tony@sansuy.com.br

Patricia Yoshimura, Sansuy S.A. Industria de Plásticos, Embu das Artes, SP, yoshimura@sansuy.com.br

Palavras Chave: Geossintéticos, Geomembranas, Emergenciais, Infraestrutura, Desafios Climáticos

1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica enfrenta desafios únicos em termos de infraestrutura devido às suas condições climáticas extremas, acesso limitado e a necessidade de preservação ambiental. As obras emergenciais, em particular, demandam soluções rápidas e eficazes para mitigar os impactos de desastres naturais e garantir a segurança das comunidades locais. Neste contexto, os geossintéticos emergem como uma tecnologia promissora, oferecendo diversas aplicações que podem melhorar a resiliência e a sustentabilidade das infraestruturas na região. Este trabalho tem como objetivo discutir os principais desafios enfrentados em obras emergenciais na Amazônia e apresentar soluções inovadoras através do uso de geossintéticos.

2. DESAFIOS

2.1 Condições climáticas extremas

A região Amazônica possui os climas Equatorial e Tropical onde é predominante o clima Equatorial com temperaturas e umidade quase todo o ano. A Amazônia é caracterizada por chuvas intensas e prolongadas com alto índice pluviométrico que, frequentemente geram instabilidade do solo e causam deslizamentos de terra e erosão. A instabilidade do solo representa um desafio significativo para a construção e manutenção de infraestruturas.

2.2 Acessibilidade logística

A dificuldade de acesso às regiões remotas da Amazônia pode atrasar a implementação de obras emergenciais. A acessibilidade logística de transporte de materiais e equipamentos é complexa e custosa, representando um grande desafio devido a combinação de fatores geográficos, ambientais e infraestruturais.

2.3 Sustentabilidade ambiental

A sustentabilidade ambiental na região amazônica é um grande desafio em virtude de uma combinação de fatores sociais, ecológicos, econômicos e políticos, por diversos motivos associados tal como o desmatamento para dar lugar às atividades econômicas de expansão agrícola, pecuária, mineração, construção de infraestrutura entre outras, que trazem impactos como a perda da biodiversidade, alterações do ciclo hidrológico e contribui para as mudanças climáticas. A preservação da biodiversidade e a minimização do impacto ambiental são cruciais na região Amazônica. As obras emergenciais devem ser planejadas de modo a respeitar o ecossistema local.

2.4 Limitações de infraestrutura

A região amazônica enfrenta diversas limitações de infraestrutura básica que impactam fortemente no seu desenvolvimento social e econômico, entre as quais pode-se citar Transporte, Energia, Saúde, Educação, Saneamento Básico e Comunicações. A falta de infraestrutura básica, principalmente estradas e pontes, dificulta a mobilização de recursos necessários para obras emergenciais.

2.5 Recursos humanos e capacitação

A questão de Recursos Humanos e Capacitação Profissional na região amazônica é complexa, refletindo os desafios e as oportunidades únicas dessa área. A escassez de profissionais qualificados na área de geossintéticos na região é um obstáculo que precisa ser superado através de programas de treinamento e capacitação.

3. SOLUÇÕES

3.1 Estabilização de taludes e encostas

A estabilização de taludes e encostas é uma prática essencial para prevenir deslizamentos de terra garantindo a estabilidade do solo em áreas



vulneráveis, especialmente em áreas sujeitas a chuvas intensas ou com solos instáveis. Os geossintéticos são materiais amplamente utilizados nessas aplicações devido às suas propriedades de reforço, drenagem e separação. A escolha do tipo de geossintético depende das condições específicas do local, incluindo o tipo de solo, a inclinação da encosta, as condições climáticas e os requisitos de engenharia. Em muitos casos, uma combinação de diferentes geossintéticos é utilizada para obter os melhores resultados na estabilização de taludes e encostas.

Abaixo estão os tipos de geossintéticos mais apropriados para essa finalidade e suas funções específicas:

a) Geomembranas:

Função: Atuam como barreiras de baixíssima permeabilidade.

Aplicação: São usadas para evitar a infiltração de água em encostas, reduzindo a saturação do solo e, conseqüentemente, o risco de deslizamentos.

b) Geocompostos:

Função: Combinam geotêxteis, georredes e geomembranas para facilitar a drenagem.

Aplicação: São instalados para drenar a água de encostas, reduzindo a pressão de poro e aumentando a estabilidade do solo.

c) Geotêxteis:

Função: Atuam principalmente como materiais de filtração, separação, reforço e drenagem (no caso de não tecidos).

Aplicação: São usados para reforçar o solo, melhorar a estabilidade e permitir a drenagem adequada da água, reduzindo a pressão hidrostática que pode levar a deslizamentos.

d) Geogrelhas:

Função: Fornecem reforço ao solo, aumentando sua capacidade de carga e resistência ao cisalhamento.

Aplicação: São instaladas em camadas dentro do solo para estabilizar encostas íngremes, distribuindo tensões e prevenindo movimentos de massa.

e) Geomantas:

Função: Controlam a erosão superficial e promovem o crescimento da vegetação.

Aplicação: São colocadas na superfície do solo para proteger contra a erosão causada pela chuva e vento, ajudando a estabilizar a camada superficial do solo.

f) Geocélulas:

Função: Criam uma estrutura tridimensional que confina o solo, aumentando sua estabilidade.

Aplicação: São usadas em encostas para estabilizar o solo e prevenir deslizamentos, especialmente em áreas com solos soltos ou arenosos.

3.2 Controle de erosão

A erosão é um processo natural que consiste no desgaste e remoção de solo e rochas pela ação de agentes como chuvas intensas, água, vento e gelo. No entanto, atividades humanas, como desmatamento, agricultura intensiva e urbanização, podem acelerar esse processo, levando a problemas ambientais e desastres significativos. Os geossintéticos podem ser aplicados para proteger margens de rios e encostas contra a erosão causada por chuvas intensas, preservando a integridade das infraestruturas e das comunidades ribeirinhas.

Abaixo, estão relacionados os problemas e desastres causados pela erosão e os tipos de geossintéticos apropriados para o controle de erosão:

- Perda de Solo Fértil: A erosão remove a camada superficial do solo, que é rica em nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Isso pode levar à diminuição da produtividade agrícola.
- Assoreamento de Corpos Hídricos: O solo erodido pode ser transportado para rios, lagos e reservatórios, causando assoreamento. Isso reduz a capacidade de armazenamento de água e pode afetar a vida aquática.
- Deslizamentos de Terra: Em áreas inclinadas, a erosão pode desestabilizar o solo, resultando em deslizamentos de terra que ameaçam vidas humanas e infraestrutura.
- Inundações: A erosão pode aumentar a sedimentação em rios, reduzindo sua capacidade de escoamento e aumentando o risco de inundações.



- Degradação de Habitats Naturais: A remoção do solo pode destruir habitats naturais, afetando a biodiversidade local.

A maioria dos geossintéticos mencionados neste artigo é composta por materiais que podem ser aplicados em obras de engenharia civil para melhorar o desempenho de solos e estruturas. No controle de erosão eles desempenham um papel crucial.

3.3 Construção de estradas e caminhos provisórios

Segundo Cardoso e Silva (2001), a quase totalidade dos problemas causados pela construção de estradas florestais relacionam-se a água e o solo segundo a literatura internacional. A maioria dos distúrbios deve sua ocorrência ao solo, tendo a erosão como principal consequência. A erosão ocorre pela supressão e retirada da vegetação, com desestruturação física do solo na área terraplenada, das características geomorfológicas do terreno e características técnicas da floresta. Vários outros fenômenos influenciam e impõem desafios aumentando o grau de dificuldades enfrentados na construção de estradas na região Amazônica.

Os geossintéticos podem ser aplicados de forma eficiente e segura para criar estradas e caminhos de acesso temporários e definitivos, facilitando o transporte de materiais e equipamentos para as áreas de difícil acesso e minimizando o impacto ambiental.

3.4 Reforço de estruturas

A utilização de geogrelhas e geocélulas em obras de infraestrutura, como fundações de pontes e estradas, é uma técnica eficaz para aumentar a durabilidade e resistência dessas estruturas, especialmente em regiões desafiadoras como a Amazônia. Aqui estão alguns pontos sobre como esses materiais podem ser eficazes e benéficos:

- Reforço do Solo: Geogrelhas e geocélulas são utilizadas para estabilizar o solo, distribuindo melhor as cargas e reduzindo a deformação. Isso é particularmente importante em solos moles ou instáveis, comuns na região amazônica.
- Durabilidade: Esses materiais são resistentes à degradação ambiental, o que é crucial em climas úmidos e com alta biodiversidade, como o da Amazônia. Eles

ajudam a prolongar a vida útil das estruturas.

- Facilidade de Instalação: Geogrelhas e geocélulas são relativamente fáceis de instalar, o que é uma vantagem em obras emergenciais onde o tempo é um fator crítico.
- Redução de Custos: Ao melhorar a eficiência do uso de materiais e reduzir a necessidade de manutenção frequente, esses sistemas podem resultar em economia de custos a longo prazo.
- Sustentabilidade: A utilização desses materiais pode minimizar a necessidade de extração de materiais locais, preservando o meio ambiente e reduzindo o impacto ecológico das obras.

Essas características fazem das geogrelhas e geocélulas uma escolha estratégica para projetos de infraestrutura na Amazônia, onde as condições ambientais e logísticas podem ser desafiadoras.

3.5 Drenagem e gestão de águas pluviais

Sistemas de drenagem com geotêxteis, georredes e geocompostos drenantes podem ser implementados para gerenciar eficientemente a água da chuva, evitando inundações e erosão.

A drenagem e gestão de águas pluviais na região amazônica são desafios significativos devido às características climáticas e geográficas da área, que incluem chuvas intensas e um terreno vasto e diversificado. Para abordar essas questões de forma emergencial, algumas medidas podem ser implementadas:

- Construção de Canais de Drenagem: A criação de canais de drenagem pode ajudar a desviar o excesso de água das áreas urbanas e rurais, reduzindo o risco de inundações. Esses canais devem ser projetados para suportar grandes volumes de água e direcioná-los para rios ou áreas de retenção.
- Sistemas de Retenção e Detenção: A instalação de bacias de retenção e detenção pode ajudar a controlar o fluxo de águas pluviais. As bacias de retenção armazenam a água temporariamente, liberando-a lentamente, enquanto as bacias de detenção são projetadas para



reter a água por períodos mais longos (AGOSTINHO e POLETO, 2012).

- Reforço de Infraestruturas Existentes: Melhorar e manter a infraestrutura de drenagem existente, como bueiros e galerias pluviais, é crucial para garantir que funcionem de forma eficaz durante eventos de chuva intensa.
- Uso de Soluções Baseadas na Natureza: Implementar soluções que imitam processos naturais, como a restauração de áreas úmidas e a criação de zonas de infiltração, pode ajudar a absorver e gerenciar o excesso de água de forma sustentável.

4. CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS

A aplicação de geossintéticos em obras emergenciais na região Amazônica representa uma abordagem inovadora e eficaz para enfrentar os desafios impostos pelas condições climáticas extremas, acessibilidade logística limitada e a necessidade de preservação ambiental, entre tantos outros desafios que o ambiente oferece. Este estudo destacou como os geossintéticos, através de suas diversas formas e funções, podem contribuir significativamente para a estabilização de taludes, controle de erosão, construção de estradas e reforço de estruturas, promovendo a resiliência e sustentabilidade das infraestruturas locais.

O avanço na capacitação de recursos humanos e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas às particularidades da Amazônia são fundamentais para maximizar os benefícios oriundos dos geossintéticos. Assim, este trabalho não apenas reforça a importância dos geossintéticos como uma solução viável para obras emergenciais, mas também abre caminho para novas oportunidades de pesquisa e inovação na região.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Sansuy S.A. Indústria de Plásticos pela importante colaboração por disponibilizar estudos, conhecimentos, material, imagens e sua longa experiência no campo de geossintéticos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MACHADO, C. C.; SILVA, E. Planejamento de estradas florestais ambientalmente corretas. Palestra apresentada no 5º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313702075_PLANEJAMENTO_DE ESTRADAS_FLORESTAIS_AMBIENTAMENTE_CORRETAS. Acesso em: 18 de agosto de 2024.
- AGOSTINHO, M.S. P.; POLETO, C. Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos. HOLOS Environment, v.12 n.2, 2012. Disponível em: SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: DISPOSITIVOS | Holos Environment (cea-unesp.org.br). Acesso em: 18 de agosto de 2024.



ESTUDO DO USO DE GEOMEMBRANA EM CEMITÉRIOS NA REGIÃO NORTE PARA PROTEÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBSUPERFICIAIS

Flávio da Silva Ornelas, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, Palmas-TO, flavioornelas@ifto.edu.br

Liliane Garcia da Silva, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, Palmas-TO, lilianegarcia@ifto.edu.br

Meriele Cristina Costa Rodrigues de Oliveira, ECOTINS, Palmas-TO

Palavras Chave: Geomembrana, Cemitério, Barreira de proteção

1. INTRODUÇÃO

A Região norte do Brasil é a maior das cinco regiões do Brasil em área e segundo o IBGE (2024), tem a menor densidade do território brasileiro. É a que possui menos municípios, com 450 (quatrocentos e cinquenta), parte deles com grandes áreas territoriais. A grande variedade de solos devido à grande extensão territorial, pode ocorrer facilmente e em muitos municípios como a região leste do Estado do Tocantins é verificado uma certa predominância de solos granulares e permeáveis, vulneráveis para contaminação de lençóis freáticos, mananciais e aquíferos. Lençóis freáticos próximos a superfície, ausência de solos finos impermeáveis e também alta precipitação anual, é algo muito comum no estado e em boa parte da Amazônia.

Com o crescimento da população e de cidades isoladas, a geotecnia encara os desafios de proteção de contaminações das águas subsuperficiais. Os principais elementos contaminantes são os chorumes de aterros sanitários, de tratamentos de esgoto e por último mas também muito importante os necrochorumes de cemitérios.

A decomposição de corpos pode liberar contaminantes no solo e na água subterrânea. Os líquidos são os necrochorumes que podem conter nutrientes, patógenos, metais pesados e outros contaminantes que podem impactar a qualidade da água subterrânea e do solo. A presença de necrochorume em cemitérios pode representar um risco significativo para o meio ambiente, especialmente em áreas onde o lençol freático está próximo da superfície.

A construção de cemitérios exige maior atenção de técnicos para estudos e exposição aos governos e sociedade, objetivando reduzir os impactos ambientais e preservar a saúde e qualidade de vida da população desta região. Os locais destinados aos cemitérios, geralmente estão em áreas de baixo valor econômico. Alguns cemitérios antigos não têm nenhum estudo sobre o tipo de solo e de águas subterrâneas. Com o crescimento das cidades, novos cemitérios são necessários, e sem os estudos de caracterização do solo e projetos ambientalmente amigáveis, podem gerar vários problemas relacionados a saúde pública e ao meio ambiente.

Os geossintéticos são materiais utilizados em projetos geotécnicos com várias funções, incluindo a proteção do lençol freático como é o caso das geomembranas, que são muito utilizadas para impermeabilizar aterros sanitários, evitando a infiltração de líquidos contaminantes no solo e lençol freático.

2. OS CONTAMINANTES

Uma construção que apresenta muitos riscos, exige cuidados técnicos e científicos com sua implantação e operação, assim deve ser considerado o cemitério. Alguns estudos em poços de monitoramento de águas subsuperficiais no Tocantins, indicam a provável contaminação por cemitérios e tem levado a várias preocupações da população. A partir de indícios de contaminações, o Ministério Público do Tocantins, atuou em alguns municípios para que fossem buscadas soluções, para evitar problemas de saúde pública. Alguns recortes de notícias podem ser observados na figura 1.



8 cidades são alvos de investigação sobre cemitérios, funerárias e saúde pública no Tocantins

Denúncias apontam abandono e falta de responsável por cemitérios.

Justiça proíbe novos enterros em cemitério de Paraíso do Tocantins que não possui licença ambiental

Decisão deu prazo de 10 dias para prefeitura transferir os enterros para outro local. Cemitério Bom Jesus estaria superlotado e sem licença desde 1972; sepultamentos serão retomados após licenciamento.

Por G1 Tocantins

Figura 1. Notícias de atuação para licenciamento ambiental de cemitérios. (AFnotícias 2019 e G1Tocantins 2019)

A infiltração das águas da chuva nos túmulos promove o transporte de muitos compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) para o solo, que, dependendo das características geológicas do terreno, podem alcançar o aquífero, contaminando-o. Para a minimização desse risco é indispensável o monitoramento da qualidade da água nessas áreas (KEMERICH & BORBA, 2013).

Os locais de operação impróprios para cemitérios urbanos podem provocar a contaminação de mananciais hídricos por microrganismos que se proliferam durante o processo de decomposição dos corpos. Caso ocorra a contaminação do aquífero freático na área interna do cemitério, não somente esta área estará potencialmente poluída, mas, sim, áreas arredores, aumentando, assim, o risco de ocorrências de doenças de veiculação hídrica nas pessoas que venham a utilizar desta água através de poços rasos. (KEMERICH ET AL., 2014)

Os Necrochorumes podem causar as seguintes contaminação por poluentes:

- Substâncias Químicas:** O necrochorume pode conter uma variedade de poluentes, incluindo nutrientes (como nitrogênio e fósforo), metais pesados e compostos orgânicos. Quando esse líquido atinge o lençol freático, pode alterar a composição química da água subterrânea, levando à contaminação.
- Patógenos:** O necrochorume pode também conter microrganismos patogênicos que, ao se infiltrar no solo, podem contaminar a água

subterrânea, representando riscos à saúde pública.

As possíveis alterações na qualidade da água são:

- Eutrofização:** O aumento de nutrientes na água subterrânea pode levar à eutrofização de corpos d'água próximos, resultando em proliferação de algas e diminuição da qualidade da água.
- Mudanças no pH:** A decomposição de matéria orgânica pode alterar o pH da água subterrânea, afetando a solubilidade de contaminantes e a disponibilidade de nutrientes.
- Transporte de Contaminantes:** A presença de necrochorume pode aumentar a mobilidade de contaminantes no solo, facilitando seu transporte para o lençol freático e aumentando a área afetada pela contaminação.
- Interação com Solos:** A contaminação pode afetar a interação entre os contaminantes e os materiais do solo, alterando a capacidade de retenção e filtragem do solo, o que pode intensificar a contaminação da água subterrânea.

Uma representação do esquema de contaminação do aquífero freático pelo necrochorume é apresentada na Figura 2.

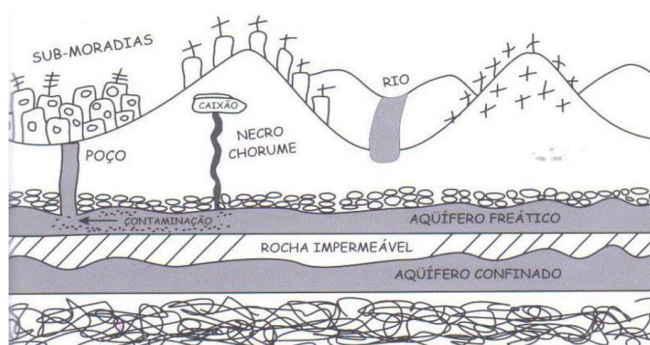


Figura 2. Esquema de contaminação do aquífero freático pelo necrochorume (KEMERICH ET AL., 2014)

3. GEOSSINTÉTICOS PARA PROTEÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS

A função impermeabilizante ou de barreira exercida por um geossintético, pode ser definida como a capacidade de prevenir ou bloquear a migração de fluidos, sejam eles líquidos ou gases, para fora ou para dentro de um determinado sistema ou obra (VILAR ET AL., 2015).



Habitualmente no Tocantins, é buscado solo argiloso de baixa permeabilidade para utilização como barreira de proteção. A argila compactada como uma barreira impermeabilizante, apresentava algumas dificuldades principalmente devido a carência da matéria prima e das chuvas intensas em grande parte do ano. A substituição por material artificial é a solução possível em muitos casos.

De acordo com Vilar et al. (2015), Barreiras impermeabilizantes são usadas na engenharia para as mais variadas finalidades, como por exemplo, impedir a migração de umidade e de vapores, reservar água e diferentes efluentes, e conter rejeitos das mais variadas origens, como os resíduos sólidos urbanos e industriais.

Tradicionalmente, essas barreiras têm sido construídas com os mais diferentes materiais, como solo compactado, concreto e asfalto e geomembranas impregnadas com diferentes substâncias. O advento dos geossintéticos introduziu novos materiais para a composição de barreiras impermeáveis, como as geomembranas (GM) e os geocompostos argilosos (mais conhecidos como GCL, acrônimo de seu nome em inglês: geosynthetic clay liner). Cada uma dessas opções apresenta vantagens e desvantagens, em função de uma série de requisitos exigidos em determinada aplicação: resistência e durabilidade frente às solicitações de natureza química, física e mecânica; disponibilidade do material; facilidade de construção e custo. Por exemplo, na possibilidade de recalques, solos compactados, relativamente rígidos, camadas de asfalto e placas de concreto podem trincar, facilitando o vazamento das substâncias contidas. Além disso, essas camadas possuem espessuras apreciáveis, ocupando volumes importantes que poderiam ser mais bem aproveitadas. (VILAR ET AL., 2015).

Com o desenvolvimento da tecnologia e surgimento de novas soluções, a partir da década de 80, iniciou-se o uso da geomembrana como substituição da argila, difundindo-se no Brasil apenas na década de 90. A terminologia "geomembrana" é definida pela NBR ISO 10318 (ABNT, 2021) como uma barreira geossintética polimérica de estrutura plana, industrialmente fabricada, constituída de materiais geossintéticos e que atua como barreira impermeabilizante. Tem

como sua principal matéria prima o PEAD (Polietileno de Alta Densidade) ou PEBDL (Polietileno de Baixa Densidade Linear), além da adição de negro de fumo, termo estabilizantes e antioxidantes. As Geomembranas de PEAD/PEBDL, tem demonstrado elevado desempenho quando utilizadas nos sistemas de proteção, atuando como impermeabilizante em decorrência de seu baixíssimo coeficiente de permeabilidade. (GEOSSINTEC, 2024).

Palmeira (2018), citou as principais vantagens das geomembranas em relação às soluções convencionais em obras de disposição de resíduos:

- o geossintético é um material de construção manufaturado e apresenta rigoroso controle de qualidade, o que lhe confere maior constância e confiabilidade nas propriedades e características gerais;
- facilidade na instalação, o que implica redução no tempo de execução da obra e nos custos;
- pequena espessura, acarretando redução de volume de disposição ocupado pelo sistema de barreira - o mesmo se aplica ao caso de sistemas drenantes com geossintético;
- a função de barreira com camada de argila compactada pode ser severamente comprometida caso apareçam trincas causadas por perda de umidade;
- baixíssimo coeficiente de permeabilidade;
- transporte mais fácil para regiões de difícil acesso;
- os sistemas de barreira com geomembranas podem aceitar consideráveis deformações;
- interessantes em regiões com escassez de materiais naturais apropriados ou em locais de difícil acesso;
- a tecnologia avança a cada dia, já se dispendo de características e funções diversas em um mesmo produto, tais como geomembranas que permitem a localização de vazamentos por meio de monitoramento remoto e geotêxteis com propriedades eletrocinéticas.



4. CONCLUSÕES

A importância do uso de geossintéticos do tipo Geomembrana na proteção do lençol freático em cemitérios é fundamental nos locais onde há falta de outros materiais disponíveis. Em muitas cidades da região Norte, pode ser a opção mais viável para proteger o meio ambiente e a saúde da população.

Existem muitas vantagens da utilização da geomembrana em relação a outros sistemas de barreiras.

Em termos de eficiência, a eficácia dos geossintéticos em comparação com métodos tradicionais de contenção e proteção ambiental, são duráveis, resistentes e efetivos. O custo-benefício do uso de geossintéticos em projetos de proteção ambiental deve ser avaliado principalmente nestes critérios de eficiência.

A contribuição dos geossintéticos em soluções para práticas de gestão ambiental sustentável em cemitérios, é fundamental na região norte do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LEITE, E. B. **Análise físico-química e bacteriológica da água de poços localizados próximo ao cemitério da comunidade de Santana, Ilha de Maré, Salvador-BA. Candombá** – Revista Virtual, v. 5, n. 2, p. 132-148, jul.-dez. 2009. Disponível em: <http://web.unijorge.edu.br/sites/candomba/pdf/artigos/2009/a3.pdf>

Associação Brasileira de Normas técnicas - ABNT NBR ISO 10318-1 DE 09/2021 - **Geossintéticos - Parte 1: Termos e definições**. 9 pg.

Nogueira, Cláudia & Júnior, José & Borges, Luís. (2013). **Cemitérios e seus impactos socioambientais no Brasil**. Periódico Eletrônico **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. 9. 10.17271/198008279112013681.

KEMERICH, P.D.C.; BORBA, W. F. (2013); **Cemitérios e os problemas ambientais: a dura realidade brasileira**. Revista **Conselho em Revista - CREA RS**, v. 10, p. 36-37.

Palmeira, E.M., (2018). **Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente**. Oficina de textos; São Paulo. 294p

Vilar, O. M.; Bueno, S.B.; Benvenuto C. (2015); **Manual Brasileiro de Geossintéticos** 2ª edição atualizada e ampliada; cap 6; Editora Blucher; ISBN 978-85-212-0926-3. Capítulo 14. 457-503; 570 pg



DESAFIOS DA ÁGUA DE PRECIPITAÇÕES EM ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO NORTE

Flávio da Silva Ornelas, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, Palmas-TO, flavioornelas@ifto.edu.br

Liliane Garcia da Silva, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, Palmas-TO, lilianegarcia@ifto.edu.br

Meriele Cristina Costa Rodrigues de Oliveira, ECOTINS, Palmas-TO, meriele.biologa@gmail.com

Palavras Chave: Aterros Sanitário, Camada de cobertura, Precipitação

1. INTRODUÇÃO

O excesso de chuvas representa um desafio significativo para a operação de aterros sanitários, exigindo planejamento e gestão adequados para mitigar os impactos ambientais e garantir a segurança da saúde pública. A geotecnia busca soluções para evitar a percolação da chuva para dentro do corpo destes aterros, e, medidas como sistemas de drenagem eficientes, monitoramento constante e tecnologias adequadas de tratamento de chorume são essenciais para lidar com esses problemas. Este artigo tem como objetivo apresentar os problemas causados pela percolação de precipitação em aterros sanitários localizados na região Norte do Brasil, bem como propor uma solução para mitigar essas dificuldades. A solução apresentada envolve o uso de materiais artificiais e leves, conhecidos como geossintéticos, como cobertura para evitar a entrada de água da chuva nos aterros. Os aterros sanitários da região Norte enfrentam desafios significativos devido ao alto índice pluviométrico característico dessa área.

Uma realidade da região norte do Brasil, é que a maioria são municípios pequenos com grandes áreas, população reduzida e baixa densidade demográfica, áreas rurais extensas, Ribeirinhos, presença de comunidades esporádicas e dispersas, aldeias indígenas, falta de recursos e ausência de cobrança/receitas pelos municípios. Estes motivos são um grande desafio para a implantação de aterros sanitários mesmo em consórcios de municípios e pouco atrativo para iniciativa privada.

A redução dos custos passivos dos sistemas de deposição dos resíduos, pode trazer uma viabilidade econômica, para mudar o cenário para

uma condição de preservação do meio ambiente adequada.

Distâncias das cidades de origem dos resíduos, áreas de preservação e proximidades com outras áreas habitadas, são outros problemas comuns da região, descritos por Guimarães (2023). Na Figura 1, é apresentado um protesto da população da cidade Marituba-PA, que recebia os resíduos da capital Belém.



Figura 1. Protesto da população de Marituba-PA. (PITANCO; 2019)

2. PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO NORTE

A região Norte do Brasil é caracterizada por um clima tropical chuvoso, com altos índices pluviométricos durante a maior parte do ano. A precipitação na região é influenciada por diversos fatores, como a proximidade com a linha do Equador, a presença da Floresta Amazônica e a atuação de sistemas atmosféricos.

De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (2024), A região Norte apresenta uma precipitação média anual elevada, variando entre 1.500 mm à 3.000 mm. Os estados com maior pluviosidade são o Amazonas e o Pará, com médias anuais acima de 2.000 mm

Eventos de mudanças climáticas também são muito influentes. Também os casos dos



fenômenos El Niño e La Niña que sazonalmente atuam na precipitação na região Norte. O El Niño tende a reduzir a quantidade de chuvas, enquanto o La Niña aumenta os índices pluviométricos.

As chuvas intensas podem causar muitos problemas, e especialmente nos aterros sanitários. As células ainda em processo de deposição de resíduos, podem receber grande volume de água por um determinado tempo, sem condição de receber a camada de cobertura de solo de baixa permeabilidade ainda. Uma camada com material artificial e provisória que possa impedir este, é fundamental.

3. CAMADAS DE COBERTURA DE ATERROS SANITÁRIOS E AUSÊNCIA DE MATERIAIS NATURAIS

As camadas de cobertura de aterros sanitários são construídas para impedir a saída de gases para a atmosfera e a entrada de líquidos no interior do aterro, minimizando os impactos no meio ambiente. O desempenho destas depende fundamentalmente dos materiais que as compõem e do processo de execução.

O excesso de entrada de água que percola para o corpo do aterro, promove a geração de maior quantidade de lixiviado, o que pode sufocar sistemas de drenagem e os sistemas de tratamento do lixiviado. Um fator que pode gerar preocupações, é o caso do sistema de drenagem não conseguir evitar uma elevação do nível de água, o que pode causar instabilidades do aterro.

Outro grande problema que ocorre em muitos municípios, é a ausência de solo com característica de baixa permeabilidade, que possa ser utilizado como camada de cobertura dos resíduos diariamente, celagem de topo de célula e no cobertura final. Na Figura 2. é apresentado a execução do cobertura diário dos resíduos sólidos urbanos, no aterro sanitário de Palmas-TO.



Figura 2. Cobertura diária de resíduos sólidos no aterro sanitário Palmas-TO. (PITANCO; 2019)

4. PROBLEMAS DA FACILIDADE DE ENTRADA DE ÁGUA

Aumento da Geração de Chorume

O chorume é um líquido resultante da decomposição de resíduos sólidos, que se torna mais volumoso com a infiltração de água da chuva. O aumento do volume de chorume pode sobrecarregar os sistemas de tratamento, dificultando o manejo adequado e aumentando o risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas

Com o excesso de chuvas, há um risco maior de o chorume ser carregado superficialmente, contaminando o solo e as fontes de água próximas. Isso pode levar à poluição de lençóis freáticos e rios, comprometendo a qualidade da água e a saúde pública.

Instabilidade Estrutural

As chuvas intensas podem causar erosão nas encostas dos aterros, levando à instabilidade do solo. Isso pode resultar em deslizamentos e comprometer a integridade estrutural do aterro, aumentando o risco de acidentes e vazamentos de chorume.

Dificuldade no Tratamento de Lixiviados

O tratamento de lixiviados se torna mais complexo em períodos de chuvas intensas, devido à variação na composição e no volume do chorume. A presença de água da chuva pode diluir o chorume, mas também pode introduzir novos contaminantes, dificultando a aplicação de tecnologias de tratamento adequadas.

Conforme informado pelo professor Jucá (2024), o tratamento de lixiviado é uma das partes de maior custo na operação de aterros sanitários. Portanto quanto maior este volume a ser tratado, maior o custo para os municípios.

Transbordamento e Inundações

Em casos de chuvas extremas, os sistemas de drenagem dos aterros podem não ser suficientes para lidar com o volume de água, resultando em transbordamentos. Isso não apenas afeta a operação do aterro, mas também pode causar a liberação de resíduos sólidos e chorume para áreas adjacentes.



Impactos na Saúde Pública

A contaminação do solo e da água pode levar a problemas de saúde pública, como doenças transmitidas pela água e contaminação de alimentos. A presença de substâncias tóxicas no chorume é uma preocupação significativa, especialmente em áreas onde a população depende de fontes de água próximas ao aterro.

Vazamentos de gases

Os poucos aterros sanitários da região norte, ainda tem dificuldades de implementação de coleta de gases e a camada de cobertura com alta permeabilidade, pode ainda, permitir o excesso de liberação destes para a atmosfera.

5. SOLUÇÕES

Para enfrentar esses desafios, uma solução promissora é a utilização de geossintéticos como cobertura dos aterros. Essa alternativa foi exposta por Jucá (2019), quando conhecido o problema do excesso de lixiviado no aterro sanitário de Belém.

Os geossintéticos são materiais artificiais, leves e duráveis, que podem ser aplicados sobre os resíduos para impedir a entrada de água da chuva.

Essa barreira eficiente evita a percolação e minimiza a geração de chorume, reduzindo significativamente os problemas associados. Além disso, os geossintéticos oferecem outras vantagens, como:

- Facilidade de instalação e baixo custo de manutenção
- Resistência a agentes químicos e biológicos
- Durabilidade a longo prazo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Picanco, A. (2019); disposição dos resíduos sólidos situação da região Norte do Brasil. Palestra introdutiva da 15ª Palestra Milton Vargas da ABMS – Palmas-TO.

Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (2024); Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>

Guimarães, J. P. (2023); **Belém: população vizinha ao aterro de Marituba clama pelo direito de respirar; disponível em:** [- Flexibilidade para se adaptar a diferentes configurações de aterro](https://brasil.mongabay.com/2023/11/belem-</p></div><div data-bbox=)

Ainda como desafios para gestão, a colocação e retirada rápida do geossintético de acordo com o tempo e a necessidade. A água precipitada deve ser imediatamente encaminhada para um sistema de drenagem que conduza para fora do aterro sanitário.

Uma estrutura metálica leve, que sustente o geotêxtil e que seja automatizada, mas também, que possa ser acionada manualmente é outro desafio.

6. CONCLUSÕES

Controlar a entrada de água, provenientes da alta precipitação, em aterros sanitários na região norte é um grande desafio e uma grande oportunidade para a geotecnia e os geossintéticos realizarem o desenvolvimento de técnicas para proteger a entrada de água e conduzir o excesso da precipitação para fora do corpo do aterro.

O uso de geossintéticos como cobertura de aterros sanitários na região Norte apresenta-se como uma solução viável e eficaz para enfrentar os desafios relacionados à percolação de precipitação. Essa tecnologia pode contribuir para a melhoria da gestão de resíduos sólidos, protegendo o meio ambiente e a saúde da população local.

O controle da entrada e conseqüente redução de percolado, reduz o volume de chorume para tratamento, pode ser viável economicamente, para os aterros sanitários da região norte e possivelmente, para outras regiões do Brasil.

[populacao-vizinha-ao-aterro-de-marituba-clama-pelo-direito-de-respirar/](https://www.youtube.com/watch?v=IAElz6voKX8)

Jucá, J.F.T.; (2019); **Geotecnia Ambiental aplicada a Aterros de Resíduos Sólidos**; 15ª Palestra Milton Vargas da ABMS – Palmas-TO

Jucá, J.F.T.; & Barbosa, M.C.; (2024); Solos não saturados no contexto da Geotecnia Ambiental. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=IAElz6voKX8>



GEOSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica

DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

27 a 28 de agosto de 2024



MELHORES PRÁTICAS NA REDUÇÃO DE GERAÇÃO DE CHORUME ATRAVÉS DO USO DE COBERTURAS SINTÉTICAS NA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS: ESTUDO DE CASO DO ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA/PA

Thiago Villas Bôas Zanon 1, Revita Engenharia, São Paulo, SP, tzanon@solvi.com

Ana Laura Cassini Souza Bernardinelli 2, AzulPack Techground, Barueri, SP, laura.cassini@techground.com.br

Palavras-Chave: Aterro Sanitário; Cobertura; Barreira de Fluxo; Filme Plástico; Geomembrana

1. INTRODUÇÃO

Um dos princípios conceituais básicos de funcionamento de aterros sanitários é a realização da cobertura contínua dos resíduos dispostos, de forma a evitar que os resíduos estejam expostos ao ambiente, permanecendo assim somente a frente de serviço descoberta - onde é realizada a descarga, espalhamento e compactação dos resíduos -, mas sempre buscando que a dimensão de tal frente tenha tamanho reduzido, porém suficiente para a realização das atividades necessárias.

A utilização da cobertura dos resíduos é importante por vários motivos, dentre eles: (i) minimizar a infiltração das águas pluviais e, com isso, minimizar a geração de chorume (também conhecido como percolado ou lixiviado); (ii) minimizar a emissão de odores que podem ser gerados a partir dos resíduos depositados no aterro; (iii) minimizar a fuga de metano do biogás do aterro, maximizando assim sua coleta pela rede de drenagem interna para sua posterior queima ou aproveitamento energético; (iv) criar condições mínimas de trafegabilidade sobre o maciço de resíduos, permitindo que os veículos com resíduos possam acessar o aterro e descarregar os resíduos; (v) controlar o acesso de vetores.

Para a realização da cobertura de aterros, tradicionalmente, são empregados solos, o material mais abundante e com menor custo frequentemente presente nos próprios locais onde os aterros são instalados. Concomitante com a disposição dos resíduos nos aterros é realizada a chamada cobertura diária com solo local usando uma espessura típica mínima de 30 cm. Em regiões que vão sendo cobertas e que voltam a ser operadas (como alteamento de camadas ou áreas de ampliação futuras do maciço de resíduos), mas

permanecem por um período razoável sem operação, aumenta-se ligeiramente a espessura da cobertura, formando a chamada cobertura temporária. À medida que se atinge gradualmente a geometria final do projeto do maciço de resíduos, é construída a chamada cobertura final nas faces finalizadas do aterro, usando-se uma espessura final típica mínima de 60 cm de solo local para construir tal cobertura. Diante da utilização de solo nas coberturas de aterros e considerando que ele permanece juntamente com a massa de resíduos, estima-se que os solos ocupam uma faixa de 10% a 20% do volume total do maciço, ou seja, utilizando-se um volume substancial da capacidade do maciço.

Com o advento dos geossintéticos e materiais poliméricos foram desenvolvidos e testados coberturas sintéticas que podem ter desempenho igual ou superior quando comparados às coberturas com solos, podendo também trazer diversos ganhos como: (i) redução da infiltração de águas pluviais na massa de resíduos e da geração de chorume, reduzindo custos operacionais e de pós-fechamento dos aterros; (ii) redução das emissões fugitivas de metano e aumento da vazão coletada de metano gerado; e (iii) redução do volume ocupado por solo no maciço, aumentando assim a capacidade de disposição de resíduos; (iv) redução nos custos de compra de solo em aterros sanitários nos quais não há disponibilidade de solo em jazidas internas em quantidade suficiente para realização da cobertura (ou seja, o balanço de solo é deficitário), situação que demanda a importação de solo de jazidas externas e resulta em custos significativos ao empreendimento; (v) em épocas chuvosas, onde há dificuldade da utilização de solo na realização da cobertura devido a sua elevada umidade, tais materiais permitem a realização da cobertura e evita assim atrasos na realização das



coberturas.

Um dos materiais sintéticos desenvolvidos e utilizados são os filmes poliméricos de PEBDL de baixa espessura (aproximadamente 100 micras), os quais podem ser empregados na cobertura diária e temporária dos resíduos, uma vez que: (i) possuem elevadas propriedades mecânicas, como resistência ao rasgo e ao puncionamento, considerando as condições usuais de campo em que são empregados; (ii) possuem dimensões significativas disponíveis, que podem atingir até 100 m de comprimento e 12 até 16 m de largura; (iii) possuem uma das faces brancas para facilitar a identificação visual; e (iv) são materiais leves, permitindo seu manuseio e instalação manual, sem a necessidade de emprego de equipamentos e uso de grande quantidade de colaboradores em campo. É importante destacar que uma parcela da cobertura diária e temporária dos aterros empregando solo pode ser substituída por filmes, já que é sempre necessária a existência de áreas utilizadas como pista de acessos e pátio de manobra para o tráfego de veículos que transportam resíduos, que necessitam que tais áreas seja utilizado solo para haver capacidade suporte para tal tráfego. Quando utilizados tais filmes e no local é retomado o preenchimento com resíduos, tais filmes não precisam ser retirados e podem permanecer no local, sendo recomendável a passagem do trator de esteiras com a lâmina frontal abaixada para rasgar o filme para que não permaneçam superfícies impermeáveis dentro do maciço de resíduos, e que poderiam dificultar e causar problemas do funcionamento da rede de drenagem de chorume e biogás do aterro.

Já para as coberturas temporárias ou finais tem-se aumentado o uso de geomembranas de polietileno (PE) de PEAD ou PEBDL, fabricadas conforme GRI-GM13 (GRI, 2021a) e GRI-GM17 (GRI, 2021b) respectivamente, que possuem adequada estabilidade química e a ataques dos raios ultra-violeta (UV). Para aplicação em cobertura de aterros, as geomembranas de PEBDL são mais vantajosas que as de PEAD, por aquelas possuírem maior flexibilidade (facilitando que as geomembranas se moldem às superfícies onde são instaladas) e não serem suscetíveis à fissuramento sob tensão (enquanto as

geomembrana de PEAD são suscetíveis). São produzidas com até 7 metros de largura e comprimento de acordo com projeto e possuem diferentes características de superfície podendo ser lisas, texturizadas em um dos lados ou nos dois lados, bicolores (preta/verde, preta/azul e preta/branca).

2. ESTUDO DE CASO - ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA/PA

O aterro sanitário da Guamá Tratamento de Resíduos, cuja operação foi iniciada em 2015, atualmente referência e um dos pioneiros na utilização de geomembranas de PE em coberturas, está localizado na região amazônica, numa das regiões mais chuvosas do país: com clima tropical (quente e úmido), a região é caracterizada por ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida, tendo precipitação anual média histórica de 3.308 mm/ano (INMET, 2024). O solo local de jazida interna do empreendimento é argiloso, um dos melhores tipos de solo para utilização para cobertura. Diante da elevada precipitação recorrente no local, iniciou-se o uso de geomembranas a partir de 2016, passando a maior parte da área do aterro ser coberta por geomembranas a partir de 2018. Como efeito, a partir de 2018 foram notados os seguintes comportamentos: (i) redução rápida e significativa na geração de chorume; (ii) redução significativa dos picos de vazão de geração de chorume durante e após os períodos chuvosos; (iii) A vazão anual de chorume gerado foi proporcional a precipitação anual (conforme esperado para um aterro sanitário que utiliza cobertura intensivamente com geomembrana), mesmo considerando que a área ocupada pelo maciço de resíduos tenha aumentado mais de 70% entre 2018 a 2023 (se o aterro estivesse coberto apenas com solo, a geração de chorume também seria proporcional a área ocupada, o que poderia levar, assim, ao aumento da geração de chorume proporcionalmente ao aumento da área ocupada) Desta forma, como esperado, o uso de geomembranas foi eficiente na redução da infiltração de águas pluviais e, por consequência, na geração de chorume. A Figura 1 ilustra uma vista aérea do aterro sanitário.



Figura 1. Vista aérea do aterro sanitário de Marituba, podendo-se visualizar que a maior parte do aterro está coberto com geomembranas de PE (cortesia: Guamá Tratamento de Resíduos).

Um dos desafios da utilização de geomembranas de PE, inclusive na cobertura de aterros, envolvem questões de instalação, como: (i) considerando que a região tem elevada e frequente precipitação, na qual a presença de umidade e o regime de chuvas ocorre por longos períodos contínuos ou mesmo diariamente, há presença de água sobre as superfícies, necessitando assim após ocorrência de precipitação aguardar a secagem naturalmente ou realizar a secagem manualmente, uma vez que as soldas de geomembranas de PE não devem ser realizadas com a presença de água na superfícies dos materiais a serem soldados, já que limitam o atingimento das temperaturas necessárias para realização da solda entre bobinas de geomembrana; (ii) durante o período de incidência das chuvas, as geomembranas não podem ser soldadas devido ao risco de choque elétrico dos profissionais que realizam a manipulação dos equipamentos de solda, bem como pode ocorrer a queima de tais equipamentos, reduzindo assim o período disponível para instalação da geomembrana; (iii) como o solo local do aterro sanitário de Marituba é argiloso, com a incidência das chuvas e a presença dos solos de cobertura como substrato da instalação da geomembrana, o solo impregna

na geomembrana, tornando-se uma impureza e impedindo uma adequada realização da solda, já que a geomembrana necessita estar limpa para que a solda seja realizada de forma adequada, tornando assim necessária a realização de limpeza manual.

Inicialmente no aterro sanitário era utilizada geomembrana lisa na cobertura, mas posteriormente iniciou-se o uso de geomembrana texturizada em ambos os lados que permite o tráfego de pessoas sobre a cobertura de forma mais segura (seja para os instaladores de geomembrana, seja para os colaboradores da operação do aterro sanitário), assim como pode conferir uma maior resistência de interface e estabilidade geotécnica da cobertura final do aterro caso outras camadas adicionais sejam utilizadas sobre a geomembrana (como geocomposto drenante, solos, entre outros).

Uma das preocupações da comunidade técnica e científica brasileira na realização da cobertura de aterros sanitários com materiais sintéticos é que o potencial efeito da redução significativa da infiltração de águas pluviais pudesse refletir numa redução da geração de metano, uma vez que a falta de umidade poderia ser suficiente para reduzir ou paralisar a geração de metano, uma preocupação para aterros sanitários que tem



potencial de utilização do metano para fins energéticos. Mesmo com os reflexos de uma redução mais eficiente na geração de chorume devido a realização de uma cobertura mais intensa com geomembranas no aterro sanitário de Marituba desde 2018, a geração de metano continuou ocorrendo em quantidade significativa, sendo inicialmente coletada e queimada diretamente em dispositivos no topo dos drenos verticais, mas que passou a também ser coletada ativamente por uma rede de tubulações externas

conectadas a uma planta de captação, sendo o metano também queimado em um flare centralizado desde fevereiro/2022 e complementarmente desde julho/2023 em planta termelétrica com capacidade de 1,1 MW de geração de energia elétrica.

Para a cobertura diária e temporária dos resíduos, em momentos de necessidade, também já foram utilizados filmes plásticos reforçados de PEBDL, como ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Utilização de filme de PEBDL como cobertura no aterro sanitário de Marituba (cortesia: Letícia Lira).

3. AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA UTILIZAÇÃO DE FILMES PLÁSTICOS

A utilização de filmes plásticos na cobertura diária e temporária de aterros tem se revelado vantajosa, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Para demonstrar as vantagens econômicas do uso de tais filmes, foi realizado um cálculo para uma situação hipotética através da comparação entre a cobertura utilizando solo e a cobertura com filme. Considerando que é realizada uma cobertura de 30 cm de solo, uma tarifa hipotética de R\$ 150,00/t de RSU recebidos para disposição de resíduos em um aterro sanitário e a densidade dos resíduos compactados no aterro seja de 1,0 t/m³, caso a cobertura não fosse realizada com solo e sim, por exemplo, com um o filme plástico, esse mesmo volume ocupado pela cobertura com solo e que poderia assim ser ocupado por resíduos permitiria uma receita aproximada de R\$ 45,05/ m² não ocupado pela

cobertura, conforme memória de cálculo abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Receita} &= \frac{\text{R\$ } 150,00}{t} & (1) \\ \text{Receita} &= \frac{\text{R\$ } 150,00}{1 \text{ m}^3} \\ &= \frac{\text{R\$ } 150,00}{(0,30 \text{ m de espessura} \times 3,33 \text{ m}^2 \text{ de superfície})} \\ \text{Receita} &= \frac{\text{R\$ } 45,05}{\text{m}^2 \text{ de superfície}} \end{aligned}$$

Para permitir esta premissa de substituição de solo na cobertura, outros materiais teriam que ser empregados, como os filmes plásticos, que tem um custo de referência de R\$ 5,40/m². Em outras palavras, com adição de tais filmes para a cobertura a um custo de R\$ 5,40/m², a não utilização de solo permite deixar de ocupar um volume do maciço com solo e que pode gerar uma receita de R\$ 45,05/ m² não ocupado pela cobertura, mostrando assim a viabilidade econômica da utilização destes materiais. Esta conta da receita é conservadora, pois poderia ser ainda superior adicionando-se os custos de mão-



de-obra, equipamentos operacionais e combustíveis relacionados com a escavação de solo na jazida, transporte interno do solo e de espalhamento e compactação para realização da cobertura, custos estes superiores caso adicionados aos custos de aquisição do filme plástico os custos de utilização de mão-de-obra para abertura e posicionamento dos filmes plásticos no maciço de resíduos.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou as melhores práticas para a redução da geração de chorume em aterros sanitários utilizando-se materiais sintéticos como filmes plásticos de PEBDL, geomembranas de PEAD e PEBDL.

Através do estudo de caso do emprego de geomembranas de PE do aterro sanitário de Marituba/PA é possível verificar que o uso de geomembranas torna ainda mais eficiente a redução na geração de chorume e dos picos da vazão de geração durante e após os períodos chuvosos. Além disso, a cobertura com geomembranas não interrompeu a geração de metano, que é uma preocupação para aterros sanitários que tem potencial de utilização do metano para fins energéticos.

Por fim, foi apresentada uma avaliação econômica da utilização dos filmes plásticos em substituição do uso de solos, nas situações possíveis, permitindo-se concluir que os filmes podem ser uma solução mais econômica do que a utilização de solos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Revita Engenharia e da AzulPack Techground, bem como os relatos de profissionais que foram ou são colaboradores da Guamá Tratamento de Resíduos (Bryan da Silva, Letícia Lira e Leonardo Parize).

REFERÊNCIAS

Geosynthetic Institute. GRI-GM13 Standard Specification - Standard Specification for **Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes**. Revision 18: April 5, 2024. Disponível em: <https://geosynthetic->

[institute.org/grispecs/gm13.pdf](https://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm13.pdf). Acesso em 10 ago. 2024.

Geosynthetic Institute. GRI-GM17 Standard Specification - Standard Specification for **Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Smooth and Textured Geomembranes**. Revision 15: July 17, 2023. Disponível em: <https://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm17.pdf>. Acesso em 10 ago. 2024.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Normais Climatológicas do Brasil - Período: 1991-2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 10 ago. 2024.



GEOSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica

DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

27 a 28 de agosto de 2024



APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE BIOENGENHARIA PARA A ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS EM ÁREAS CONSTRUTIVAS

Abelardo Pereira Bittencourt Neto, Engenheiro Civil, UNAMA, Manaus, AM, abelardonetob@hotmail.com

Marília Sales de Andrade Mejía, Bióloga, Centro Universitário Internacional Univirtus, Manaus, AM, masalesbio@hotmail.com

Palavras Chave: Bioengenharia, Degradação, Erosão, Solo.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a eficiência de possíveis métodos de bioengenharia para a estabilização de solos principalmente em áreas construtivas.

Considerando os solos como sistemas expostos a intempéries, é perceptível que as atividades construtivas intensificam os danos ambientais uma vez que, para a execução de um projeto construtivo é necessário a remoção da camada superficial dos solos, provocando assim, o carreamento de materiais em cursos hídricos, e a redução de água no solo decorrente da formação de ravinas, voçorocas e erosões.

Com a modernização dos procedimentos clássicos da construção civil, a bioengenharia vem sendo aplicada como um mediante a incorporação de aspectos ambientais, garantindo soluções eficientes e minimizando a redução de custos nos projetos de reabilitação de solos e estruturas.

A bioengenharia busca a associação de sistemas construtivos tradicionais como: concreto, aço, madeira e fibras sintéticas, com elementos biológicos entre eles: vegetação de forma geral e fibras vegetais na proteção e recuperação de taludes e no controle de erosões. A mecânica dos solos associada à bioengenharia, é de suma importância para a definição de técnicas eficientes a serem colocadas em prática na estabilização de uma determinada área. As espécies vegetais contribuem com o sistema radicular e o caule, sendo utilizados em diferentes arranjos geométricos como elementos estruturais e mecânicos para contenção e proteção do solo, melhorando assim, a eficiência de um sistema de drenagem e na retenção das movimentações de terra.

Solos que apresentam características com tendência a formação de processos erosivos, ravinas, desmoronamento, assim como, o carreamento de materiais, prevê a necessidade da conformação, drenagem superficial e a cobertura vegetal desse solo.

A metodologia de pesquisa utilizada no presente artigo foi revisão bibliográfica. Dessa forma, esta pesquisa vem apresentar alguns mecanismos aplicados para a estabilização dos solos, considerando principalmente a característica do solo, assim como, o custo-benefício da aplicabilidade de cada técnica.

2. ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

2.1 Técnicas Para a Estabilização de Solos

Quando a cobertura vegetal é removida, consequentemente o solo fica exposto contra o impacto direto da precipitação, favorecendo a intensificação dos processos erosivos, iniciando a formação de sulcos, que podem evoluir para ravinas, e com o tempo poderão comprometer de forma drástica a estabilidade destes ambientes (PORTOCARRERO et al., 2006).

Vale ressaltar que, a formação de erosões é provocada principalmente pela conformação inadequada do solo, pela ausência ou ineficiência do sistema de drenagem das águas pluviais.

Para minimizar o escoamento superficial, assim como, a detenção dos sedimentos, deve-se implantar estruturas para o disciplinamento / e dissipação do escoamento superficial de águas pluviais na qual deve ser avaliado em projeto o que mais favorece a realidade da área.

Uma técnica frequentemente utilizada, é a aplicação de solo cimento ensacado conhecido também como "Rip-Rap". Essa técnica é aplicada



para proteger superficialmente taludes, e no preenchimento de erosões, e em casos especiais pode-se construir muros de arrimo de gravidade. Em áreas com maior declividade e próxima a cursos hídricos, é uma boa alternativa se aplicados associado a hidrossemeadura.

Outra técnica bastante aplicada em áreas de taludes são estruturas como o Terramesh Verde que é uma solução inovadora na bioengenharia. Esse sistema projetado para estabilizar taludes e para controlar processos erosivos, é uma associação de uma estrutura de suporte com técnicas de revegetação, criando uma abordagem integrada que oferece tanto reforço estrutural quanto benefícios ecológicos. Esse sistema é amplamente utilizado em projetos de engenharia civil, como encostas de estradas e barragens, onde a estabilidade do solo e a minimização da erosão são essenciais para a segurança e a durabilidade das estruturas.

O Geo-bag é mais um sistema de estabilização de solo amplamente utilizado na bioengenharia e na engenharia civil para o controle de processos erosivos, estabilização de taludes e proteção de estruturas. Os geo-bags são bolsas ou sacos feitos de materiais geotêxteis que são preenchidos com solo, areia ou outros materiais inertes.

Os Bioenxertos é mais uma técnica de bioengenharia na qual são utilizadas partes de plantas: galhos, ramos ou estacas para estabilizar o solo e para controlar a formação de erosões. Essa abordagem combina práticas de engenharia com processos naturais de vegetação para promover a recuperação do solo e melhorar a estabilidade de encostas e taludes.

2.2 Técnicas Para a Estabilização de Solos Por Meio de Revestimento Vegetal

A influência da vegetação na estabilidade de taludes de aterros e corte está interligada em dois mecanismos: hidrológicos e mecânicos. Os aspectos mecânicos estariam associados a interações físicas entre o sistema radicular, folhagem e o talude. Os aspectos hidrológicos estariam associados à influência da vegetação no ciclo hidrológico.

A cobertura vegetal é capaz atuar como um agente de influência na estabilidade dos taludes

controlando o estado de saturação dos solos, quanto em termos de controle de erosão, como dissipador do escoamento superficial proveniente da precipitação e do aumento da capacidade das taxas de infiltração.

A escolha correta das plantas para a cobertura de uma determinada área é de suma importância. Por exemplo, uma cobertura de gramíneas ou vegetação herbácea densa, fornece umas das melhores proteções contra a erosão superficial. Ao contrário de uma vegetação arbórea com denso sistema radicular ou raízes profundas que são mais eficientes para mitigar ou prevenir rupturas na estabilidade superficial e de massas de solo, pois, as raízes formam uma rede que se entrelaça com o solo, criando uma estrutura de suporte natural que aumenta a coesão e a resistência do solo (PEREIRA, 2008).

Para CHERUBIN (2022) os benefícios do uso de plantas de cobertura vão além de cobrir a superfície do solo, a Figura 1 demonstra múltiplos benefícios do uso na melhoria da saúde do solo, isto é, melhoria de componentes físicos, químicos e biológicos que são os responsáveis pelo funcionamento do solo como ecossistema vivo. Uma prática muito utilizada é a aplicação de mix de espécies de gramíneas de rápida germinação com leguminosas que possuem o potencial de contribuição na fixação de nitrogênio através da associação com microrganismos. Além do importante papel na fixação biológica, o ciclo vegetativo e posterior decomposição dos restos culturais regula a ciclagem de nutrientes e aumenta a disponibilidade de fósforo, potássio, nitrogênio e outros macro e micronutrientes para as culturas subsequentes (CHERUBIN, 2022).

Outra técnica aplicada associada ao mix de sementes e gramíneas são as biomantas vegetais de fibra de coco, ou sisal. Trata-se, portanto, de um dos sistemas adotados para recompor a vegetação de áreas com grande inclinação, em que apenas a semeadura manual não oferece resultados satisfatórios, (DEFLOS BIOENGENHARIA, 2007). A biomanta vegetal possui diversas funções dentre elas: proteção do solo contra os agentes erosivos; auxílio no desenvolvimento vegetal, pois mantém a umidade no solo por melhorar a infiltração e por reduzir a evaporação; agrega matéria orgânica na camada



superficial ou solos estéreis (arenosos, saibrosos, rochosos etc.) e auxilia no desenvolvimento microbiano.

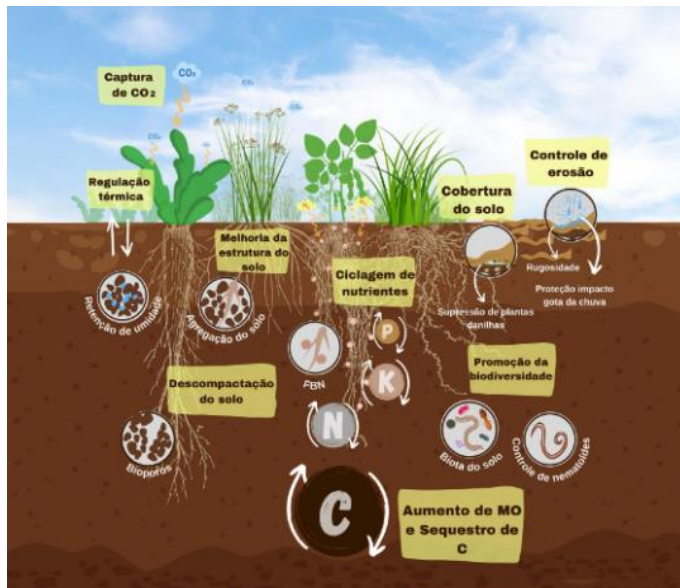


Figura 1. Benefícios ao funcionamento do solo fornecidos pela utilização de plantas de cobertura.

Fonte: CHERUBIN, 2022.

3. COMENTÁRIOS

Este trabalho buscou evidenciar que, a bioengenharia associada a técnicas de engenharia convencional é uma excelente alternativa para a estabilização de taludes onde, em muitos casos, as vantagens podem ser notadas sob os aspectos financeiros, ambientais, técnicos e estéticos.

Não se trata simplesmente de inserir espécies de gramíneas, mas, de também realizar um estudo criterioso do local e a utilização dos conhecimentos técnicos que a engenharia proporciona. A bioengenharia mostra a importância no conhecimento da vegetação a ser aplicada sobre os taludes, a interferência do clima, do tipo de solo e a associação de espécies, como as gramíneas e as leguminosas, que não só realizam a proteção superficial dos taludes, mas auxiliam na sua estabilidade através do comprimento diferencial de suas raízes.

Além disso, a bioengenharia vem contribuir, como mais uma dessas técnicas, para que os profissionais da engenharia analisem as interferências e impactos causados por suas atividades em relação ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2ª ed. Belo Horizonte. Fapi, 2008, 239 pag.
- PORTOCARRERO, Hugo
Aspectos Hidrológicos e Mecânicos da Vegetação na Estabilidade de Taludes e Encostas Naturais/ Hugo Portocarrero...[et.al].-Dados eletrônicos- Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**,2006. (Série Documentos / Embrapa Solos V. 88, ISSN 1517-2627, 41 pag. 01 – 41, dezembro 2006.
- CHERUBIN, Maurício Roberto. Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo [Apresentação]. Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo, p. 126: il, 2022. DOI 10.11606/9786589722151. Disponível em https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro_Plan_tas_de_Cobertura_completo.pdf. Acesso em: 04/08/2024.
- DEFLOL BIOENGENHARIA. (2007). Guia de Instalação de Biomantas Antierosivas, Retentores de Sedimentos e Hidrossemeio, p11, Belo Horizonte – MG. Disponível em: https://www.deflor.com.br/pdf/guia_de_instalacao_biomantas_retentores.pdf. Acesso em: 05/08/2024.



GEOSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica

DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

27 a 28 de agosto de 2024



CONTROLE DE EROSÃO COM TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURALÍSTICA

Isabel Cristina de Oliva Coelho, Vertical Green do Brasil LTDA, Senador Canedo/GO, isabel@verticalgreendobrasil.com.br

Maurizio Sponga Coelho, Vertical Green do Brasil LTDA, Senador Canedo/GO, maurizio@verticalgreen.com.br

Gilberto Viana Marinho, Vertical Green do Brasil LTDA, Senador Canedo/GO, gilberto@verticalgreen.com.br

Palavras Chave: Erosão, Engenharia Naturalística, Bioengenharia, PRAD

1. INTRODUÇÃO

Este artigo aborda a recuperação de uma incisão erosiva (voçoroca) próxima a uma indústria de vidros planos em Goiana/PE. Utilizando técnicas de Engenharia Naturalística, a intervenção visou restaurar as condições de equilíbrio ambiental e funcional da área, por meio de diferentes atividades de contenção, drenagem, revegetação e controle de erosão (Vertical Green do Brasil, 2024).

2. ÁREA DE INTERVENÇÃO

2.1 Incisão erosiva e entorno

A incisão erosiva localizava-se em área adjacente a uma indústria de vidros planos, situada a 6km da cidade de Goiana/PE e 71km da cidade de Recife/PE.

A incisão erosiva possuía 310 metros de comprimento, com largura aproximada de 28 metros, e profundidade média de 18 metros. Resultou em mais de 6.300m² de área degradada e mais de 80.000m³ de solo erodido.

O clima da região é do tipo Tropical quente e úmido, com estação chuvosa entre os meses de março e julho, com pluviosidade média anual de 947 mm.

A vegetação é do tipo Mata Atlântica, recobrendo solo do tipo Argissolo vermelho amarelo, em borda de tabuleiro costeiro, sobre rochas sedimentares da Formação Barreiras.

A área de contribuição da área de intervenção deságua no Riacho Farias, e este no Rio Goiana, que é o principal rio da região.

2.2 Causas do passivo ambiental

A incisão erosiva se desenvolveu em borda de relevo tabular, com inclinação ondulada. O lançamento de águas pluviais captadas no platô superior da indústria, muito impermeável,

desencadeou o desenvolvimento da incisão erosiva mesmo em terreno recoberto por vegetação nativa, resultando em perdas de recursos naturais e assoreamento a jusante.

2.3 Solicitação do cliente

Por questões ambientais e para atender requisitos de órgãos fiscalizadores, o cliente solicitou a realização de intervenções de baixo impacto visual e ambiental, correspondendo ao Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) do empreendimento. A Figura 1 mostra a planta de intervenção:

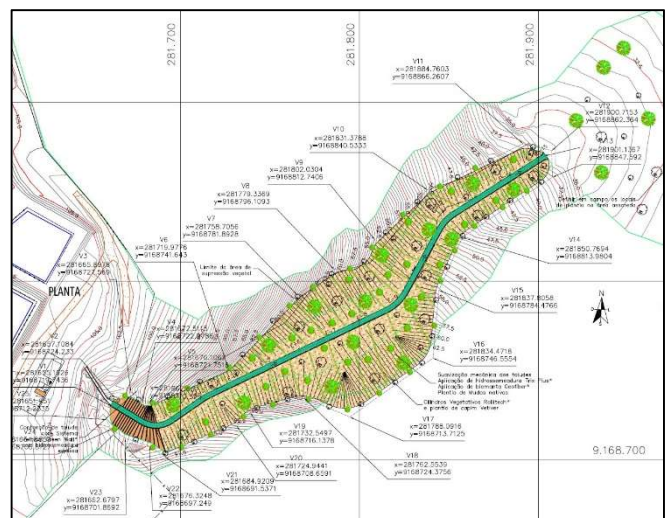


Figura 1. Planta de intervenção.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

3.1 Engenharia Naturalística

Para recuperação ambiental da incisão erosiva, foi utilizada metodologia executiva baseada na Engenharia Naturalística, também denominada de bioengenharia dos solos, engenharia natural, dentre outros.

De modo geral, a Engenharia Naturalística aplica-se à restauração de ambientes impactados, devolvendo-lhes as condições de equilíbrio dinâmico, priorizando a integração entre a



engenharia e a ecologia, restabelecendo a biodiversidade local e a continuidade da vida.

O termo “Engenharia” se deve ao fato de contemplar o conhecimento técnico-científico com finalidade construtiva, de consolidação e controle erosivo; enquanto, “Naturalística”, por utilizar organismos vivos, notadamente espécies vegetais autóctones, com a finalidade de refuncionalizar o ecossistema, renaturalizando e aumentando a sua resiliência.

4. EXECUÇÃO DA OBRA

4.1 Serviços iniciais

Os serviços iniciais consistiram na instalação do canteiro de obras, locação topográfica e realização de supressão vegetal com motosserra, em uma pequena área sobre os taludes que seriam suavizados. Também foi utilizado triturador florestal acoplado a escavadeira para fragmentação das árvores e posterior aproveitamento na forma de matéria orgânica.

4.2 Terraplanagem e uso de materiais geossintéticos

Para estabilização dos taludes foi realizado acerto mecânico utilizando uma escavadeira hidráulica. Esse processo envolveu a remoção de materiais soltos e instáveis, a correção da inclinação do talude e a compactação do solo no leito do talvegue erosivo para aumentar sua resistência. A retificação foi feita tanto para estabilizar o talude quanto para proporcionar a revegetação das áreas. A Figura 2 mostra as atividades de suavização dos taludes e lançamento de solo no talvegue.



Figura 2. Vista geral da incisão erosiva durante atividades de terraplanagem.

Para reforçar o aterro compactado, utilizou-se o geotêxtil filtro RT-31, instalado de forma planar no

assoalho da voçoroca, contribuindo para a estabilidade e durabilidade da estrutura de drenagem que seria instalada a seguir.

4.3 Sistema de drenagem

A drenagem pluvial ao longo da incisão erosiva foi realizada por meio de calha em solo reforçado, designada como Ecocalha®. Esta estrutura é composta por laterais vegetadas em solo reforçado com geogrelha e um assoalho constituído blocos de concreto. Este design proporciona um excelente aspecto visual e ambiental.

A construção desta calha é realizada utilizando gabaritos metálicos, piquetes e tirantes, com uma inclinação de 75 graus. Este arranjo é destinado ao confinamento de material terroso e à instalação de materiais geossintéticos de reforço e proteção frontal, permitindo o desenvolvimento da vegetação através de hidrossemeadura espessa.

Devido às suas laterais reforçadas, este canal oferece uma resistência superior ao atrito causado pelo fluxo hídrico, um acabamento aprimorado e um impacto visual e ambiental reduzido, uma vez que as laterais podem ser vegetadas. A vegetação presente não apenas melhora a estética, mas também contribui para a diminuição da energia do escoamento, aumentando a rugosidade da calha e, conseqüentemente, seu atrito.

Este sistema favorece a permeabilidade do solo, facilitando a recarga do lençol freático e permitindo uma eficiente troca hídrica, o que ajuda a minimizar os efeitos das altas vazões. Além disso, por não ser rígida, a Ecocalha® possui elasticidade, adaptando-se a eventuais acomodações do terreno e evitando os problemas comuns associados aos sistemas convencionais, que tendem a se romper devido a movimentações do solo.

No caso em questão realizou-se a concretagem das laterais inferiores da calha, e revestimento vegetal das partes superiores.

O revestimento do assoalho foi realizado com Sistema Concret Channel®, que é utilizado para revestimento de canais de drenagem e proteção de leitos fluviais contra ação erosiva. Este sistema assemelha-se a um tapete de blocos de concreto pré-moldados, articulados por cabo de aço ou cordas, apresentando flexibilidade que propicia a



sua utilização em terrenos de morfologia suave e moderadamente ondulada.

Os blocos possuem formato semelhante a um tronco de pirâmide, com largura lateral de base igual a 38cm e de topo, 28cm sempre sobrepostos a um geotêxtil filtro antierosivo acoplado. A altura dos blocos pode variar: 8; 12; 16 e 20 cm, de acordo com análises específicas do local.

A Figura 3 mostra o sistema em execução:



Figura 3. Execução da Ecocalha® em solo reforçado e revestimento com blocos em concreto articulados (Concret Channel®).

4.4 Contenção da cabeceira da incisão erosiva

Para contenção da cabeceira da voçoroca, que compreendia a região mais inclinada, também foi utilizada estrutura em solo reforçado com geogrelha, denominada Vertical Green Wall®. Este sistema é constituído por gabaritos metálicos e materiais geossintéticos para confinamento e reforço do aterro compactado (Figura 4).



Figura 4. Contenção da cabeceira da incisão erosiva com Sistema Vertical Green Wall®.

4.5 Uso de materiais biodegradáveis para controle de erosão

Para proteção dos taludes retificados foi utilizada biomanta antierosiva Geofiber®, constituída por 100% de fios de fibra de coco, tramada, com abertura de 2,0 cm e gramatura de 700 g/m². Os fardos têm 2,0 metros de largura e 100 metros de

comprimento. A biomanta é um produto natural e biodegradável adequado para o controle de erosões, sendo especialmente útil em áreas com grande inclinação e solo com baixa matéria orgânica, onde apenas a semeadura pode não ser suficiente.

A biomanta atua protegendo o solo contra agentes intempéricos e erosivos até que a vegetação esteja devidamente estabelecida. Sua durabilidade funcional é de 2 a 3 anos, um período suficiente para permitir a consolidação da vegetação.

O processo de aplicação da biomanta envolve a preparação adequada da superfície, que deve ser livre de pedras, raízes e outros detritos para garantir uma base uniforme. A biomanta é fixada na parte superior do declive, semienterrada em uma cova transversal de 20 a 30 cm, com as laterais sobrepostas em 10 cm para prevenir a erosão nas emendas. A fixação é feita com piquetes metálicos em forma de "U", com diâmetro de 4,2 mm e comprimento de 15 a 20 cm, ou alternativamente com estacas de madeira ou bambu.

Após a instalação da biomanta, realiza-se a aplicação de hidrossemeadura adequada à morfologia do terreno, promovendo a revegetação e garantindo a estabilização eficaz do solo. Este método proporciona uma solução sustentável e eficiente para a recuperação e proteção de áreas sujeitas à erosão

A Figura 5 mostra a aplicação da biomanta antierosiva nos taludes:



Figura 5. Aplicação de biomanta antierosiva em terreno inclinado.

Em complemento, foi utilizado biorretentor de escoamento e sedimentos, conhecido



comercialmente como Rollitech®. Trata-se de um cilindro vegetativo projetado para atuar como uma barreira física contra a erosão. Ele é confeccionado com uma malha de fios de coco, sisal, juta ou material geossintético, e preenchido com fibras vegetais, geralmente de coco. Seu diâmetro varia de 25 a 40 cm e comprimento entre 2 e 4 metros, e é adaptável a diferentes necessidades de controle de erosão. Sua fixação é realizada com estacas de madeira e também foram plantadas mudas de capim Vetiver para estabilização do solo e controle de erosão (Figura 6).



Figura 6. Aplicação de biorretentor Rollitech® e plantio de mudas de capim Vetiver®.

4.6 Revegetação da área

Além do plantio de capim Vetiver, a revegetação da área foi realizada por meio de aplicação de hidrossemeadura Trix Plus®, junto a biomanta, em todos os taludes remanejados, além do plantio de mudas de espécies nativas, especialmente nas bancadas e nas áreas planas a jusante da incisão erosiva, que se encontravam assoreadas.

A hidrossemeadura é uma técnica de plantio que envolve a aplicação de uma solução aquosa composta por sementes de gramíneas e leguminosas, matéria orgânica, mulch, fertilizantes químicos e colantes naturais. Essa solução é pulverizada sobre as áreas desnudas, proporcionando uma cobertura rápida e uniforme (Figura 7). A Figura 8 mostra o resultado após o desenvolvimento vegetal.



Figura 7. Aplicação de hidrossemeadura Trix Plus® nos taludes.



Figura 8. Vista geral da área de intervenção com vegetação em desenvolvimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obra, com duração de seis meses e concluída em julho de 2017, utilizou diversas técnicas de Engenharia Naturalística para garantir uma drenagem pluvial eficaz, estabilizar os taludes e interromper o avanço da incisão erosiva. A vegetação implantada está se desenvolvendo de maneira vigorosa, promovendo a recuperação e a resiliência do ambiente anteriormente impactado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Vertical Green do. Obra Vivix Vidros Planos. Disponível em <http://www.https://verticalgreen.com.br/portfolio/vivix-vidros-planos-vocoroca-a/>. Acesso em: 01/julho/2024.



UTILIZACIÓN DE GEOTEXILES NO TEJIDOS BIODEGRADABLES

Javier Calderon NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp, Alemania, jcalderon@naue.com

Palabras Chave: Geotextiles, Biodegradacion, Durabilidad

1. INTRODUCCION

Generalmente los geotextiles son mallas compuesta por fibras sintéticas, fabricados con polímeros como el polietileno, poliéster, polipropileno o nylon y en su fabricación generalmente no se utilizan fibras naturales ya que éstas son biodegradables, estos materiales seguirán sirviendo por mucho tiempo en aplicaciones con altas exigencias en lo referente a largo plazo, sin embargo, recientemente ha existido una creciente preocupación por su biodegradabilidad a pesar de su amplia aplicación en diversos sectores de la ingeniería y es ahí donde los geotextiles fabricados con materiales biodegradables se empiezan a convertir en alternativas a la ingeniería moderna en aplicaciones donde la biodegradabilidad es un factor relevante.

2. BIODEGRADABILIDAD:

La biodegradabilidad de los materiales geotextiles sigue siendo un tema de debate, es sabido que tienen numerosos beneficios para la ingeniería civil, pero por otro lado, los productos sintéticos como los geotextiles normalmente utilizados no son perecederos como los productos elaborados a partir de materiales naturales, como el yute o la fibra de coco, que se descomponen con el tiempo principalmente de acuerdo a la temperatura presente en el proyecto y la localización del mismo (Ver Tabla1.) afectado por la incidencia de los rayos U.V

	Environment	Temperature conditions	
Speed of biodegradation ↑ ↓	Anaerobic digestion (thermophilic)		✓
	Industrial composting		✓
	Home composting		✓
	Soil		✓
	Fresh Water		✓
	Marine Water		✓

Tabla 1. Velocidad de la biodegradación con respecto a condiciones de temperatura y medio ambiente (Fuente NAUE test in lab Fiestel Germany)

2.1 El impacto ambiental de los geotextiles sintéticos

Los polímeros a base de petróleo son principalmente los utilizados en la fabricación de geotextiles sintéticos, especialmente debido a su naturaleza sintética, aunque esto presenta un problema futuro relacionado con las prácticas de gestión de residuos y el bienestar ecológico porque permanecen eternamente en el entorno después de desecharlos o instalarlos. Cuando se arrojan de manera inadecuada en sitios de eliminación o en cualquier otro lugar, especialmente dentro de vertederos o hábitats naturales, los geotextiles pueden representar un peligro para el medio ambiente o la vida silvestre.



Como fue mencionado anteriormente, en la elaboración de los geotextiles se destacan dos factores como son: el tipo de material utilizado y la fibra empleada. Entre los materiales más utilizados en la elaboración de las fibras están los polímeros sintéticos tales como el polipropileno, el poliéster, el nylon (poliamida) y el polietileno. Cabe decir que la resistencia de la fibra –al igual que la estructura química– está ligada con el tipo de polímeros utilizado. Ésta es la particularidad que le confiere al geotextil la durabilidad, por ser altamente inerte a la degradación biológica y química, y resistente a los hongos y moho, mientras que en los productos biodegradables su fabricación puede incorporar fibras naturales como algodón, lana, yute, fibra de coco, caucho y acetatos cuando la biodegradación es deseada, como lo puede ser en el caso de control de erosión y de maleza en la agricultura.

2.2 Abordar el desafío: alternativas sostenibles y reciclaje

La industria de los geosintéticos está tomando medidas activas hacia el uso de alternativas sostenibles en el medio ambiente e iniciativas de reciclaje para mitigar los efectos de los geotextiles sintéticos. Los trabajos de investigación se centran en la elaboración de geotextiles biodegradables, fabricados a partir de recursos renovables o que contienen aditivos que pueden descomponerse sin perder su eficacia. Los avances en el reciclaje garantizan que los geotextiles usados se recuperen y reprocesen, reduciendo así la necesidad de materiales vírgenes, así como minimizar los desechos producidos.

2.3 El papel de las regulaciones y estándares

Los marcos políticos y las normas industriales desempeñan un papel importante en la promoción de la conciencia ambiental dentro del sector de los geosintéticos. Los gobiernos nacionales y las instituciones globales establecen recomendaciones sobre cómo fabricar, usar y eliminar productos geotextiles evitando al mismo tiempo daños a la naturaleza que puedan comprometer la seguridad pública. El cumplimiento de estas regulaciones fomenta la utilización de sustancias o prácticas respetuosas con el medio ambiente y, al mismo tiempo,

responsabiliza a los fabricantes del efecto de sus productos en el medio ambiente.

3. ACTUALIZACION DE TRABAJOS

Desde hace varios años, algunos fabricantes de geotextiles no tejidos han empezado a trabajar con diferentes tipos de fibras biodegradables pero que al mismo tiempo se puedan tener altas resistencias similares a los de los geotextiles tradicionales. Los objetivos iniciales en cuanto a materia prima serían los siguientes:

- Base de materia prima exclusivamente orgánica.
- Fibras procedentes de un proceso de fabricación controlado.
- Geotextiles no tejidos fabricados con materias primas renovables de fuentes certificadas.
- Con proceso de producción con circuitos cerrados en el que se recicla el agua de proceso.
- El disolvente del proceso se reutiliza a una tasa de recuperación de más del 99 por ciento.
- Reducción del consumo de agua en un alto porcentaje en comparación con otras fibras como por ejemplo en la producción de fibras de algodón.

Teniendo como propiedades principales de un nuevo producto con:

- Certificado totalmente biodegradable
- La vida útil depende de las condiciones ambientales.
- Geotextil filtrante y separador en gramajes de 300 a 1.200 g/m²
- Garantizar propiedades de entrega garantizadas con un alto estándar de calidad, especialmente en comparación con las fibras naturales convencionales, es una diferencia decisiva.
- Procesamiento y comportamiento mecánico comparables a los clásicos no tejidos consolidados mecánicamente



Esto hace posible por primera vez dividir de forma reproducible y controlada un geotextil no tejido de separación y filtración biodegradable en clases de robustez de geotextiles según en este caso la normativa alemana en términos de masa y fuerza de penetración (Ver Foto 1.)

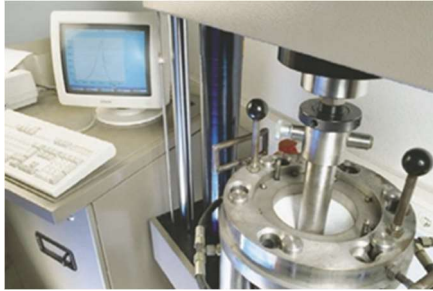


Foto 1. Prueba de empuje con punzón: simula el empuje de una piedra a través de un geotextil y se utiliza para clasificar la clase de robustez de los no tejidos (Fuente Naue Germany)

Principales campos de aplicación:

- Capa de separación en carreteras temporales y construcción de carreteras.
- Construcción de carreteras en un entorno especialmente sensible (flora-fauna-habitat, zona alpina, medidas compensatorias, zonas de reserva de agua)
- Uso en jardinería y paisajismo urbano y privado.
- Protección de orillas en aguas / desarrollo natural de aguas
- Aplicaciones fuera de la ingeniería geotécnica y muchas más.



Foto 2. Algunos campos de aplicación de los nuevos geotextiles biodegradables (Fuente Naue Germany)

Estos materiales están siendo fuertemente investigados para el refuerzo técnico-biológico de orillas en vías acuáticas interiores como filtro geotextil biodegradable fabricado a partir de

materias primas renovables que permita el crecimiento de las plantas en las protecciones del margen técnico-biológico y que finalmente se biodegrade por completo. En estas protecciones de las orillas se instalan filtros geotextiles para evitar que la tierra se desprenda del terraplén por las cargas inducidas por los barcos hasta que las propias raíces de las plantas se encarguen de esta tarea.



Foto 3. Ejemplo aplicaciones (Fuente Naue Germany)

4. CONCLUSIONES

Los materiales biodegradables de origen biológico complementan la gama de productos y ayudarán a encontrar soluciones técnicas mejoradas en determinadas áreas de aplicación.

La predicción y el "diseño" de la degradabilidad específico del proyecto requiere el conocimiento de requisitos específicos y criterios de prueba. Igualmente existen más desarrollos para estos grupos de productos.

La gama de materiales actualmente en desarrollo cambiará permanentemente la gama de productos.

Los materiales clásicos PP, PEHD y PET seguirán sirviendo a aplicaciones con altas exigencias a largo plazo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

NAUE GmbH & Co. KG, **Secutex Green Line**. 2023, Espelkamp Alemania.



GEOSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica

DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

27 a 28 de agosto de 2024



UNA NUEVA TECNOLOGIA PARA CIERRE DE GEOCONTENEDORES

Javier Calderon NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp, Alemania, jcalderon@naue.com

Palabras Clave: Geotextiles, Geocontenedores, Tecnologia

1. INTRODUCCION

Los llamados geocontenedores, bolsas de geotextil, geobolsas y otros nombres que se le ha dado a los productos que se rellenan de materiales generalmente tomados y llenados in situ para aplicaciones de control de erosión, normalmente son cerrados con máquinas de coser que además de la maquinaria de costura en si necesitan de generadores de electricidad, gasolina y otros equipos menores los cuales en algunas aplicaciones con difícil acceso y la logística de llevar estos componentes a obra además de los repuestos en caso de alguna falla se tornan un tema importante dentro del presupuesto de la obra, es así como una nueva tecnología de cierre es desarrollada por un fabricante de geotextiles No tejidos líder en Europa con el fin de ayudar en este tipo de problemas de contenedores hechos con bolsas de geotextil conocidos como GSC o geocontenedores y al mismo tiempo dando una solución amigable con el entorno y el medio ambiente.

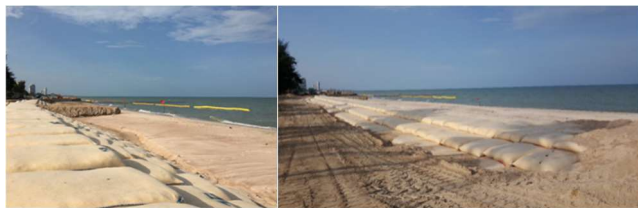


Foto 1. Ejemplo aplicaciones

Las imágenes muestran aplicaciones de contenedores de arena hechos con geotextiles no tejidos en el área de la duna detrás de la playa, como el llamado muro geotextil. Los GSC están colocados de tal manera que el lado sin juntas del GSC se encuentra en el área de revestimiento y la tecnología de cierre está orientada hacia el relleno.

Esta es la instalación más segura, ya sea que se utilice una técnica de costura o el nuevo cierre del que trata este artículo.



Foto 2. Cierre tradicional

2. NUEVAS TECNOLOGIAS DE CIERRE:

Los contenedores de arena geotextil son un producto de la industria de la construcción moderna. La técnica de cierre bien establecida existente es una técnica de cierre con costura. Si se organiza en tierra, en un entorno seco, como en la industria, esta es la tecnología de cierre más eficiente pero en condiciones in situ, en playas de arena de difícil acceso, ventosas, húmedas, sin o con poca infraestructura, la correcta utilización de los recursos es un tema fundamental y el éxito del proyecto depende del correcto uso de los contenedores de arena.

En la actualidad se ha desarrollado un tipo de cierre de los geocontenedores utilizando máquinas de costura, pero los nuevos desarrollos están mejorando los tipos de cierre de dichos geocontenedores y es así como se ha desarrollado la llamada tecnología de cierre CT IV.

La nueva tecnología de cierre, aunque aparenta ser un pequeño detalle, lo que realmente genera es un gran impacto a la tecnología tradicional y es por eso que se ha desarrollado esta tecnología de cierre única, la primera de este tipo.

Esta tecnología de cierre única aumentará la eficiencia en los proyectos de control de erosión donde son utilizados los geocontenedores



Foto 3. Bolsa con nueva tecnología de cierre

3. ACTUALIZACION DE TRABAJOS

En la tecnología de cierre denominada CT I generalmente se requieren máquinas de coser, hilos, agujas, repuestos (principalmente de agujas) y un generador para cerrar las bolsas de geotextil, igualmente se requiere mantenimiento de la máquina de coser. En caso de que una máquina de coser se averíe (por ejemplo, debido a la rotura de la aguja), puede detenerse el normal desarrollo de la obra y cualquier imprevisto operacional por causa de la máquina de costura cuesta tiempo y dinero.

Con la nueva tecnología de cierre denominada CT IV, dos correas de velcro cierran el contenedor de arena. Un velcro se encuentra dentro de la zona de apertura y el segundo en la zona de la envoltura del geotextil. Al velcro originalmente de fabrica se le adjunta un plástico de protección para el transporte y el embalaje.



Foto 4. Proceso de cierre paso a paso.

La tensión principal en el geocontenedor se produce durante el llenado, el transporte y la instalación. La carga de arena en el contenedor de arena del geotextil da como resultado fuerzas de tracción en el geotextil. Esta fuerza de tracción también actúa sobre el cierre y puede dar lugar a fuerzas de cizallamiento en el área de la tecnología de cierre, no tejido vs. elemento de cierre. El

esfuerzo cortante da como resultado un mayor efecto de enclavamiento del elemento de cierre con el geotextil no tejido.



Foto 5. Tensiones en el geocontenedor

Además de esto, el elemento de cierre evita que el material de relleno se salga del geocontenedor.

4. VENTAJAS DE ESTA TECNOLOGIA

Las ventajas de la tecnología de cierre CT IV son

- Que es una solución simple y fácil de entender
- Que no hay necesidad de máquinas de costura
- Y que no hay --- riesgo de fallo de la máquina ni de tiempo de inactividad

El tiempo de cierre con esta nueva tecnología es de solo 1 minuto o menos, con un poco de práctica.

Esta técnica de cierre CT IV puede reducir los costos ya que con la solución establecida CT I, las máquinas de coser pueden averiarse, las reparaciones pueden ser necesarias, pueden faltar piezas de repuesto y el resultado pueden ser tiempos de inactividad en el proyecto

- CT I Técnica de costura
- Tecnología de cierre sin herramientas CT IV

Ahorro de tiempo: Las técnicas de cierre establecidas son extremadamente complejas y, por lo tanto, tardan mucho tiempo en completarse. Con la tecnología de cierre con velcro, los contenedores de arena geotextil ahora se pueden cerrar en solo un minuto.



Rentabilidad: Las máquinas de coser modernas son caras y requieren un mantenimiento o reparación constantes. Dado que nuestra tecnología de cierre no requiere costura, estos costes se eliminan y, por tanto, también los costes de hilos, piezas de repuesto y otros consumibles.

Ahorro de personal: Los especialistas cualificados tienen que resolver nuevos retos cada día. Con la técnica de cierre tradicional se dedica un tiempo valioso a cerrar los contenedores de arena. Con el nuevo sistema de cierre una sola persona puede cerrar fácilmente geocontenedores sin necesidad de una formación intensiva previa.

4. CONCLUSIONES

Con esta tecnología existen ahorro de tiempo comparado con el cierre convencional que una bolsa se puede cerrar en 2 min mientras gracias a esta tecnología de cierre, los contenedores de arena geotextiles ahora se pueden cerrar en tan solo un minuto y con un poco experiencia, este tiempo puede incluso reducirse a 40 segundos.

Igualmente, si se tiene en cuenta que hay zonas remotas de difícil acceso de maquinaria como serian las maquinas de costura, el equipo generador de energía, cables conectores y combustible en la obra. Esta nueva técnica de cierre es llamada a ser la técnica de cierre del futuro de los productos de control de erosión comúnmente llamados geocontenedores al ser una propuesta eficiente, rápida, segura, confiable y económicamente viable.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

NAUE GmbH & Co. KG, **New Closing Technologies**.
2022, Espelkamp Alemania.



GEOSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica

DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

27 a 28 de agosto de 2024



GEOSAM ' 2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

ÍNDICE DE AUTORES

autor	páginas
ALVES, Kárita C.S.K.	23
ALVES, Rannyere R.	23
BARBOSA, Victor H.R.	15
BERNARDINELLI, A.L.C.S.	47
BITTENCOURT NETO, Abelardo P.	52
BRITO, Antonio J.	35
CALDERON, Javier	60,64
COELHO, Isabel C. O.	56
COELHO, Maurizio S.	56
FORTES, Rodrigo A.	23
GUIMARÃES, Mag G.A.	11
KAMAKURA, Gustavo K.	19
LOPES, Simone R.	15
MARINHO, Gilberto V.	56
MEJÍA, Marília S.A.	52
NASCIMENTO, Queila B.	23
Oliveira, Meriele C.C.R.	39, 43
Ornelas, Flávio S.	39,43
Palma, Silvio L.	19
Paranhos, Samira T.S.	19
Ramos, Aila R.P.	15
Santos Junior, José A.	23
Silva, Liliane G.	39, 43
Silva, Norberto G.S.	27
Souza, Lucas A.	15
Urashima, Denise C.	11
Yoshimura, Patricia	35
Zanon, Thiago V.B.	47



GEOSAM '2024

Workshop sobre Aplicação de Geossintéticos na Região Amazônica
DESAFIOS, SOLUÇÕES E OPORTUNIDADES

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A Comissão Organizadora do GEOSAM 2024 agradece:

- à Geotecnia Brasil pelo acolhimento e divulgação online do evento
- aos apoiadores pelas chamadas de divulgação
- ao corpo revisor dos trabalhos
- ao Prof. José Antonio Schiavon pelo desenvolvimento e manutenção do site
- aos palestrantes, apresentadores e coordenadores de debates

Enfim, a todos que gentilmente se disponibilizaram a doar parte do seu tempo para que este encontro se viabilizasse.

