



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS: ASPECTOS
TÉCNICOS E LEGAIS

CÉSAR ALBERTO AGUIAR BOTELHO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BARREIRAS IMPERMEÁVEIS E
DETECÇÃO DE VAZAMENTO PARA GESTÃO DE RISCO EM BACIA DE
REJEITO DE MINERAÇÃO

Salvador

2019

CÉSAR ALBERTO AGUIAR BOTELHO

**COMPORTAMENTO DE BARREIRAS IMPERMEÁVEIS E DETECÇÃO DE
VAZAMENTO PARA GESTÃO DE RISCO EM BACIA DE REJEITO DE
MINERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Segurança de Barragens.

Orientador: Professor Luís Edmundo Prado Campos.
Coorientadora: Profa. Dra. Maria das Graças Gardoni Almeida.

Salvador

2019

CÉSAR ALBERTO AGUIAR BOTELHO

**COMPORTAMENTO DE BARREIRAS IMPERMEÁVEIS E DETECÇÃO DE
VAZAMENTO PARA GESTÃO DE RISCO EM BACIA DE REJEITO DE
MINERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Segurança de Barragens.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Luís Edmundo Prado Campos



Mestrado em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.
Universidade Federal da Bahia – UFBA.

Maria das Graças Gardoni Almeida – Coorientadora



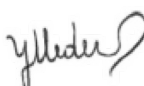
Doutora em Geotecnia pela Universidade de Brasília e, doutorado na École Polytechnique de Montreal, Canadá.
Universidade Federal de Minas Gerais.

Prof. Dr. Carlos Henrique Medeiros



Doutorado em Geotechnical Engineering, University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra.

Prof. Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros



Doutorado em Hidrologia, University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra.
Universidade Federal da Bahia - UFBA.

Salvador

2019

Dedico esse trabalho a união da minha família, presenteada por Deus. E de forma especial ao amor incondicional, da minha mãe (in memoriam) que acreditava na educação e estudo como fonte de realização e crescimento. Também dedico como gratidão a Norsan Engenharia, empresa que me abriu os caminhos para os Geossintéticos e me formou profissionalmente.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao meu Deus, que permitiu, me deu a condição e me ensinou que “onde houver duvida que eu leve a fé” e assim chegar ao final desta jornada.

À minha filha Camila Botelho, amiga e companheira de trabalho e que tem me ensinado maravilhas com sua jovialidade e competência.

Aos meus colegas de trabalho, técnicos e operários que de forma primorosa executaram com muita qualidade e primazia a instalação dos geossintéticos na barragem fruto deste trabalho e que sempre se mostraram fieis a nossa missão, visão e valores. E em especial ao querido amigo Hélio Filho nosso supervisor de obras, companheiro de muitos projetos e sempre firme nas conquistas.

As engenheiras e colegas Natalia Ângulo e Jessica Cruz, parceiras e companheiras que muito me ajudaram nesta caminhada.

A empresa Roma Tecelagem, em especial aos Eng^{os} Fernando Lavoie e ao Marco Fernando pelo apoio e realização dos ensaios nas geomembranas e georredes utilizadas no projeto.

A Ober Geossintéticos, em especial ao querido amigo e parceiro em muitos projetos Silvio Palma, que realizou os ensaios nos geotêxteis utilizados no projeto.

A Vanádio de Maracas que me permitiu a realização deste estudo e em especial aos Engos. Mauricio Coletti e Arnaldo Arantes grandes entusiastas no estudo de novas tecnologias, e em especial a utilização de geossintéticos em Mineração.

A minha coorientadora professora Maria das Graças Gardoni que sempre me estimulou em descrever a minha experiência pratica em projetos com a utilização de geossintéticos.

Aos meus sócios e amigos João Garcez e Nadja Botelho pela longa caminhada e pioneirismo na utilização de geossintéticos, tornando-se o maior acervo técnico nos seguimentos de Mineração, Recursos Hídricos e Saneamento no Brasil.

Construir pode ser a tarefa lenta e difícil de anos. Destruir pode ser o
ato impulsivo de um único dia.
(Winston Churchill)

BOTELHO, César Alberto Aguiar. Comportamento de barreiras impermeáveis e detecção de vazamento para gestão de risco em bacia de rejeito de mineração. 118 f. 2019. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

RESUMO

Adotar sistemas e tecnologias na construção de barragens que permite um melhor controle na gestão de risco da construção, operação e manutenção possibilitando mitigar os danos potenciais que este tipo de estrutura traz. Projetar bem e executar com segurança as barreiras impermeáveis em barragens de rejeitos garantem a confiabilidade do emprego dos diversos geossintéticos como materiais de reforço, contenção e impermeabilização na mineração. E desta solução técnica, está vinculada à garantia da manutenção dos parâmetros e propriedades inerentes a cada tipo de material empregado, que os conferem as qualidades e o desempenho necessário, durante todo o período requerido pelo projeto geotécnico. A Bacia de depósito de rejeitos Não Magnéticos do minério de vanádio nº 4 (BNM-04), do empreendimento Vanádio de Maracás S/A, situa-se no município de Maracás/BA e será construída em três etapas, com previsão de capacidade final de armazenamento de 1.047.532,57m³ de rejeito não magnético. Para garantia dos parâmetros adequados de estanqueidade no fundo e nos taludes da referida bacia, foi adotado um sistema de impermeabilização em quatro camadas de geossintéticos, composto por uma de geotêxtil não tecido, e uma dupla camada de geomembrana PEAD separada por um sistema de geodreno (georrede em PEAD). O objetivo desta pesquisa é avaliar a confiabilidade do sistema, na gestão de risco e assim trazer segurança ao empreendedor, através da análise do modelo adotado para o controle de fuga e detecção de vazamento. Neste trabalho, não nos prede nas análises técnicas dos materiais utilizados, mas sim o entendimento do modelo como sistema seguro e de excelente desempenho.

Palavras-chave: Geossintéticos; Barragem de rejeito; Ensaio de caracterização.

BOTELHO, César Alberto Aguiar. Comportamento de barreiras impermeáveis e detecção de vazamento para gestão de risco em bacia de rejeito de mineração. 118 f. 2019. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

ABSTRACT

Proper design and safe execution of impermeable barriers in tailings dams ensure the reliability of the use of various geosynthetics as reinforcement, containment and waterproofing materials in mining. And of this technical solution, it is bound to guarantee the maintenance of the parameters and properties inherent to each type of material used, which give them the necessary qualities and performance, throughout the period required by the geotechnical project. The Vanadium de Maracás S / A project is located in the municipality of Maracás / BA and will be built in three stages, with a final capacity forecast of the non-magnetic repository of the vanadium ore No. 4 (BNM-04) of 1,047,532.57m³ of non-magnetic waste. In order to guarantee adequate sealing parameters in the bottom and slopes of this basin, a four-layer waterproofing system of geosynthetics was used, consisting of a non-woven geotextile, and a double layer of HDPE geomembrane separated by a geodrene system (georrede in HDPE). The objective of this research is to evaluate the geotechnical behavior of the BNM-04, through the analysis of the safety model adopted for leakage detection, physical and mechanical properties of the different reinforcement materials used in laboratory characterization tests and durability in the field, as well as the analysis of non-magnetic vanadium tailings characteristics. In spite of the fact that the physical and mechanical characterization of the different materials used in the work were carried out, we did not predefine the comparative analysis with the technical datasheets of the manufacturers to verify inconsistencies, but rather the understanding of the model as a safe and excellent performance system. The durability tests were not evaluated in this study, due to the long duration of the procedure. The non-magnetic vanadium reject was designated as a sandy silt with traces of dark gray clay.

Keywords: Geosynthetics; Mining tailing dam; Characterization tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplificação dos métodos construtivos de barragens de rejeito.....	22
Figura 2. Causas de rupturas de barragens de rejeito	24
Figura 3. Etapas do processo de gestão de riscos em barragens.....	25
Figura 4. Geomembrana polimérica flexível.....	32
Figura 5. Geotêxtil tecido	33
Figura 6. Geotêxtil não tecido	34
Figura 7. Geotêxtil tricotado.....	34
Figura 8. Georrede de PEAD.....	35
Figura 9. Sistema de impermeabilização composto simples	36
Figura 10. Sistema de impermeabilização composto duplo	37
Figura 11. Mapa de localização do Projeto Vanádio de Maracás	38
Figura 12. Layout da planta de processamento do Projeto Vanádio de Maracás.....	39
Figura 13 - Posição da Bacia 04 em relação às Bacias 02 e 03	40
Figura 14. Vista geral da BNM-04 do Projeto Vanádio de Maracás - 1ª etapa.....	41
Figura 15. Detalhe do sistema de deposição do rejeito na BNM-03	42
Figura 16. Arranjo geral do Depósito de Rejeitos não Magnéticos 04, com seções típicas.....	43
Figura 17. Vista em corte e detalhe do sistema de impermeabilização do fundo e do talude interno do reservatório.....	45
Figura 18. Esquema do sistema de detecção de vazamentos da BNM-04.	46
Figura 19. Caixa coletora do sistema de detecção de vazamentos	47
Figura 20. Processo de amostragem da geomembrana.....	53
Figura 21. Processo de amostragem do geotêxtil	54
Figura 22. Processo de amostragem da georrede	54
Figura 23. Armazenamento do rejeito não magnético e identificação dos recipientes	56
Figura 24. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD - Amostra-01	66
Figura 25. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD - Amostra-02.....	67
Figura 26. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD - Amostra-01	69
Figura 27. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD - Amostra-02.....	70

Figura 28. Resultados dos ensaios de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD - Amostra-01	72
Figura 29. Resultados dos ensaios de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD - Amostra-02	73
Figura 30. Resultados dos ensaios de resistência à punção da geomembrana de PEAD - Amostra-01	75
Figura 31. Resultados dos ensaios de resistência à punção da geomembrana de PEAD - Amostra-02	75
Figura 32. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração da georrede de PEAD	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características do Depósito de Rejeitos Não Magnéticos 04	41
Tabela 2. Especificação Técnica Geomembrana GM13	50
Tabela 3. Especificação Técnica Geotêxtil RT21	51
Tabela 4. Especificação Técnica Georrede.....	51
Tabela 5. Sumário de amostragem dos geossintéticos	55
Tabela 6. Resultados do ensaio de determinação da espessura da geomembrana de PEAD ...	63
Tabela 7. Resultados do ensaio de determinação da densidade da geomembrana de PEAD...	64
Tabela 8. Resultados do ensaio de determinação do teor de negro de fumo da geomembrana de PEAD	64
Tabela 9. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD	65
Tabela 10. Análise final dos resultados de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD.....	65
Tabela 11. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD	68
Tabela 12. Análise final dos resultados de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD	68
Tabela 13. Resultados do ensaio de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD.....	71
Tabela 14. Análise final dos resultados de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD ..	71
Tabela 15. Resultados do ensaio de resistência à punção da geomembrana de PEAD.....	74
Tabela 16. Análise final dos resultados de resistência à punção da geomembrana de PEAD .	74
Tabela 17. Sumário dos resultados dos ensaios de caracterização da geomembrana.....	76
Tabela 18. Resultados do ensaio de determinação da espessura do geotêxtil cinza.....	77
Tabela 19. Resultados do ensaio de determinação da gramatura do geotêxtil cinza.....	77
Tabela 20. Análise final dos resultados de determinação da gramatura do geotêxtil cinza	78
Tabela 21. Resultados do ensaio de determinação da largura do geotêxtil cinza.....	78
Tabela 22. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração faixa larga do geotêxtil cinza.....	79
Tabela 23 – Resultados do ensaio de resistência à tração Grab do geotêxtil cinza.....	80
Tabela 24. Resultados do ensaio de resistência ao rasgo trapezoidal do geotêxtil cinza	80
Tabela 25. Resultados do ensaio de resistência ao puncionamento estático do geotêxtil cinza	81

Tabela 26. Sumário dos resultados dos ensaios de caracterização do geotêxtil	82
Tabela 27. Resultados do ensaio de determinação da espessura da georrede de PEAD	83
Tabela 28. Resultados do ensaio de determinação da gramatura da georrede de PEAD	83
Tabela 29. Resultados do ensaio de determinação do teor de negro de fumo da georrede	84
Tabela 30. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração da georrede de PEAD	84
Tabela 31. Sumário dos resultados dos ensaios de caracterização da georrede	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Cronologia das principais falhas nas barragens de rejeitos	19
Quadro 2. Comparativo de tecnologias de construção de barragens de rejeito	23
Quadro 3. Principais polímeros em geossintéticos	29
Quadro 4. Cronograma de atividades de elaboração da monografia	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais)
BA	Bahia
BNM-02	Bacia de depósito de rejeitos Não Magnéticos 02
BNM-03	Bacia de depósito de rejeitos Não Magnéticos 03
BNM-04	Bacia de depósito de rejeitos Não Magnéticos 04
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICOLD	<i>Internacional Commission on Large Dams</i> (Comissão Internacional de Grandes Barragens)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
MI	Ministério da Integração Nacional
NBR	Norma Brasileira
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PET	Poliéster
PIB	Produto Interno Bruto
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de vinila
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Geral	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 BARRAGENS DE REJEITOS DA MINERAÇÃO: RISCOS ASSOCIADOS	21
2.2 GESTÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	24
2.2.1 Avaliação dos controles de riscos	26
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOSSINTÉTICOS	27
3.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS	27
3.2 PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS	29
3.2.1 Geomembrana.....	31
3.2.2 Geotêxtil.....	32
3.2.3 Georrede	35
3.3 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO COM GEOSSINTÉTICOS	36
3.3.1 Sistema de impermeabilização simples.....	36
3.3.2 Sistema de impermeabilização composto duplo	37
4 ESTUDO DE CASO: BACIA DE REJEITOS NÃO MAGNÉTICOS 04.....	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	38
4.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO	42
4.2.1 Sistema de impermeabilização	43
4.2.2 Sistema de detecção de vazamentos	46
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
5.1 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	48
5.2 MATERIAIS ANALISADOS	50
5.2.1 Geossintéticos	50
5.2.2 Rejeito de Vanádio não Magnético	52
5.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM.....	52

5.4 MÉTODOS DE ESTUDO	57
5.4.1 Ensaios de Caracterização dos Geossintéticos	57
5.4.3.1 Ensaio de determinação da gramatura	57
5.4.3.2 Ensaio de determinação da espessura	58
5.4.3.3 Ensaio de determinação da densidade	58
5.4.3.4 Ensaio de determinação da largura	58
5.4.3.5 Ensaio de determinação do teor de negro de fumo	58
5.4.3.6 Ensaio de resistência à tração	59
5.4.3.7 Ensaio de resistência ao rasgo	60
5.4.3.8 Ensaio de resistência à punção	61
5.4.2 Ensaio de Durabilidade	62
5 CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR	63
5.1 ENSAIOS GEOTÉCNICOS DOS GEOSSINTÉTICOS	63
5.1.1 Resultados para a Geomembrana	63
5.1.1.1 Ensaios de caracterização física da geomembrana	63
5.1.1.2 Ensaios de caracterização mecânica da geomembrana.....	65
5.1.1.3 Considerações finais dos ensaios de caracterização da geomembrana.....	75
5.1.2 Resultados para o Geotêxtil	76
5.1.2.1 Ensaios de caracterização física do geotêxtil	76
5.1.2.2 Ensaios de caracterização mecânica do geotêxtil	78
5.1.2.3 Considerações finais dos ensaios de caracterização do geotêxtil	81
5.1.3 Resultados para a Georrede	82
5.1.3.1 Ensaios de caracterização física da georrede.....	83
5.1.3.2 Ensaios de caracterização mecânica da georrede	84
5.1.3.3 Considerações finais dos ensaios de caracterização da georrede	85
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6.1 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA LIMITAÇÕES FUTURAS	87
REFERÊNCIAS	90
ANEXOS	94
ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIOS DA GEOMEMBRANA_AMOSTRA 01	94
ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIOS DA GEOMEMBRANA_AMOSTRA 02	102

ANEXO C – RELATÓRIO DE ANÁLISE GEOTÊXTIL_AMOSTRA 01.....	110
ANEXO D – RELATÓRIO DE ANÁLISE GEOTÊXTIL_AMOSTRA 02.....	111
ANEXO E – RELATÓRIO DE ANÁLISE GEOTÊXTIL_AMOSTRA 03.....	112
ANEXO F – RELATÓRIO DE ENSAIOS DA GEORREDE_AMOSTRA 01.....	113
ANEXO G – RELATÓRIO DE ENSAIO DO REJEITO DE VANÁDIO_AMOSTRA 01	116

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

A história do Brasil, de acordo com Farias (2002), sempre teve uma relação estreita com a busca e o aproveitamento dos recursos minerais. Datada da “[...] época dos colonizadores, logo após o descobrimento e ocupação do território [...]” (LISBOA, p. 18, 2016), a mineração transformou-se em um dos setores básicos da economia nacional, contribuindo com insumos necessários ao desenvolvimento do país e da vida humana moderna.

Nos tempos atuais, o setor da indústria extrativa mineral (incluindo petróleo e gás natural) corresponde a 1,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, segundo dados¹ do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tendo gerado cerca de 180 mil empregos e um saldo na balança comercial de US\$ 28,3 bilhões de dólares, em 2017 (IBRAM, 2018).

Tal crescimento da produção mineral, tanto no Brasil quanto no mundo, tem como consequência a geração de grandes volumes de rejeitos resultantes do processo de beneficiamento do minério. Posto tudo isto, torna-se necessária a construção de grandes sistemas para a disposição e contenção desses materiais. Esses sistemas são denominados de “Barragens de Rejeitos”.

O incremento constante do volume de materiais extraídos, em função da crescente demanda por insumos minerais, no entanto, implica em estruturas cada vez mais altas, robustas e com maiores volumes, necessitando de alteamentos² constantes. Neste cenário, há o aumento do risco de rupturas.

Mitigar esses riscos, considerando a contramão da necessidade do aumento mundial de produção mineral, é um desafio para os órgãos regulatórios, entidades internacionais, engenharia e consciência dos empreendedores e proprietários.

Em 2010, foi promulgada a Lei nº 12.334/10 (Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB) que regulamenta barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, disposição de rejeitos de mineração e industriais, criando com isso o Sistema

¹ Dados referentes ao ano de 2014 (IBRAM, 2018).

² “Quaisquer incrementos de altura do maciço de barragens, [...] projetados e construídos para aumento de capacidade volumétrica, elevação de lâmina de água, [...] ou outro motivo [...]” (NBR 13028, 2017).

Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens. A partir disso, órgãos, sociedade civil, entes públicos e privados poderão assegurar a integridade das barragens, do meio ambiente e dos seres humanos que vivem no entorno.

Mesmo com todo o avanço nas diversas tecnologias construtivas de menor risco, acidentes com danos a vida humana, ao meio ambiente e a sociedade vêm acontecendo com frequência, trazendo prejuízos socioambientais irreversíveis ao entorno desses empreendimentos. Abaixo, apresenta-se um quadro com os principais acontecimentos que marcaram a trajetória de acidentes na mineração.

Quadro 1. Cronologia das principais falhas nas barragens de rejeitos

LOCAL	DATA	ATIVIDADE	ACIDENTE	VOLUME (m ³)
Barragem de Córrego do Feijão (Minas Gerais, Brasil)	jan. 19	Beneficiamento de minério de ferro	Rompimento de uma barragem e transbordamento de outra	12 milhões
Mina de Mariana (Minas Gerais, Brasil)	nov. 15	Extração de ferro	Rompimento das barragens de Santarém e de Fundão	45 milhões
Mina de Mount Polley (British Columbia, Canadá)	ago. 14	Extração de cobre e ouro	Rompimento de barragem por falta de estrutura adequada na fundação	24,5 milhões
Mina de Omai (Guiana)	ago. 95	Extração de ouro	Erosão interna da barragem	4,2 milhões
Mina de Payne Creek (Flórida, Estados Unidos)	out. 94	Extração de fosfato	Falha na estrutura da represa	6,8 milhões
Mina de Fort Meade (Flórida, Estados Unidos)	dez. 71	Extração de fosfato	Falha de causa desconhecida em barragem	9 milhões

Fonte: Adaptado de Wise Uranium Project, 2019.

Sem dúvidas, promover a segurança de barragens consiste numa tarefa abrangente e complexa, considerando a importância assumida pelas barragens no desenvolvimento socioeconômico, em contraste com os possíveis danos, tanto ambientais quanto humanos que podem acarretar, caso ocorra um rompimento. Posto isso, evitar a concretização de quaisquer tipos de acidentes, torna-se indispensável. Logo, ações de gestão dos riscos devem ser realizadas constantemente, atendendo a um dos objetivos estabelecidos na PNSB, e previstos na Lei 12.334/2010 (art. 3º, inciso VII).

O processo de gestão de riscos compreende, dentre outras etapas, a análise de riscos que envolve a compreensão da natureza e do nível de um risco particular. Nesta análise, no entanto, convém realizar a avaliação dos controles implementados para tratar o referido risco. Como produto desta avaliação, é possível determinar se o risco está controlado e em níveis toleráveis.

Pretende-se com este trabalho estudar o comportamento do sistema de detecção de vazamentos e sistema de impermeabilização com geossintéticos adotado na bacia de rejeitos

da Mineradora “Vanádio de Maracás”, como meio de análise de riscos do controle de percolação da estrutura de barramento. Para tanto, fez-se necessário avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais utilizados no projeto por meio de ensaios laboratoriais de caracterização e ensaio de durabilidade, em campo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar o comportamento do sistema de impermeabilização e detecção de vazamento com geossintéticos da estrutura de barramento do Projeto Vanádio de Maracás. O enfoque é aplicado na análise de riscos, a fim de determinar se a referida medida de controle é eficiente e adequada ao tratamento do risco de percolação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar a avaliação do sistema de controle do risco de percolação da bacia do Projeto Vanádio de Maracás;
- b) Estudar o comportamento dos geossintéticos adotados no sistema de controle;
- c) Determinar a adequação e eficácia do controle no tratamento do risco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BARRAGENS DE REJEITOS DA MINERAÇÃO: RISCOS ASSOCIADOS

A geração de resíduos é parte de qualquer processo produtivo. No caso da exploração mineral, destaca-se a geração de resíduos sólidos resultantes da extração – o estéril – e do tratamento/beneficiamento do minério – os rejeitos.

De modo geral, segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2016), os resíduos da mineração são compostos por:

“[...] pilhas de minérios pobres, estéreis, rochas, sedimentos, solos, aparas e lamas das serrarias de mármore e granito, as polpas de decantação de efluentes [...]. Os outros resíduos resultantes da operação das plantas de mineração são, em geral, os efluentes das estações de tratamento, os pneus, as baterias utilizadas nos veículos e maquinários, além de sucatas e resíduos de óleo em geral, cuja disposição se dá em locais e forma a eles adequados”.

A depender do tipo de mineral processado e dos tratamentos envolvidos no procedimento de extração, os rejeitos podem apresentar variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas, o que conseqüentemente, pode acarretar variados efeitos no meio ambiente. Ainda de acordo com a fonte supracitada, os rejeitos são classificados em:

- a) Rejeitos de granulometria fina, denominados de lama;
- b) Rejeitos de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), denominados de rejeitos granulares.

Para além dos impactos atrelados às características dos rejeitos, ressaltam-se também os desafios vinculados ao manejo adequado dos resíduos gerados pela atividade mineral. A crescente demanda por insumos minerais, tanto no Brasil quanto no mundo, tem como consequência o incremento constante dos volumes de rejeitos resultantes do processo de beneficiamento do minério. Posto isso, a disposição final e o gerenciamento dos resíduos da mineração constituem um ponto importante nesta atividade.

Convencionalmente, segundo Amorim (2013) e a norma 13.028³ (2017), as soluções técnicas adotadas para disposição dos resíduos da mineração envolvem a utilização de grandes áreas para o depósito do material estéril e a construção de grandes estruturas de

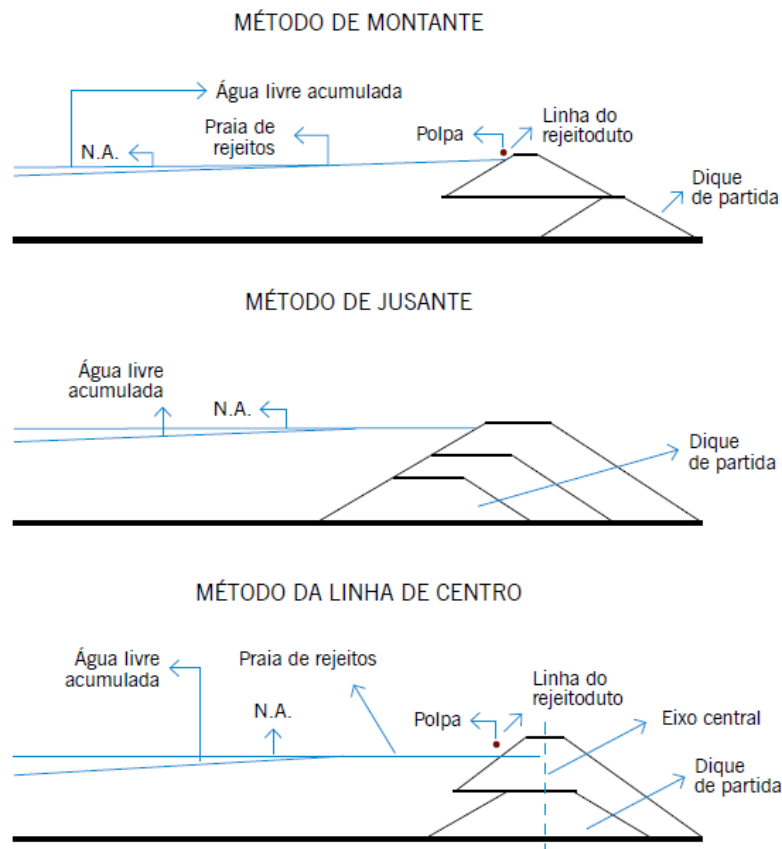
³ Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos.

retenção, de forma planejada, projetada e controlada dos rejeitos advindos do processo de beneficiamento do minério, denominadas de “barragens de rejeitos”.

Conforme exposto por Sabbo, Assis & Berterquini (2017), as barragens de contenção dos rejeitos da mineração são estruturas complexas e que requerem cuidados especiais na elaboração dos projetos de engenharia, operação e manutenção das estruturas, mesmo após a sua inativação. Ainda assim, mesmo com os avanços das tecnologias associadas à disposição de rejeitos ao longo dos últimos anos, o risco de ruptura é alto, devido a diversos problemas de ordem construtiva e geotécnica.

Segundo Fontenelle (2007 *apud* Fontenelle et. al., 2018), o risco depende de fatores intrínsecos à barragem, seja de natureza física e/ou socioeconômica. Para o caso de barragens de rejeito de mineração, por exemplo, o risco mais considerável está associado aos métodos construtivos da estrutura de barramento (ver Figura 1).

Figura 1. Exemplificação dos métodos construtivos de barragens de rejeito



Fonte: IBRAM, 2016.

Neste ponto, diversos estudos apontam que o método de “alçamento a montante” é considerado o menos seguro, se comparado com os métodos de “alçamento a jusante” e de “linha de centro”, tendo em vista as características apresentadas no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Quadro 2. Comparativo de tecnologias de construção de barragens de rejeito

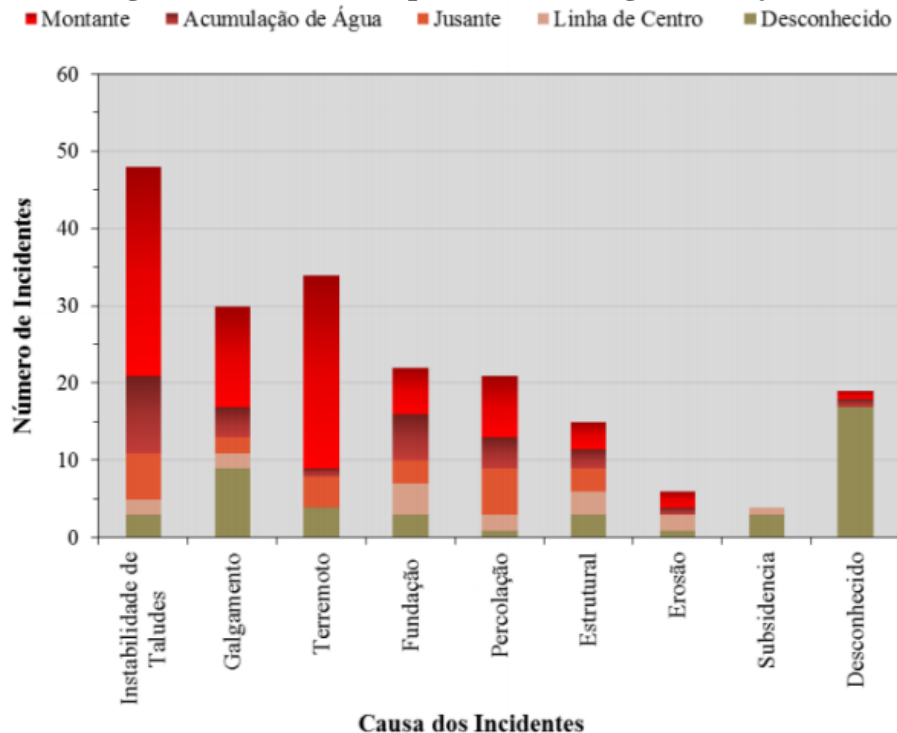
	MÉTODO CONSTRUTIVO		
	MONTANTE	JUSANTE	LINHA DE CENTRO
Descrição	Consiste na construção e alçamento sempre a montante do dique de partida, sobre o rejeito já consolidado. É o método mais antigo.	Consiste na construção e alçamento do barramento sempre a jusante do dique de partida.	Consiste na construção e alçamento tanto a montante quanto a jusante, acompanhando um eixo vertical.
Vantagens	Mais simples e econômico.	Controle do lançamento e da compactação do rejeito. Resistência a carregamentos dinâmicos, facilitando a drenagem.	Menor espaço físico. Menor custo. Permite a utilização de zonas de drenagem interna. Adequado para áreas de alta sismicidade.
Desvantagens	Baixo controle construtivo. Baixa resistência ao cisalhamento. Susceptibilidade à liquefação. Dificuldade na implantação de sistema interno de drenagem eficiente.	Necessita de maiores volumes de material para construção. Maiores custos associados ao processo de ciclonagem. Maior área ocupada.	Maior risco de ruptura por piping. Possibilidade de ocorrência de fissuras no corpo da barragem.

Fonte: IBRAM, 2016; Cardozo et. al., 2016.

Historicamente, segundo a ICOLD – *Internacional Commission on Large Dams* (2001, *apud* Machado; Azeez, 2018), as principais causas de rupturas de barragens de rejeito consistem em problemas estruturais, de fundação, de percolação, instabilidade dos taludes, galgamento, falta de controle de erosão, capacidade inadequada dos vertedouros, bem como deficiências no controle e na inspeção pós-operação. Ressalta-se que estes mecanismos ocorrem com maior frequência em barragens construídas pelo método de alçamento a montante (vide Figura 2).

Machado e Azeez (2018) explanam ainda que todas as causas de acidentes citadas anteriormente estão diretamente à falta de controle durante a operação das barragens de rejeitos, além de estarem associadas a problemas operacionais que envolvem a presença e percolação de água.

Figura 2. Causas de rupturas de barragens de rejeito



Fonte: Machado e Azeez, 2018.

2.2 GESTÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

Segurança de barragem, segundo definição apresentada pelo Ministério da Integração Nacional – MI (2010), consiste na capacidade da estrutura apresentar um bom desempenho no que diz respeito aos aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais, a fim de evitar incidentes ou acidentes, e proteger as populações, bens e o meio ambiente situados à jusante.

Para garantir tal capacidade, faz-se necessária a atuação dos órgãos competentes na gestão de segurança de barragens - através da adoção de procedimentos práticos que permitam a prevenção, controle de riscos e tomada de decisões sobre situações incertas -, visando englobar os seguintes fatores: hidráulico-operacionais, estruturais, ambientais, sociais e econômicos (INAG – Instituto da Água, 2001 *apud* Fontenelle et. al., 2018).

Neste contexto, a Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), aplicável às barragens destinadas à acumulação de água, à disposição de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, tendo como um dos principais objetivos, fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

Gestão de riscos, segundo a norma ISO 31.000/2009⁴, consiste no conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que se refere a riscos. A definição do risco, por sua vez, compreende a probabilidade e a severidade de um efeito adverso para a saúde, para a propriedade ou para o meio ambiente. O risco é estimado por expectativas matemáticas das consequências de um evento adverso (MI, 2002).

Quando se trata de estruturas geotécnicas, a gestão ou gerenciamento da segurança de barragens, através da gestão de riscos atua como importante ferramenta de identificação dos modos de falha, orientando no planejamento estratégico de monitoramento, indicando a necessidade de eventuais investigações e/ou análises detalhadas e servindo como base para a tomada de decisões acerca da priorização de investimentos (PIMENTA DE ÁVILA, 201-).

Tendo em vista o conteúdo da ISO 31.000/2009, convém que o processo de gestão de risco aplicado à operação de barragens compreende as atividades apresentadas na Figura 3.

Figura 3. Etapas do processo de gestão de riscos em barragens



Fonte: Adaptado de ISO 31.000/2009.

Conforme apresentado na figura acima, a gestão de riscos compreende a utilização dos resultados obtidos na etapa de ‘análise dos riscos’, fornecendo, portanto, uma entrada para a avaliação de riscos e para as decisões sobre a necessidade dos riscos serem tratados, e sobre as estratégias e métodos mais adequados de tratamento de riscos.

⁴ Gestão de riscos — Princípios e diretrizes.

Análise de riscos, segundo a norma ISO 31.010/2012⁵ da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) envolve desenvolver a compressão dos riscos, além da apreciação das causas e fontes associadas. Para tanto, convém considerar os seguintes pontos:

- Determinação das consequências dos riscos e a probabilidade de ocorrência dessas consequências;
- Avaliação dos controles existentes, no que tange à sua eficácia e eficiência no tratamento dos riscos;
- Consideração das causas e fontes de risco;
- Análise e estimativa de probabilidades.

Os métodos de análise de riscos podem ser qualitativos, semi-quantitativos ou quantitativos. A avaliação qualitativa define consequência, probabilidade e nível de risco por níveis de significância, tais como “alto”, “médio” e “baixo”. Neste método de análise, convém realizar uma explicação clara de todos os termos e critérios empregados.

A avaliação semi-quantitativos utilizam escalas de classificação numérica para consequência e probabilidade. Por fim, a análise quantitativa estima valores práticos para consequências e suas probabilidades, e produz valores do nível de risco

De modo geral, segundo a norma ISO 31.010/2012, a análise de riscos pode ser realizada com diversos graus de detalhe, dependendo do risco, da finalidade da análise e das informações, dados e recursos disponíveis. Neste trabalho, o enfoque da análise de risco será a avaliação dos controles implementados na bacia de rejeitos do Projeto Vanádio de Maracás.

2.2.1 Avaliação dos controles de riscos

Segundo a norma ISO 31.010 (2012), os controles consistem nas medidas implementadas para modificar o risco, sendo que estas podem incluir qualquer processo, política, dispositivo, prática ou outras ações. No entanto, nem sempre os controles conseguem exercer o efeito de modificação pretendido ou presumido.

Assim sendo, faz-se necessária a avaliação da adequação e eficácia dos controles implementados para o tratamento de um risco particular, isto é, se estão operando na forma pretendida. Como produto desta avaliação, é possível determinar se o risco está controlado e em níveis toleráveis.

⁵Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOSSINTÉTICOS

3.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

De acordo com o conteúdo da Norma Brasileira (NBR) ISO 10318-1/2018⁶, geossintético é o termo genérico de um produto polimérico, sintético ou natural, sob a forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, utilizado em obras da engenharia geotécnica e civil, podendo desempenhar, simultaneamente, uma ou mais das seguintes funções (SIEIRA, 2003):

- a) Controle de erosão superficial: Proteger a superfície do terreno contra o arraste de partículas pela ação de ventos e águas superficiais;
- b) Drenagem: Coletar e/ou facilitar os movimentos de fluídos no interior do maciço;
- c) Filtração: Permitir a passagem e coleta de fluídos, sem a movimentação de partículas do maciço;
- d) Reforço: Restringir deformações e aumentar a resistência do maciço em obras geotécnicas, aproveitando a resistência à tração do material geossintético;
- e) Separação: Evitar a mistura entre materiais granulares com características geotécnicas distintas;
- f) Impermeabilização: Conter o avanço de uma pluma de contaminação, evitando a migração de líquidos ou gases em aplicações ambientais;
- g) Proteção: Reduzir solicitações localizadas, homogeneizando o nível das tensões que atingiriam determinada superfície ou camada.

“A utilização de materiais como elemento de reforço de solos consiste numa prática comum desde antes de Cristo” (SIEIRA, p. 39, 2003). Há milhares de anos, materiais de origem vegetal constituídos de fibras resistentes – estivas de junco, bambus, madeira, raízes, entre outros -, eram constantemente empregados no processo de estabilização e melhoramento do solo para a construção de edificações grandiosas, tais como os templos zigurates da Babilônia e a muralha da China (VERTEMATTI, 2001; LOPES, 1998 apud, CARNEIRO, 2009).

⁶ Geossintéticos - Parte 1: Termos e definições.

Na era moderna, a primeira referência de aplicação de tecidos na construção refere-se à utilização de um geotêxtil tecido feito de algodão como elemento de reforço de pavimentos de estradas da Carolina do Sul, Estados dos Unidos da América, em 1926 (SIEIRA, 2003; GOMES, 2001). No entanto, a utilização sistemática de inclusões geotécnicas verificou-se apenas no final da década de 40/início da década de 50, com o aparecimento dos polímeros sintéticos (LOPES, 1998 apud, CARNEIRO, 2009; SIEIRA, 2003).

Segundo Vertematti (2001), esse momento, denominado de “Era dos Geossintéticos”, foi consequência do desenvolvimento da indústria petroquímica e a consequente disseminação de produtos plásticos, que iniciou logo após o término da segunda guerra mundial. A partir desse ponto, uma gama de produtos similares e/ou correlatos foram desenvolvidos. Na década de 60 surgiram os geotêxteis não tecidos (LOPES, 1998 apud, CARNEIRO, 2009).

Gomes (2001) denota que na década de 70, verificou-se um grande desenvolvimento com o aparecimento de outros materiais como as geomembranas, geogrelhas, geocompostos e outros, tendo levado ao termo geossintético já nos anos 80. “Em 1994, no Congresso de Singapura, a Sociedade Internacional de Geotêxteis e Produtos Afins consagrou universalmente esta terminologia ao adotar a designação de Sociedade Internacional de Geossintéticos” (SIEIRA, p. 40, 2003).

No Brasil, os materiais geossintéticos só passaram a ser utilizados em 1971, com a fabricação do primeiro geotêxtil não-tecido. Desde então, as aplicações destes materiais em obras de reforço de aterros, taludes e fundações vem aumentando gradativamente (SIEIRA, 2003).

Sieira (2003) denota que com o aumento da utilização dos geossintéticos, a comunidade técnica realizou diversas conferências internacionais específicas, encontros e simpósios nacionais/regionais sobre o tema, bem como publicou em revistas especializadas de elevado nível técnico. Vertematti (2001) destaca os principais encontros realizados no Brasil:

- 1992, o “Seminário sobre Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia - Geossintéticos 92” em Brasília;
- 1995, o “2º Simpósio Brasileiro sobre Aplicações de Geossintéticos”, em São Paulo;
- 1999, o “3º Simpósio Brasileiro sobre Geossintéticos / 1º Simpósio Sul-americano de Geossintéticos”, foram realizados no Rio de Janeiro.

3.2 PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

Segundo observação de Sieira (2003), as propriedades finais de um geossintético estão diretamente relacionadas com a composição química e a estrutura do polímero que o constitui. Existem inúmeros tipos de polímeros, os quais podem ser naturais ou sintéticos. Na fabricação dos geossintéticos, no entanto, os polímeros mais empregados são o polietileno (PE), o polietileno de alta densidade (PEAD) o polipropileno (PP), o poliéster (PET), o policloreto de vinila (PVC) e a poliamida (PA). No Quadro 3 estão listadas as características, vantagens e desvantagens dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos.

Quadro 3. Principais polímeros em geossintéticos

POLÍMERO	PROPRIEDADES	VANTAGENS	DESVANTAGENS	TIPOS DE GEOSSINTÉTICOS
Polietileno	Inflamáveis; baixa resistência à fluência.	Atividade química nula em soluções ácidas e básicas; Custo baixo	Modulo elástico reduzido; Grande deformação na ruptura	Geotêxteis Geomembranas Geocompostos Geogrelhas Georredes
Polipropileno	(mesmo que polietileno); altamente resistente.			Geotêxteis Geomembranas Geocompostos Geogrelhas
Poliéster	Pouco susceptível à fluência; Sensíveis à hidrólise em pH elevado.	Elevado módulo de elasticidade; Custo relativamente baixo	Redução das características mecânicas em soluções fortemente alcalinas.	Geotêxteis Geocompostos Geogrelhas
Policloreto de vinila	-	-	-	Geomembranas Geocompostos
Poliamida	Sensíveis à hidrólise;	Resistência à abrasão alta; Módulo elástico elevado	Perda das características mecânicas por permanência prolongada em água; Custo elevado	Geotêxteis Geocompostos Geogrelhas

Fonte: Adaptado de Sieira, 2003.

A melhoria e/ou variação das propriedades de um geossintético, no entanto, pode ser obtida a partir da introdução de diversos aditivos durante o processo de fabricação. Os aditivos mais comumente utilizados são os estabilizantes térmicos, os anti-UV e os

antioxidantes. A seguir estão apresentadas as definições de algumas das principais propriedades dos geossintéticos.

a) Propriedades Físicas

- Espessura

A espessura é definida como a distância entre uma superfície plana e sua superfície paralela, oposta e plana; nos geossintéticos têxteis, é a distância entre as superfícies superior e inferior do material (ASTM D 5199).

Consiste em uma das propriedades físicas básicas mais utilizadas para controlar a qualidade dos geossintéticos. Valores de espessura podem ser necessários para o cálculo de algumas propriedades geotécnicas, como permeabilidade, tensão de tração, entre outras.

- Densidade

A densidade é definida como a relação entre a massa de um dado volume da porção impermeável do material geossintético a 23 °C e a massa de água destilada ou desmineralizada, sem gás, de mesmo volume e na mesma temperatura (ASTM D 792).

A gravidade específica ou densidade de um sólido é uma propriedade que é convenientemente determinada para identificar um material, para determinar mudanças físicas em uma amostra, para indicar o grau de uniformidade entre diferentes corpos de prova, ou para indicar a densidade média de um item grande. Mudanças na densidade de um material são devidas a diferenças localizadas na cristalinidade, perda de plastificante, absorção solvente, ou a outras causas.

- Gramatura

A gramatura é a relação entre a massa e área do corpo de prova, sendo muito utilizada para controle de qualidade, no que tange a determinação da conformidade da amostra (ASTM D 5261).

- Teor de negro de fumo

As informações fornecidas por essa propriedade são úteis para o controle de qualidade, assistência técnica e pesquisa; e é exigido por várias especificações de materiais e pelo cálculo da capacidade de absorção óptica (ASTM D 1603).

b) Propriedades Mecânicas

- Resistência à tração

Resistência à tração é definida como a “máxima resistência por unidade de largura observada durante um ensaio no qual o corpo de prova é tracionado até a ruptura” (NBR ISO 10319/2013), sendo, portanto, considerada uma propriedade útil para caracterização qualitativa de geossintéticos.

- Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo é, segundo a norma americana ASTM D 1004, a força necessária para iniciar ou continuar ou propagar um rasgo em um tecido sob condições especificadas.

- Resistência à punção

A resistência à punção é definida como “o mecanismo de resistência inerente ao corpo de prova à falha por um objeto penetrante ou perfurante” (ASTM D 4833).

As próximas subseções apresentam, em detalhe, as principais características dos geossintéticos de interesse para este trabalho (geomembrana, geotêxtil e georrede):

3.2.1 Geomembrana

Estrutura bidimensional, de baixíssima permeabilidade, composto predominantemente por asfaltos, elastômeros ou plastômeros, produzida industrialmente em forma de lâmina e utilizada para controle de fluxo e separação, nas condições de solicitação (NBR ISO 10318-1/2018; VERTEMATTI, 2001). “A geomembrana é chamada “reforçada” quando há uma armadura de reforço incorporada ao produto, formando uma estrutura monolítica. A

geomembrana texturizada é aquela com acabamento superficial rugoso com a função de aumentar as características de atrito de interface” (COLMANETTI, p. 28, 2006).

Figura 4. Geomembrana polimérica flexível



Fonte: Vertematti, 2001.

“As geomembranas são classificadas em sintéticas ou asfálticas, de acordo com o polímero empregado em sua fabricação” (COLMANETTI, p. 28, 2006). Atualmente, os mais utilizados são o PVC, o PP e o PE. Dentre as suas aplicações, destacam-se: aterros sanitários; lagoas de contenção e de tratamento de resíduos industriais; lagoas para piscicultura, esporte e lazer; canais de adução e irrigação; esterqueiras, entre outras.

3.2.2 Geotêxtil

Os geotêxteis são produtos têxteis, bidimensionais, permeáveis, compostos por fibras sintéticas ou naturais, utilizados em contato com o solo e/ou outros materiais em aplicações da engenharia geotécnica e civil (NBR ISO 10318-1/2018). Por se adequarem à maioria das funções dos geossintéticos, tais como reforço, drenagem, filtragem e separação, os geotêxteis possuem uma vasta área de aplicação, conforme os itens elencados a seguir (BENJAMIM; GUIMARÃES, 2015):

- Construção de rodovias com diferentes solos;
- Taludes íngremes e aterros sobre solos moles;
- Substituição de filtros de areia naturais;
- Elemento impermeável a líquidos ou vapores, quando impregnados com asfalto.

Estes materiais podem ser classificados em três categorias de acordo com o arranjo estrutural de suas fibras: tecidos, não tecidos ou tricotados.

Geotêxtil tecido

Os geotêxteis tecidos, de acordo com Vertematti (2001), são produtos oriundos do entrelaçamento de dois ou vários conjuntos de fios, laminetes, monofilamentos ou outros elementos, seguindo duas direções perpendiculares entre si: a trama (sentido perpendicular à direção de fabricação) e o urdume (sentido longitudinal – a própria direção de fabricação), a fim de formar uma estrutura plana.

Figura 5. Geotêxtil tecido



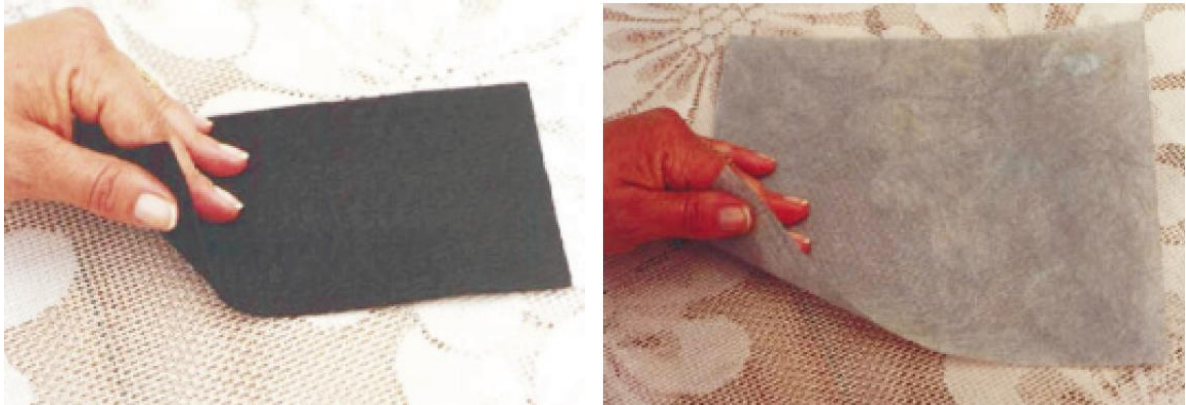
Fonte: Vertematti, 2001.

Geotêxtil não tecido

Geotêxtil composto por fibras cortadas, filamentos contínuos ou outros elementos, distribuídos de forma direcional ou aleatória, os quais são interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos (VERTEMATTI, 2001). A seguir são elencados os variados tipos de geotêxtil não tecido:

- Geotêxtil não tecido agulhado: Fibras interligadas mecanicamente, por processo de agulhagem (Figura 6 a);
- Geotêxtil não tecido termoligado: Fibras interligadas por fusão parcial obtida por aquecimento (Figura 6 b);
- Geotêxtil não tecido resinado: Fibras interligadas por meio de produtos químicos.

Figura 6. Geotêxtil não tecido



(a) Geotêxtil não tecido agulhado

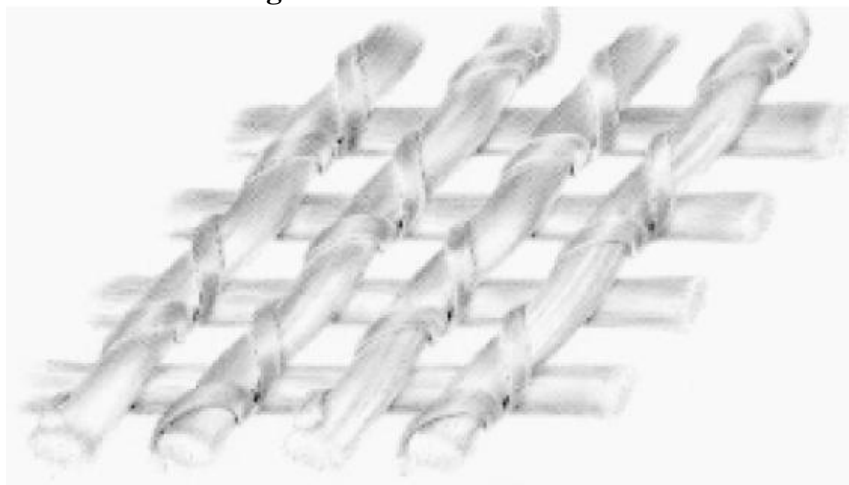
(b) Geotêxtil não tecido termoligado

Fonte: Vertematti, 2001.

Geotêxtil tricotado

Geotêxtil produzido pelo entrelaçamento de um ou vários fios, filamentos ou outros elementos por tricotamento (NBR ISO 10318-1/2018).

Figura 7. Geotêxtil tricotado



Fonte: Vertematti, 2001.

3.2.3 Georrede

Geossintético com estrutura em forma de grelha, constituído por conjuntos de elementos paralelos superpostos e completamente conectados a outros elementos similares a vários ângulos, com função predominante de drenagem.

As georredes, de acordo com Tegape (20--), possuem estrutura tridimensional com grande volume de vazios (elevada capacidade de vazão), ótima resistência mecânica, química e ao intemperismo. Substitui camadas espessas de materiais naturais, tais como pedra britada, seixo rolado, cascalho e areia, além de ser comumente utilizado em conjunto com outros geossintéticos formando os geocompostos. Pode ser utilizada entre dois geotêxteis, entre duas geomembranas ou entre um geotêxtil e uma geomembrana, para evitar que seus canais sejam obstruídos pelo solo ou pelos resíduos.

Ainda segundo a fonte supracitada, as principais aplicações das georredes são:

- Drenagem de aterros sanitários e industriais;
- Drenagem de canais de irrigação e de adução;
- Campos esportivos e jardins suspensos;
- Drenagem vertical em muros de arrimo e rodovias;
- Drenagem em sistemas de impermeabilização;
- Drenagem subsuperficial em lagoas; e
- Como proteção mecânica da geomembrana.

Figura 8. Georrede de PEAD



Fonte: Vertematti, 2001.

3.3 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO COM GEOSSINTÉTICOS

Conforme apresentado na seção 2.1, o vazamento e a infiltração de líquidos através da estrutura de barramento consistem em um dos fenômenos de interesse para segurança de barragem, visto que problemas de percolação correspondem a uma das principais causas de acidentes em barragens.

Os sistemas de impermeabilização consistem “[...] confinar os resíduos por meio de barreiras impermeáveis, o que por consequência, os protege da entrada de líquidos e evita a infiltração de percolados [...]” (BUENO et. al, 2004 *apud* LOCASTRO; De ANGELIS, 2016).

Segundo Duarte (2009), os sistemas de impermeabilização podem utilizar vários tipos de materiais e em diferentes configurações, que dependem da exigência da estrutura e das particularidades do projeto. De modo geral, de acordo com Lange et. al. (2008), os materiais que compõem um sistema de impermeabilização devem apresentar as seguintes características: estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries; e, compatibilidade com os resíduos a serem dispostos.

Os geossintéticos, conforme exposto na subseção anterior, consistem em materiais que reúnem todas essas características, sendo, portanto, amplamente utilizados para a função de impermeabilização. A seguir, apresentam-se os tipos de sistemas de impermeabilização com geossintéticos existentes.

3.3.1 Sistema de impermeabilização simples

A definição de sistemas de impermeabilização simples – recomendados para estruturas de depósitos de resíduos não perigosos -, considerada pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) consiste naqueles “[...] constituídos de pelo menos uma geomembrana associada a uma camada de solo compactado” (LODI ET. AL., 2009). A Figura 9 apresenta a representação esquemática da configuração mínima deste tipo de sistema.

Figura 9. Sistema de impermeabilização composto simples



Fonte: Lodi et. al., 2009.

3.3.2 Sistema de impermeabilização composto duplo

A Figura 10 apresenta a configuração de sistema de impermeabilização para estruturas de depósitos de resíduos perigosos, o qual é composto por duas camadas de geomembranas, uma camada de solo argiloso compactado, além de uma camada de detecção de infiltração e um sistema de coleta de percolado (georrede e geotêxtil).

De acordo com Duarte (2009), o sistema de detecção e de drenagem do percolado tem como objetivo atribuir mais segurança a todo o sistema de impermeabilização e assim prevenir e evitar danos ambientais.

Figura 10. Sistema de impermeabilização composto duplo



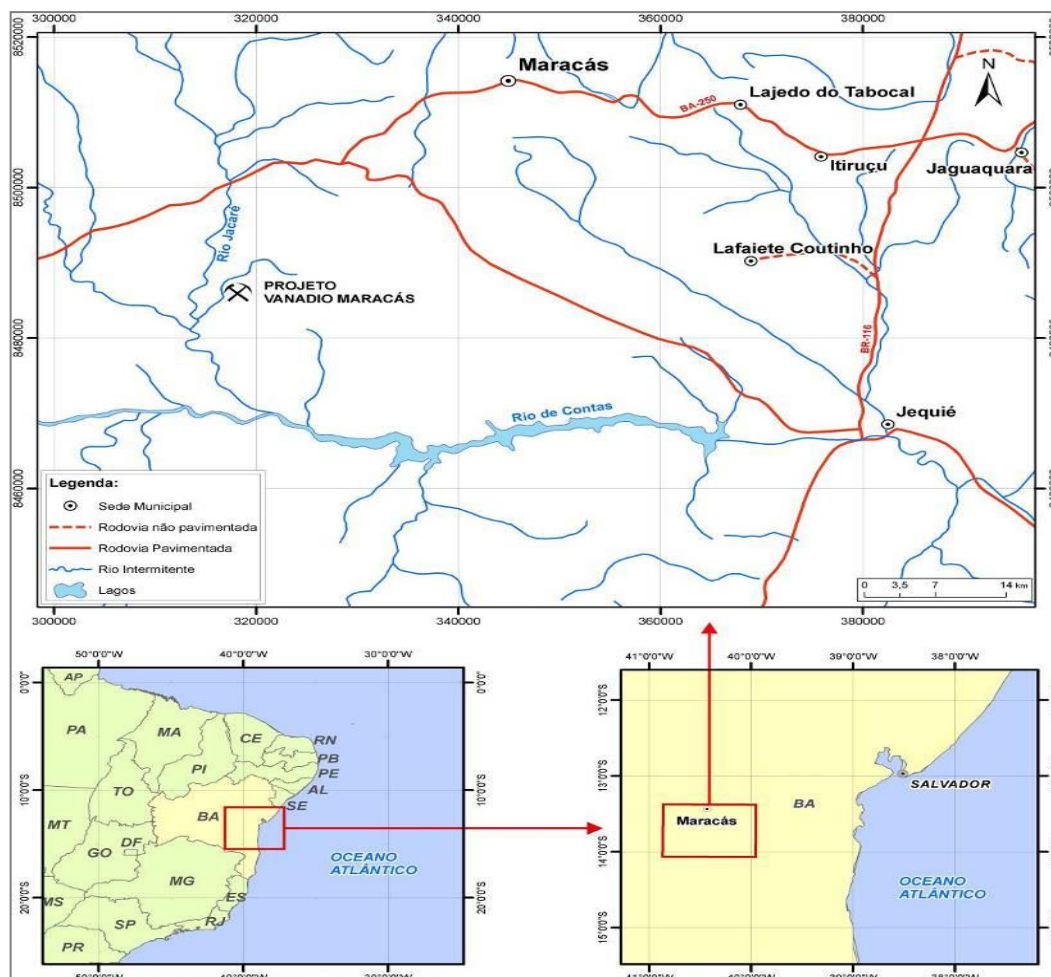
Fonte: Lodi et. al., 2009.

4 ESTUDO DE CASO: BACIA DE REJEITOS NÃO MAGNÉTICOS 04

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Bacia de Depósito de Rejeitos Não Magnéticos 04 (BNM-04), objeto de estudo desta pesquisa, refere-se a uma das estruturas de disposição controlada dos rejeitos não magnéticos gerados a partir da exploração e beneficiamento do vanádio na mineradora “Vanádio de Maracás S/A”; empresa pertencente ao grupo canadense Largo Resources Ltda., e situada no município de Maracás/BA, a 400 km de distância da capital Salvador. A localização do Projeto Vanádio Maracás pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11. Mapa de localização do Projeto Vanádio de Maracás



Fonte: MLF Geomecânica, 2018.

A vida útil do empreendimento, cujas atividades iniciaram em 2009/2010, será de 24 anos, tendo sido prevista uma taxa média de processamento de 1.900.000 t/ano de minério de

vanádio com um teor de 1,14% de V_2O_5 , em 2020. Dada à capacidade da mina, a planta foi projetada para operar 365 dias por ano, 7 dias/semana, 24 horas/dia.

O processo de extração, no entanto, resulta na necessidade de várias instalações de armazenamento de rejeitos e pilhas de resíduos. Dentre os rejeitos gerados pelo processo, destacam-se o calcinado lixiviado oriundo da descarga do forno de processamento, o rejeito cloretado e os rejeitos inertes primários originários da separação magnética (RODRIGUEZ; SILVA; XAVIER, 2017).

A área designada para a disposição dos rejeitos não magnéticos em bacias, bem como para as barragens de rejeito cloretado, está localizada ao sul da planta de processamento, enquanto que os depósitos de rejeito de calcário lixiviado estão ao norte da planta, conforme a Figura 12.

Figura 12. Layout da planta de processamento do Projeto Vanádio de Maracás



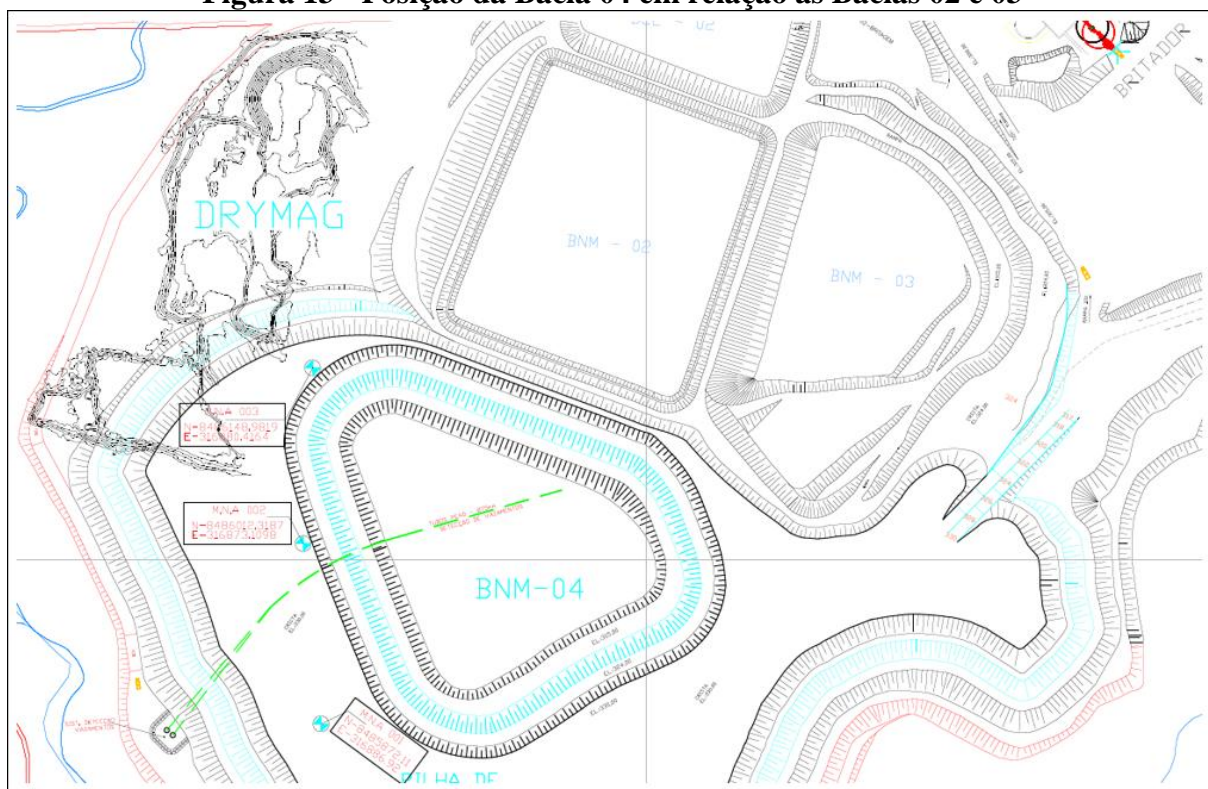
Fonte: Rodriguez; Silva; Xavier, 2017.

O projeto de depósito dos rejeitos não magnéticos consiste em uma série de bacias – no total de 06 -, as quais, devido à largura elevada e, em função de disponibilidade de espaço e conveniências operacionais, foram construídas com material estéril oriundo da cava, o que

as confere uma característica de resistência extremamente elevada para os taludes constituintes do barramento.

A BNM-04, ainda em fase de construção, encontra-se contígua a Bacia do Depósito de Rejeitos não Magnéticos 02 (BNM-02) – já exaurida – e, próxima a Bacia do Depósito de Rejeitos não Magnéticos 03 (BNM-03), conforme a Figura 13, cuja capacidade de armazenamento encontra-se em processo de exaustão. Assim que concluída (previsão de término da construção para 2019), estima-se que a BNM-04 terá vida útil de aproximadamente 03 anos (RODRIGUEZ; SILVA; XAVIER, 2017).

Figura 13 - Posição da Bacia 04 em relação às Bacias 02 e 03



Fonte: MLF Geomecânica, 2018.

A referida bacia será construída em três etapas, com previsão de capacidade final de armazenamento de $1.047.532,57\text{m}^3$ de rejeito não magnético. O maciço final da bacia apresentará elevação máxima de 330,0m e 1,0m de *free board*. Além disso, em sua conformação final, o dique atingirá altura máxima de 44,70m. Na Tabela 1 são apresentadas as características gerais da bacia.

Em função das características do rejeito a ser depositado na Bacia do Depósito de Rejeito não Magnético 04 – Classe I-A (perigoso) -, esta foi concebida para ser estanque por

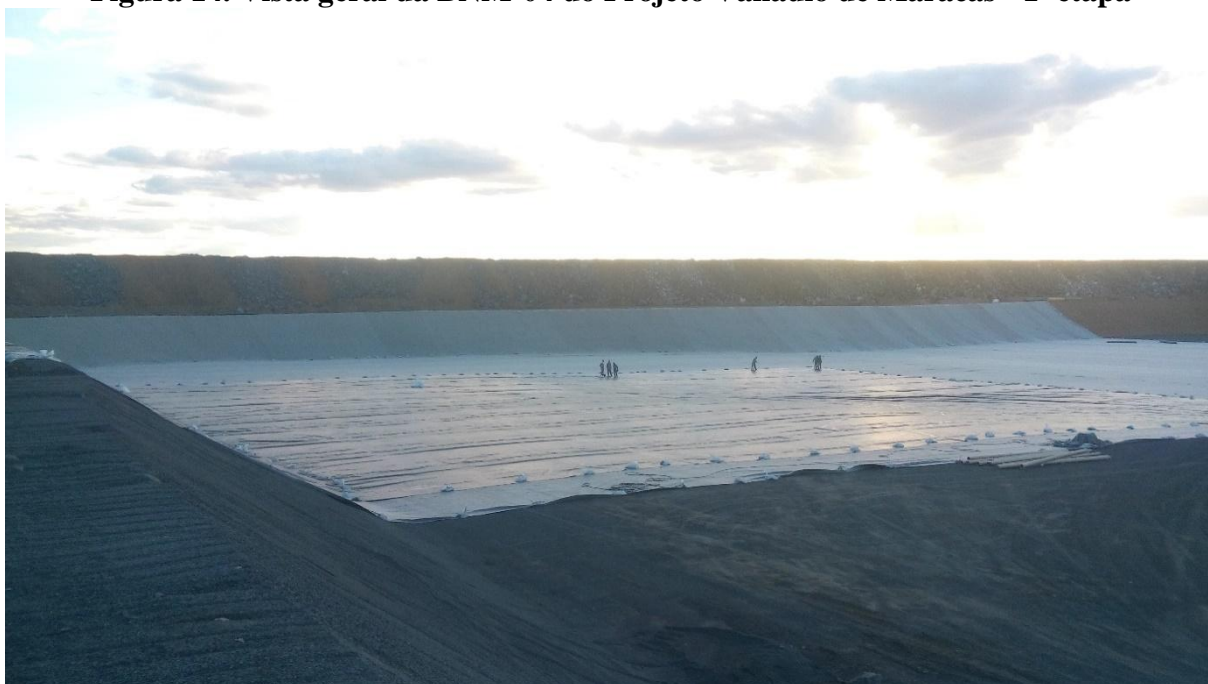
meio da impermeabilização com um sistema em quatro camadas de geossintéticos (geomembranas de PEAD; geotêxtil não tecido e georrede de PEAD). Na Figura 14 é apresentada a vista geral da bacia 04 na 1ª etapa de construção.

Tabela 1. Principais características do Depósito de Rejeitos Não Magnéticos 04

DEPÓSITO DE REJEITOS NÃO MAGNÉTICOS 04	
ALTURA MÁXIMA DO DIQUE	44,70m
CAPACIDADE VOLUMÉTRICA 1ª FASE – Elevação 315,00m	225.871,12m ³
CAPACIDADE VOLUMÉTRICA 2ª FASE – Elevação 324,00m	467.075,38m ³
CAPACIDADE VOLUMÉTRICA 3ª FASE – Elevação 330,00m	354.586,07m ³
CAPACIDADE VOLUMÉTRICA MÁXIMA (TOTAL)	1.047.532,57m ³
INCLINAÇÃO DOS TALUDES DO DIQUE (V/H)	1V/1,5H
LARGURA DA CRISTA DO DIQUE	5,00 a 119,00m
ELEVAÇÃO MÁXIMA DO DEPÓSITO	330,00 m

Fonte: MLF Geomecânica, 2018.

Figura 14. Vista geral da BNM-04 do Projeto Vanádio de Maracás - 1ª etapa



Fonte: Acervo próprio, 2018.

O processo de deposição do rejeito na bacia de acumulação será realizado através de bombeamento hidráulico e lançamento por meio de tubulações posicionadas junto à crista do barramento, conforme ilustra a Figura 15. O rejeito a ser disposto será bombeado em polpa

com 40% de sólido e 60% de líquido, sendo que a fração líquida do sobrenadante é bombeada de volta para a planta para reaproveitamento, através de um sistema de drenagem.

Figura 15. Detalhe do sistema de deposição do rejeito na BNM-03



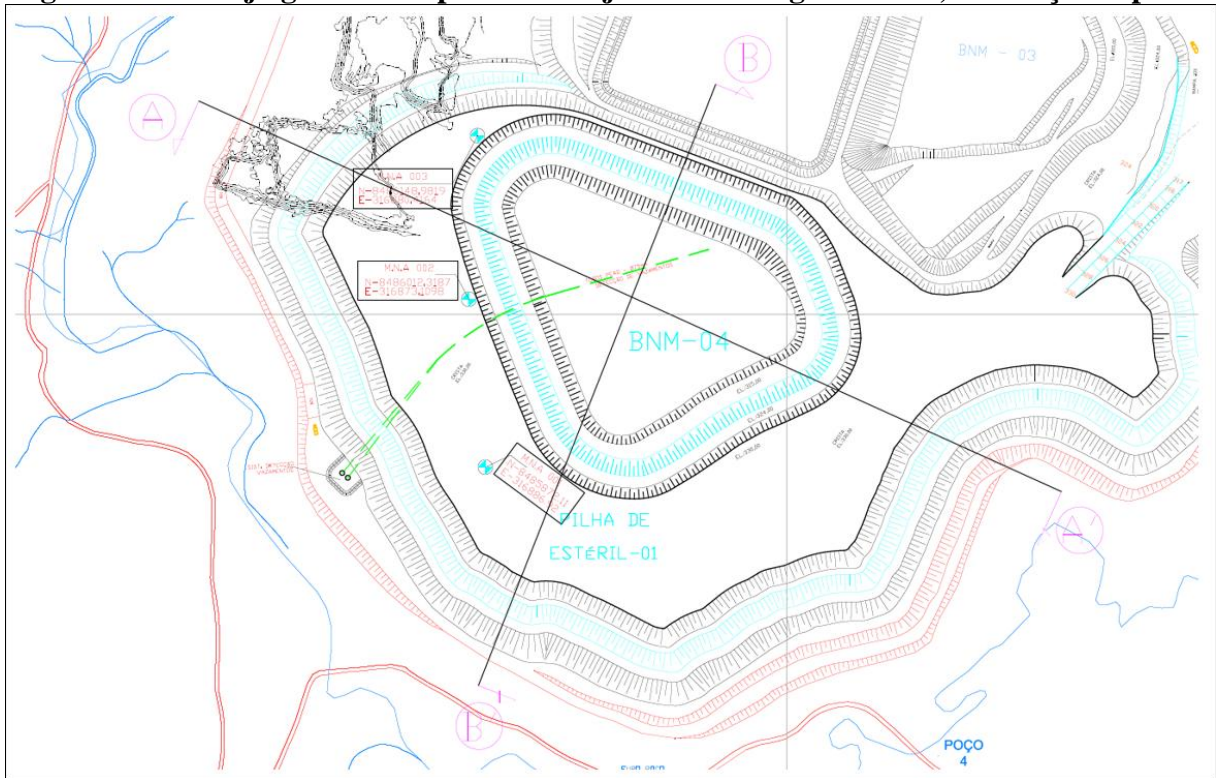
Fonte: Acervo próprio, 2018.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto executivo da implantação da BNM-04 foi baseado em um conjunto de critérios geotécnicos, geométricos, hidrológicos, hidráulicos, operacionais e ambientais, adotados segundo o que preconizam as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Sua concepção, segundo o relatório técnico elaborado pela MLF Geomecânica (2018), consiste numa bacia impermeável com camada de detecção de vazamentos, na qual o rejeito será disposto acima do nível de água, respeitando todas as recomendações ambientais para este tipo de rejeito (Classe I-A). O arranjo da estrutura do maciço do depósito de rejeitos em sua conformação final está apresentado a seguir:

Figura 16. Arranjo geral do Depósito de Rejeitos não Magnéticos 04, com seções típicas.



Fonte: MLF Geomecânica, 2018.

4.2.1 Sistema de impermeabilização

Em função das características do rejeito (Classe I-A), a ser disposto no depósito, foi adotado um sistema de impermeabilização eficiente em quatro camadas de geossintéticos, a fim de garantir parâmetros adequados de estanqueidade para a bacia.

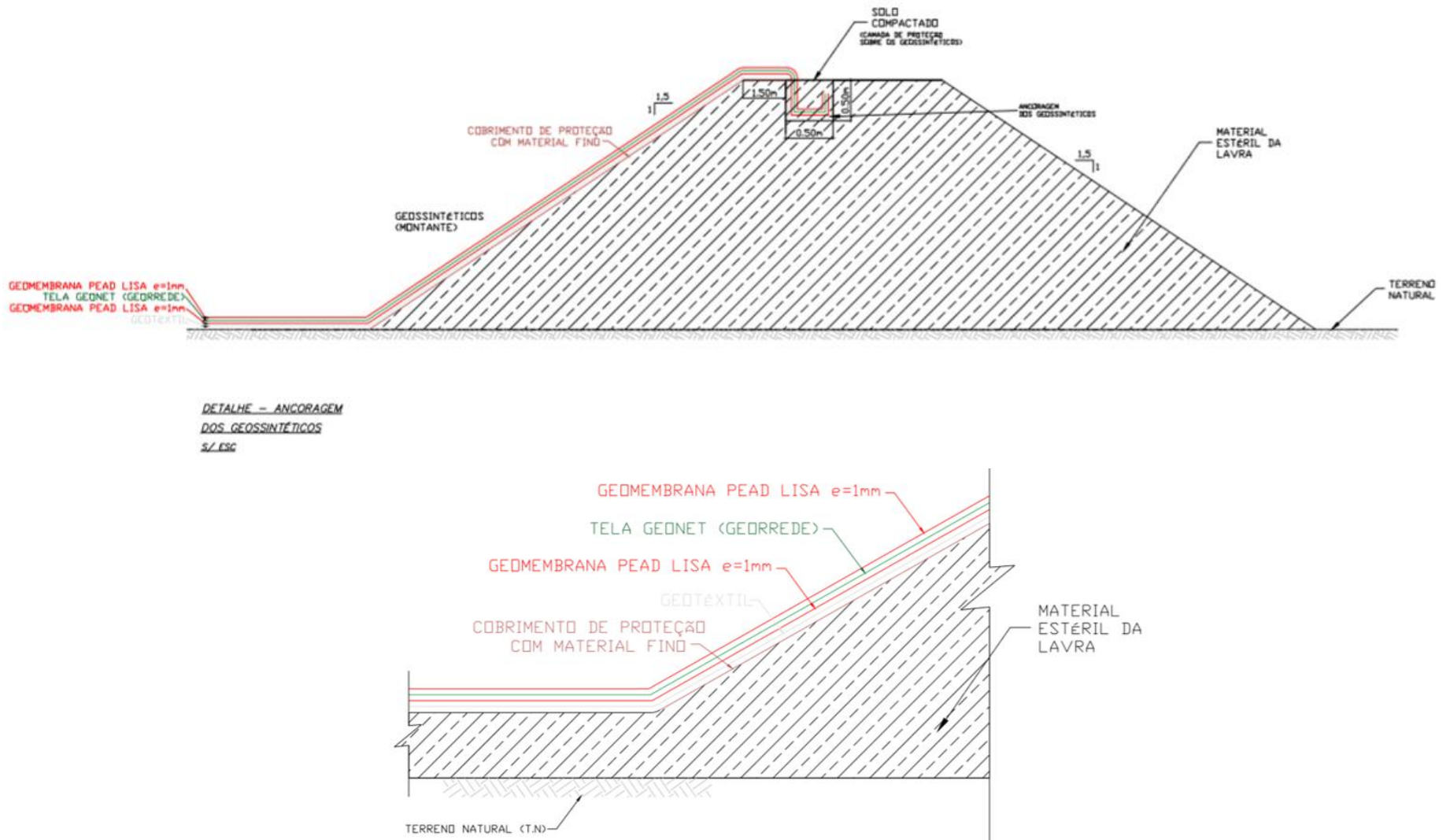
A primeira camada, composta de um geotêxtil não tecido assentada sobre o substrato com a função de proteção mecânica e absorção de esforços de punção e arraste, e uma dupla camada de geomembrana separadas por um sistema de geodreno (georrede em PEAD) que permite o escoamento do fluido até um poço de coleta e monitoramento.

Especificamente, o sistema de impermeabilização proposto para o fundo e para os taludes da bacia, segundo a MLF Geomecânica (2018), é constituído pelas seguintes partes, de baixo para cima, conforme a sequência apresentada a seguir:

- Camada de solo local compactado, sendo que a camada final de compactação (espessura de 30 cm) deverá ser executada com material selecionado (fino) para acomodação da Geomembrana de PEAD, mantendo a sua integridade física;
- Geotêxtil não tecido de polipropileno com gramatura de 400 g/m² instalado sobre a camada de solo compactado com a função de proteção da geomembrana;

- Geomembrana (GM) de PEAD lisa, com 1,0 mm de espessura;
- Sistema de detecção de vazamento com camada de georrede (georrede em PEAD) que terá também função drenante. Instalação entre as geomembranas;
- Geomembrana (GM) de PEAD lisa, com 1,0mm de espessura;

Figura 17. Vista em corte e detalhe do sistema de impermeabilização do fundo e do talude interno do reservatório.



Fonte: MLF Geomecânica, 2018.

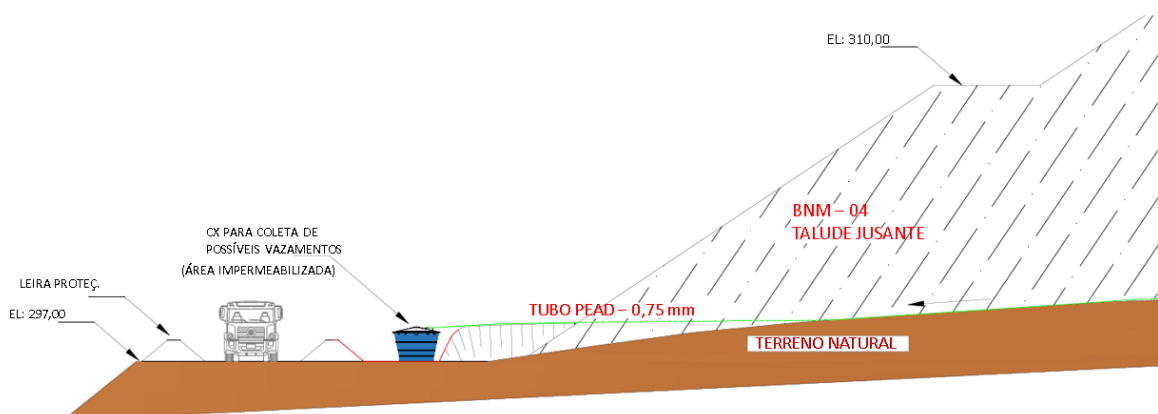
4.2.2 Sistema de detecção de vazamentos

A Figura 18 apresenta o sistema de detecção de vazamento utilizado para a Bacia do depósito de Rejeitos não Magnéticos 04 em planta, seções e detalhes. Em função da eficiência deste sistema verificado neste depósito, as características deste sistema, como apresentado no desenho supracitado deverão nortear e orientar os trabalhos para o sistema de detecção de vazamentos previstos para a implantação do Depósito de Rejeitos não Magnéticos 04.

O sistema de detecção de vazamentos, conforme o projeto elaborado pela MLF Geomecânica (2018) é constituído pelos elementos elencados a seguir:

- Camada de detecção e percolação do vazamento situada entre as duas geomembranas de PEAD, composta de georrede drenante de polietileno de 5,5 mm de espessura;
- Rede de coleta de percolado instalada em uma trincheira sob os diques de contenção a partir da camada de detecção até a caixa coletora, constituídos por geotubos lisos e não perfurados e envelopados por PEAD liso PN 16 de 75mm envolto em pedrisco de granulometria uniforme e abaixo de 12mm;
- Caso venha a ocorrer algum vazamento, o percolado conduzido até caixa coletora será bombeado novamente para dentro do respectivo depósito.
- Caixa impermeabilizada para o armazenamento e bombeamento dos efluentes coletados.

Figura 18. Esquema do sistema de detecção de vazamentos da BNM-04.



Fonte: MLF Geomecânica, 2018.

A caixa coletora, fabricada em polietileno e 10.000 l de capacidade, foi instalada estrategicamente para facilitar o escoamento do percolado, segundo o projeto da BNM-04

(MLF GEOMECÂNICA, 2018). No entorno desta caixa foi criada uma bacia fechada, impermeabilizada com geomembrana de PEAD, conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19. Caixa coletora do sistema de detecção de vazamentos



Fonte: Acervo próprio, 2018.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresentam-se os métodos utilizados para obtenção e análise dos dados necessários à execução do objetivo proposto para este trabalho. Propôs-se, a partir desta metodologia, realizar o estudo comportamental da técnica de detecção de vazamento e sistema de impermeabilização por barreiras sintéticas adotada na bacia de rejeitos do Projeto Vanádio de Maracás, como meio de controle gerencial da estrutura de barramento.

Para tanto, foram verificadas as propriedades físicas e mecânicas dos diferentes materiais impermeáveis utilizados na referida obra por meio de ensaios de caracterização em laboratório e ensaios de durabilidade em campo, assim como a análise das características do rejeito de vanádio não magnético.

Foram analisados, portanto: geomembrana de PEAD, geotêxtil não tecido agulhado e georrede de PEAD. Neste trabalho, consideraram-se as seguintes nomenclaturas pra cada fornecedor:

- Geomembrana de PEAD: Fabricante A
- Geotêxtil: Fabricante B
- Georrede: Fabricante C

No que tange aos ensaios de durabilidade, estes foram realizados através de uma simulação em campo com a submersão das amostras virgens dos geossintéticos no rejeito proveniente do processo de beneficiamento do vanádio, sob condições de temperatura ambiente e exposição aos raios ultravioleta. Os resultados deste ensaio, no entanto, não foram abordados neste trabalho.

5.1 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

A presente pesquisa foi desenvolvida em partes, tendo sido necessária a previsão e cumprimento do tempo necessário/requerido para cada fase. O cronograma apresentado graficamente no Quadro 4 descreve as etapas, atividades e respectivos prazos que foram acordados para o desenvolvimento da monografia.

Quadro 4. Cronograma de atividades de elaboração da monografia

ETAPA	ATIVIDADE	PERÍODO									
		Abr-18	Mai-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Out-18	Nov-18	Dez-18	Jan-19
01	Elaboração do Projeto de Monografia	■									
02	Elaboração dos Elementos Pré-textuais da Monografia		■								
03	Elaboração da Introdução		■								
04	Elaboração da Revisão de Literatura			■	■	■	■				
05	Elaboração do Estudo de Caso						■				
06	Elaboração da Metodologia						■	■			
07	Elaboração da Análise dos Resultados							■	■	■	
08	Entrega da 1ª versão da Monografia									■	
09	Elaboração da Conclusão									■	■
10	Entrega da versão final da Monografia										■

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.2 MATERIAIS ANALISADOS

5.2.1 Geossintéticos

Para a realização dos ensaios de caracterização e dos ensaios de durabilidade foram utilizadas amostras virgens dos materiais geossintéticos, as quais foram retiradas de bobinas pertencentes à obra da barragem de rejeito. A retirada das amostras foi feita pela equipe da Geoscom Engenharia com autorização da empresa Vanádio de Maracás S/A.

- **Geomembrana**

As amostras de geomembranas analisadas nesta pesquisa foram provenientes de bobinas de geomembranas de PEAD, lisas e com 1,0mm de espessura, fornecidas pelo fabricante A. Na Tabela 2 são apresentadas as especificações técnicas da geomembrana utilizada nesta pesquisa e que foram obtidas do catálogo do referido fabricante.

Tabela 2. Especificação Técnica Geomembrana GM13

GEOMEMBRANA DE PEAD				
	PROPRIEDADE	NORMA	UM.	VALORES
				1,00 mm
MECÂNICAS	Resistência à tração no escoamento	ASTM D 6693	kN/m	15
	Alongamento no escoamento		%	12
	Resistência à tração na ruptura		kN/m	27
	Alongamento na ruptura		%	700
	Resistência ao rasgo	ASTM D 1004	N	125
	Resistência à punção	ASTM D 4833	N	320
	Tempo de oxidação indutiva (OIT)	ASTM D 3895	min	100
FÍSICAS	Espessura	ASTM D 5199	mm	1,00
	Densidade	ASTM D 792	g/cm ³	0,94
	Gramatura	-	kg/m ²	1,00
	Teor de fumo negro	ASTM D 4218	%	2 a 3
	Dispersão de negro de fumo	ASTM D 5596	Categoria	1 a 2
	Largura da bobina	-	m	5,90
	Comprimento da bobina	-	m	100

Fonte: Catálogo do Fabricante A, 2018.

- **Geotêxtil**

O geotêxtil ensaiado na pesquisa é do tipo não-tecido agulhado de filamentos contínuos, 100% poliéster, da linha RT 21 (Resistência à Tração) e possui gramatura de 400 g/m². A amostra foi fornecida pelo fabricante B. Na Tabela 3 são apresentadas as principais características do material, conforme catálogo do fornecedor.

Tabela 3. Especificação Técnica Geotêxtil RT21

GEOTÊXTEL NÃOTECIDO (RT21 CINZA)				
	PROPRIEDADE	NORMA	UN.	VALORES
MECÂNICAS	Resistência à tração faixa larga	ABNT NBR ISO 10319		
	Valor na ruptura – Longitudinal		kN/m	21
	Alongamento – Longitudinal		%	>50
	Valor na ruptura – Transversal		kN/m	19
	Alongamento – Transversal		%	>50
	Resistência à tração grab	ASTM D 4632		
	Tração na ruptura – Longitudinal		N	1250
	Alongamento - Longitudinal		%	>50
	Tração na ruptura – Transversal		N	1180
	Alongamento - Transversal		%	>50
	Rasgo trapezoidal	ASTM D 4533		
	Valor na ruptura – Longitudinal		kN/m	1250
	Valor na ruptura – Transversal		kN/m	480
	Puncionamento	ASTM D 4833	N	560
Puncionamento CBR	ABNT NBR ISO 12236	kN	3,3	
HIDRÁULICA/FÍSICA	Permissividade	ASTM D 4491	S ⁻¹	1,1
	Fluxo de água		l/min/m ²	3420
	Permeabilidade	ABNT NBR ISO 11058	cm/s	0,37
	Abertura de filtração	ABNT NBR ISO 12956	mm	0,150 (100)
	Gramatura		g/cm ²	400
	Largura	-	m	2,30 - 4,60
	Comprimento	-	m	150

Fonte: Catálogo do Fabricante B, 2018.

- **Georrede**

Por fim, na pesquisa foram ensaiadas amostras de telas de georrede de polietileno de alta densidade (PEAD). As amostras foram fornecidas pelo distribuidor, Fabricante C. A Tabela 4 apresenta as especificações técnicas da georrede.

Tabela 4. Especificação Técnica Georrede

GEORREDE				
	PROPRIEDADE	NORMA	UN.	VALORES
MECÂNICAS	Resistência à tração - longitudinal	ASTM D 5035	kN/m	9
	Alongamento – longitudinal		%	50
	Resistência à tração - transversal		kN/m	6
	Alongamento – transversal		%	50
	Transmissividade	ASTM D 4716	m ² /s	-
	Resistência à compressão	ASTM D 1621	kPa	428
FÍSICAS	Espessura	NBR 12569	mm	5,50
	Densidade	ASTM D 792	g/cm ³	≥ 0,940
	Gramatura	NBR 12568	g/cm ²	730
	Largura da bobina	-	m	2,0
	Teor de negro de fumo	ASTM D 4218	%	2 a 3
	Comprimento da bobina	-	m	50,0

Fonte: Catálogo do Fabricante C, 2018.

5.2.2 Rejeito de Vanádio não Magnético

O fluido utilizado no ensaio de durabilidade refere-se ao rejeito de vanádio não magnético fornecido pela empresa Vanádio de Maracás S/A. Este foi coletado diretamente da saída do sistema do processo de beneficiamento do minério. A caracterização do rejeito, realizada pelo laboratório Chammas Engenharia, apresenta-se na seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

5.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM

Esta subseção apresenta a descrição dos procedimentos adotados para amostragem e preparação dos corpos de prova para os ensaios de caracterização dos geossintéticos utilizados na obra do Projeto Vanádio de Maracás, bem como o processo de coleta e armazenamento do rejeito de vanádio não magnético para o ensaio de durabilidade dos materiais.

- **Seleção das bobinas**

A primeira etapa do processo de amostragem consistiu na seleção das bobinas. Assim sendo, como forma de garantir a representatividade das amostras, foi acordada uma frequência aleatória para seleção das bobinas dos geossintéticos, tendo sido determinada a retirada de amostras provenientes de duas bobinas distintas para geomembrana e georrede, e de três bobinas para o geotêxtil.

- **Corte das amostras**

Nesta etapa, com base nas premissas estabelecidas pela NBR ISO 9862/2013, o processo de corte das amostras foi realizado seguindo o sentido perpendicular à direção do comprimento da bobina, isto é, ao longo de toda a largura da bobina.

Segundo determinações dos laboratórios responsáveis pela realização dos ensaios de caracterização, os corpos de prova foram retirados nas seguintes condições:

- a) 02 amostras de 2,0 x 2,0 m, para a georrede;
- b) 03 amostras de 1,0 x 2,0 m, para o geotêxtil, e;
- c) 01 amostra de 2,0 x 5,9 m, dividida em 150 amostras de 20 x 20 cm e 10 amostras de 50 x 50 cm, para a geomembrana.

- **Identificação das amostras**

As amostras de geomembranas foram identificadas a partir da escrita de determinadas informações em suas superfícies, tais como dimensão, número da bobina da qual foi retirada e o número total do grupo de amostras a qual pertence.

Para o geotêxtil, cujas amostras foram retiradas em peças únicas, a identificação consistiu na fixação do rótulo da bobina referente em cada corte feito.

Já para a georrede, em função da sua estrutura vazada, prenderam-se às amostras plaquinhas contendo as informações necessárias com o auxílio de abraçadeiras de nylon. Nas Figuras 20, 21 e 22, estão apresentadas as etapas de corte, identificação e preparação dos corpos de prova para cada um dos geossintéticos analisados.

Figura 20. Processo de amostragem da geomembrana



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 21. Processo de amostragem do geotêxtil



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 22. Processo de amostragem da georrede



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Ao final dos processos de corte, identificação e preparação dos corpos de prova que ocorreram no dia 21 de setembro de 2018, as amostras dos geossintéticos foram enviadas para diferentes laboratórios de análise para a realização dos ensaios de caracterização. A tabela a seguir sumariza o processo de amostragem com a descrição das dimensões e quantidade das amostras requeridas para cada ensaio estabelecido.

Tabela 5. Sumário de amostragem dos geossintéticos

GEOMEMBRANAS		
ENSAIO	AMOSTRAS	
	QUANTIDADE	DIMENSÕES
Espessura	10 corpos de prova por bobina	(20 x 20 cm cada)
Densidade	⁷	(20 x 20 cm cada)
Resistência à tração	10 corpos de prova por bobina	(20 x 20 cm cada)
Resistência ao rasgo	10 corpos de prova por bobina	(20 x 20 cm cada)
Resistência à punção	15 corpos de prova por bobina	(20 x 20 cm cada)
Teor de fumo negro	⁸	(20 x 20 cm cada)
Resistência aos raios U.V.	05 corpos de prova por bobina	(50 x 50 cm cada)
Stress cracking	20 corpos de prova por bobina	(20 x 20 cm cada)
Tempo de oxidação indutiva	05 corpos de prova por bobina	(20x20 cm cada)
TOTAL	150 amostras de 20 x 20 cm; 10 amostras de 50 x 50cm	≈ 200 (comprimento) x 590 (largura) cm
GEOTÊXTIL		
Espessura	Amostra única por bobina	1,0 m de comprimento pela largura total da bobina (2,0 m)
Largura		
Gramatura		
Resistência e alongamento à tração – Faixa larga		
Resistência à tração - Grab		
Resistência ao puncionamento estático		
Resistência ao rasgo trapezoidal		
TOTAL	03 amostras de 1,0 x 2,0 m	3,0 m x 2,0 m
GEORREDE		
Resistência e alongamento à tração	Amostra única por bobina	2,0 m x 2,0 m
Teor de negro de fumo		
Espessura		
Gramatura		
TOTAL	02 amostras de 2,0 x 2,0 m	4,0 m x 2,0 m

Fonte: Autoria própria, 2018.

⁷ Para este ensaio, utilizou-se a mesma amostra usada no ensaio de espessura.

⁸ Para este ensaio, utilizou-se a mesma amostra usada nos ensaios de espessura e densidade.

No que tange ao ensaio de durabilidade, foram selecionadas três amostras virgens de cada um dos geossintéticos com dimensões de 20x20 cm e colocadas em imersão no rejeito não magnético proveniente do processo de beneficiamento do vanádio, o qual foi previamente armazenado em bombonas de ferro com capacidade de 200 l.

As amostras colocadas nas bombonas foram identificadas e atadas a uma corda para facilitar a retirada das mesmas ao fim do ensaio. Na Figura 23 é apresentado o armazenamento do fluido e a identificação dos recipientes.

Figura 23. Armazenamento do rejeito não magnético e identificação dos recipientes



Fonte: Acervo próprio, 2018.

5.4 MÉTODOS DE ESTUDO

5.4.1 Ensaios de Caracterização dos Geossintéticos

A avaliação geotécnica dos geossintéticos durante os diferentes ensaios de caracterização foi baseada em uma, ou mais, das seguintes metodologias, elencadas a seguir:

(1) Determinação de propriedades físicas:

- Teor de negro de fumo;
- Dimensões;
- Gramatura;
- Densidade, e;
- Espessura.

(2) Determinação de propriedades mecânicas:

- Resistência e alongamento à tração;
- Resistência ao rasgo;
- Resistência à punção.

Nesta subseção, procede-se à descrição das metodologias utilizadas para avaliar a segurança e confiabilidade dos geossintéticos utilizados no Projeto Vanádio de Maracás. Para cada uma das metodologias indicadas, foram descritos os procedimentos de ensaio utilizados e demais informações específicas de cada método.

5.4.3.1 Ensaio de determinação da gramatura

O método de ensaio adotado pelos laboratórios para determinação da gramatura das amostras de geotêxtil e de georrede é estabelecido pela norma ASTM D 5261 (Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles), a partir do qual a grandeza é calculada pela pesagem de corpos de prova de dimensões conhecidas cortados em posições distribuídas sobre toda a largura e comprimento da amostra. A referida norma denota que devem ser cortados, pelo menos, 10 corpos de prova.

A gramatura das amostras de geotêxtil analisadas neste trabalho foi determinada através da medição e pesagem de 10 corpos de prova. A gramatura de cada corpo de prova foi

expressa em g/cm², sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

5.4.3.2 Ensaio de determinação da espessura

A espessura das amostras dos geossintéticos foi determinada de acordo com a norma ASTM D 5199 (Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics), que especifica o método de teste como sendo a medição da distância entre a placa de referência, sobre a qual o corpo de prova do geossintético é colocado, e a face de uma placa circular de compressão, que aplica uma pressão de valor específico sobre o material (2 kPa, 20 kPa ou 200 kPa).

Os corpos de prova utilizados para a determinação da espessura (mínimo 10 unidades) devem ser cortados com dimensões mínimas superiores a 1,75 vezes o diâmetro da superfície do disco circular. Neste trabalho, foram ensaiados 10 corpos de prova. O valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

5.4.3.3 Ensaio de determinação da densidade

Neste trabalho, foi realizado ensaio de determinação da densidade, apenas para as amostras de geomembrana, de acordo com os procedimentos descritos na norma ASTM D 792 (Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement).

A norma ASTM D 792 descreve uma metodologia para determinar a massa de uma amostra do material sólido em ar. O corpo de prova é então imerso em um líquido, sua massa aparente sobre imersão é determinada, e sua densidade relativa é calculada.

5.4.3.4 Ensaio de determinação da largura

O ensaio de determinação da largura não seguiu uma norma técnica específica.

5.4.3.5 Ensaio de determinação do teor de negro de fumo

Neste trabalho, o ensaio de determinação do teor de negro de fumo nas amostras de geomembrana e georrede foi realizado de acordo com a norma ASTM D 1603 (Standard Test Method for Carbon Black Content in Olefin Plastics).

5.4.3.6 Ensaio de resistência à tração

- Geomembrana

Os ensaios de resistência à tração das amostras de geomembrana foram realizados de acordo com a norma ASTM D 6693 (Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes). Neste ensaio, devem ser ensaiados pelo menos 10 corpos de prova para cada amostra, sendo 5 na direção longitudinal e 5 na direção transversal.

Neste trabalho, foram ensaiados cinco corpos de prova tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

- Geotêxtil

A resistência à tração das amostras de geotêxtil foi determinada através de dois métodos distintos: ensaio de faixa larga e pelo método Grab.

Os ensaios de resistência à tração Faixa Larga foram realizados de acordo com a norma NBR ISO 10319:2013 (Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga). Neste ensaio, os corpos de prova do material são fixados, ao longo da sua largura, numas garras instaladas num equipamento de tração. O equipamento opera a uma velocidade constante, sendo aplicada uma força longitudinal ao corpo de prova, até que ocorra a sua rotura, apresentando como resultado do ensaio a força máxima atingida pelo corpo de prova e a correspondente extensão na força máxima.

A referida norma estabelece que devem ser ensaiados, pelo menos, 5 corpos de prova na direção de fabrico e 5 corpos de prova na direção perpendicular à de fabrico, e; devem ser cortados com uma largura de 200 mm e devem possuir comprimento suficiente para a distância entre as garras ser de 100 mm.

Neste trabalho, foram ensaiados cinco corpos de prova tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

Os ensaios de resistência à tração pelo método Grab foram realizados de acordo com a norma ASTM D 4632 (Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles). Neste ensaio, uma carga continuamente crescente é aplicada longitudinalmente e

transversalmente ao corpo de prova até romper. Os resultados são expressos em valores de tensão e alongamento do corpo de prova.

Neste trabalho, foram ensaiados cinco corpos de prova tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

- Georrede

A resistência à tração das amostras de georrede foi determinada através da norma NBR ISO 10319:2013 descrita anteriormente. Neste trabalho, foram ensaiados cinco corpos de prova tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

5.4.3.7 Ensaio de resistência ao rasgo

- Geomembrana

A determinação da resistência ao rasgo das amostras de geomembrana foi realizada de acordo com a norma ASTM D 1004 (Standard test method for tear resistance of film plastic and sheeting), que estabelece o método de ensaio para determinar a força necessária para iniciar o rasgo através de uma amostra.

A referida norma estabelece que devem ser ensaiadas no mínimo 10 unidades de corpo de prova. Neste trabalho, foram ensaiados 10 corpos de prova tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

- Geotêxtil

A determinação da resistência ao rasgo trapezoidal das amostras de geotêxtil foi realizada de acordo com a norma ASTM D4533 (Standard test method for trapezoid tearing strength of geotextiles), que estabelece o método de ensaio para determinar a força necessária para a propagação de um rasgo no corpo de prova.

O resultado final de um ensaio de resistência ao rasgo é expresso como o valor máximo da força (em N) registrada, de todos os corpos de prova ensaiados (no mínimo 10 unidades).

Neste trabalho, foram ensaiados 10 corpos de prova tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

5.4.3.8 Ensaio de resistência à punção

- Geomembrana

A determinação da resistência à punção das amostras de geomembrana foi realizada de acordo com a norma ASTM D4833 (Standard test method for index puncture resistance of Geomembranes and related products), que estabelece o método de ensaio para determinar o mecanismo de resistência inerente ao corpo de prova à falha por um objeto penetrante ou perfurante.

O resultado final de um ensaio de resistência à punção é expresso como o valor da força máxima registrada, de todos os corpos de prova ensaiados (geralmente menos de 15 unidades), cujo diâmetro mínimo estabelecido é de 100 mm.

Neste trabalho, foram ensaiados 10 corpos de prova na direção única, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

- Geotêxtil

A determinação da resistência ao puncionamento estático foi efetuada de acordo com a norma NBR ISO 12236:2013 (Geossintéticos – Ensaio de puncionamento estático (Ensaio CBR)), cujo método de ensaio baseia-se na medição da força necessária para deslocar um pilão de extremidade plana.

A resistência ao puncionamento estático é definida como o valor médio da força de punção máxima (em kN) e o valor médio do deslocamento na força máxima registrada (em mm). Neste trabalho, foram ensaiados 10 corpos de prova, sendo que o valor final foi calculado a partir da média dos valores individuais de todos os corpos de prova ensaiados.

5.4.2 Ensaio de Durabilidade

O método adotado para avaliar a resistência dos geossintéticos ao rejeito de vanádio não magnético envolve a imersão de amostras dos materiais de reforço no referido fluido - armazenado em bombonas -, *in situ* (em campo).

O objetivo é avaliar os efeitos sofridos pelos materiais de reforço após diferentes períodos de tempo estabelecidos em 06 meses, 01 ano, e 01 ano e 06 meses, contados a partir da data de início da exposição ao rejeito (21 de setembro de 2018), conforme ilustrado na Figura 23.

Após cada intervalo de tempo, 01 (uma) amostra de cada tipo de geossintético imerso no fluido será retirada do recipiente, e os danos sofridos serão quantificados através da determinação das propriedades dessas amostras, e posterior comparação dos resultados obtidos para os materiais expostos com os resultados obtidos para os materiais de referência (sem degradação).

No entanto, dada à complexidade e à longa duração do procedimento, os resultados deste ensaio não foram abordados neste trabalho, tendo em vista que o mesmo só será concretizado em março de 2020.

5 CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

A seguir, apresentam-se os resultados do estudo do comportamento das barreiras sintéticas aplicadas no Projeto Vanádio de Maracás. Os ensaios de caracterização, necessários ao referido estudo, foram realizados nos Laboratórios Central das empresas OBER Geossintéticos (referentes ao geotêxtil) e Roma Tecelagem (referentes a geomembrana e georrede).

5.1 ENSAIOS GEOTÉCNICOS DOS GEOSSINTÉTICOS

5.1.1 Resultados para a Geomembrana

Os laudos de análise das amostras de geomembrana analisadas pelo Laboratório de Qualidade da empresa Roma estão apresentados nos Anexos A e B. A seguir, apresentam-se a análise dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

Ressalta-se que os ensaios de resistência aos raios U.V., *stress cracking* e tempo de oxidação indutiva (OIT) não foram realizados devido à limitação de tempo para elaboração deste estudo, tendo em vista que esses ensaios possuem duração prolongada: 80 dias, 21 dias e 90 dias, respectivamente.

5.1.1.1 Ensaios de caracterização física da geomembrana

- **Ensaio de determinação da espessura**

Apresentam-se nessa subseção os resultados obtidos no ensaio de determinação da espessura de 02 amostras virgens de geomembrana de PEAD, 1,0 mm, designada por geomembrana de PEAD. A Tabela 6 apresenta os valores de espessura determinados para cada uma das amostras ensaiadas, bem como os correspondentes coeficientes de variação.

Tabela 6. Resultados do ensaio de determinação da espessura da geomembrana de PEAD

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Amostra-01	1,014	3
Amostra-02	0,982	2
Valor médio	0,998	2,5

Fonte: Autoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que as amostras de geomembrana analisadas apresentam uma espessura média de 0,998 mm, com um coeficiente de variação médio de 2,50%.

- **Ensaio de determinação da densidade**

Nesta subsecção, apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de determinação da densidade de 02 amostras virgens da geomembrana de PEAD. A Tabela 7 apresenta os valores da densidade determinados para cada uma das amostras ensaiadas, bem como os correspondentes coeficientes de variação.

Tabela 7. Resultados do ensaio de determinação da densidade da geomembrana de PEAD

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	DENSIDADE (g/cm³)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Amostra-01	0,9487	1
Amostra-02	0,9447	1
Valor médio	0,9467	1

Fonte: Aatoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que as amostras de geomembrana analisadas apresentam uma densidade média de 0,9467 g/cm³, com um coeficiente de variação médio de 1%.

- **Ensaio de determinação do teor de negro de fumo**

Apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de determinação do teor de negro de fumo de 02 amostras virgens da geomembrana de PEAD. A Tabela 8 apresenta os valores médios do teor de negro de fumo determinados para cada uma das amostras ensaiadas.

Tabela 8. Resultados do ensaio de determinação do teor de negro de fumo da geomembrana de PEAD

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	TEOR DE NEGRO DE FUMO (%)
Amostra-01	3,04
Amostra-02	2,91
Valor médio	2,975

Fonte: Aatoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que as amostras de geomembrana analisadas apresentam um teor de negro de fumo médio de 2,975%.

5.1.1.2 Ensaio de caracterização mecânica da geomembrana

- **Ensaio de resistência e alongamento à tração no escoamento**

Apresentam-se agora os resultados obtidos nos ensaios de resistência e alongamento à tração no escoamento de 5 corpos de provas provenientes de 02 amostras virgens da geomembrana de PEAD (ensaiadas nas direções longitudinal e transversal). A Tabela 9 apresenta os valores da tensão e do alongamento à tração no escoamento das amostras.

Tabela 9. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD

CORPO DE PROVA	DIREÇÃO	AMOSTRA-01		AMOSTRA-02	
		TENSÃO (kN/m)	ALONGAMENTO (%)	TENSÃO (kN/m)	ALONGAMENTO (%)
CP-01	Longitudinal	14	15	16	15
CP-02		13	13	13	13
CP-03		15	15	11	13
CP-04		16	15	14	13
CP-05		16	16	14	15
Valores médios		15	15	13	14
Coefficiente de variação (%)		8	9	14	8
CP-01	Transversal	17	14	14	12
CP-02		16	14	14	13
CP-03		15	15	15	13
CP-04		12	12	15	13
CP-05		15	14	8	11
Valores médios		15	14	12	12
Coefficiente de variação (%)		13	7	52	9

Fonte: Autoria própria, 2018.

As informações recolhidas para cada uma das amostras foram tratadas e procederam-se à determinação da resistência e alongamento à tração média no escoamento, bem como os respectivos coeficientes de variação médio em cada uma das direções. A análise final dos resultados desse ensaio encontra-se resumida na Tabela 10.

Tabela 10. Análise final dos resultados de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD

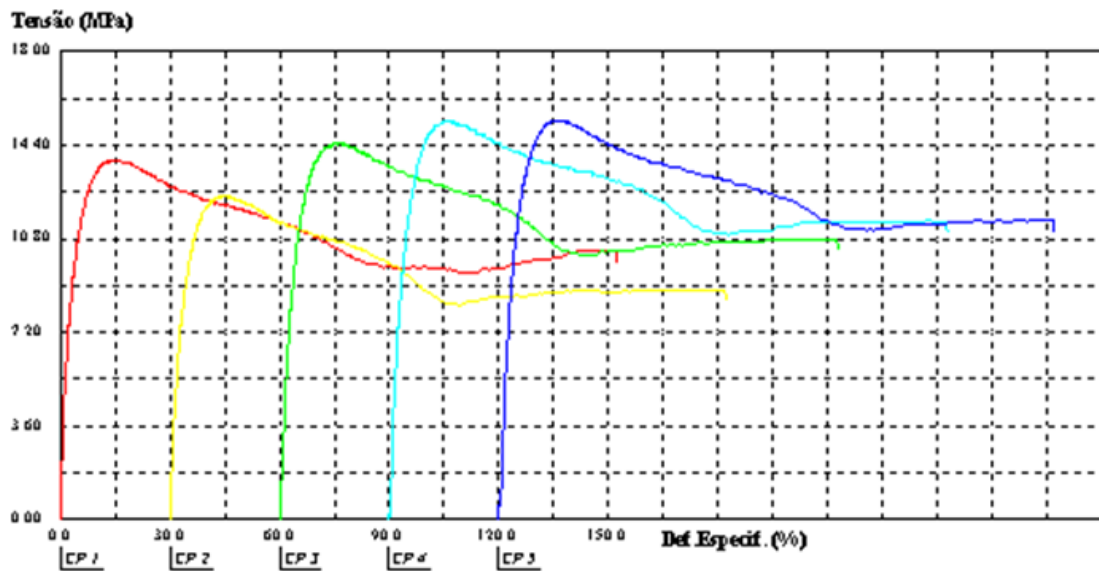
DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	DIREÇÃO	TENSÃO (kN/m)	CV (%)	ALONGAMENTO (%)	CV (%)
Amostra-01	Longitudinal	15	8	15	9
	Transversal	15	13	14	7
Amostra-02	Longitudinal	13	14	14	8
	Transversal	12	52	12	9
Valores médios	Longitudinal	14	11	14,5	8,5
	Transversal	13,5	32,5	13	8

Fonte: Autoria própria, 2018.

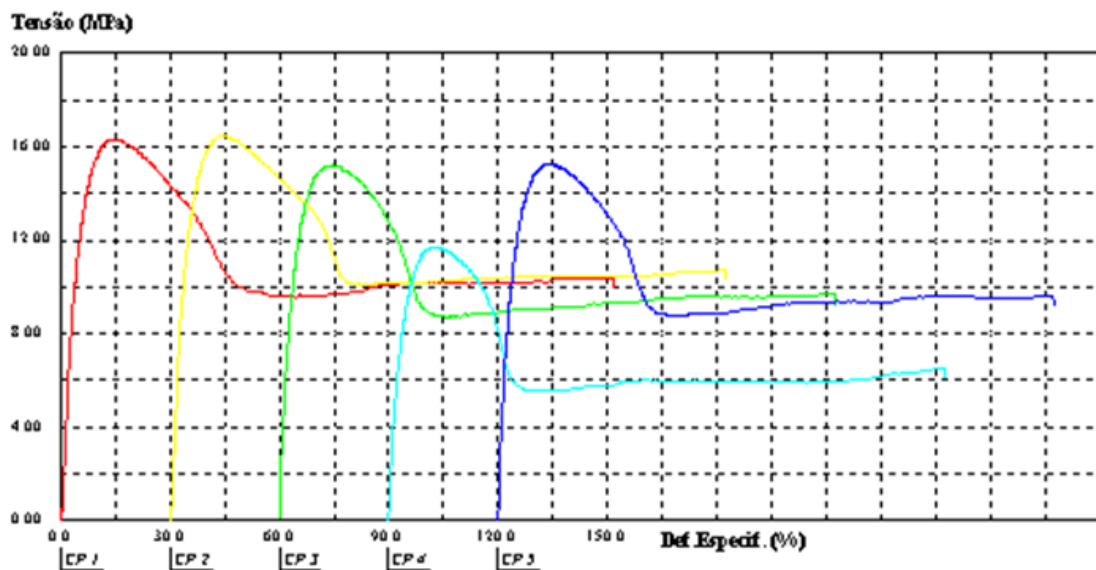
A resistência à tração da geomembrana de PEAD apresenta um valor no escoamento médio de 14 kN/m na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 11%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 14,5% (coeficiente de variação médio de 8,5%).

Com relação à direção transversal, a resistência à tração da geomembrana de PEAD apresenta um valor no escoamento médio de 13,5 kN/m (coeficiente de variação médio de 32,5%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 13% (coeficiente de variação médio de 8%).

Figura 24. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD - Amostra-01

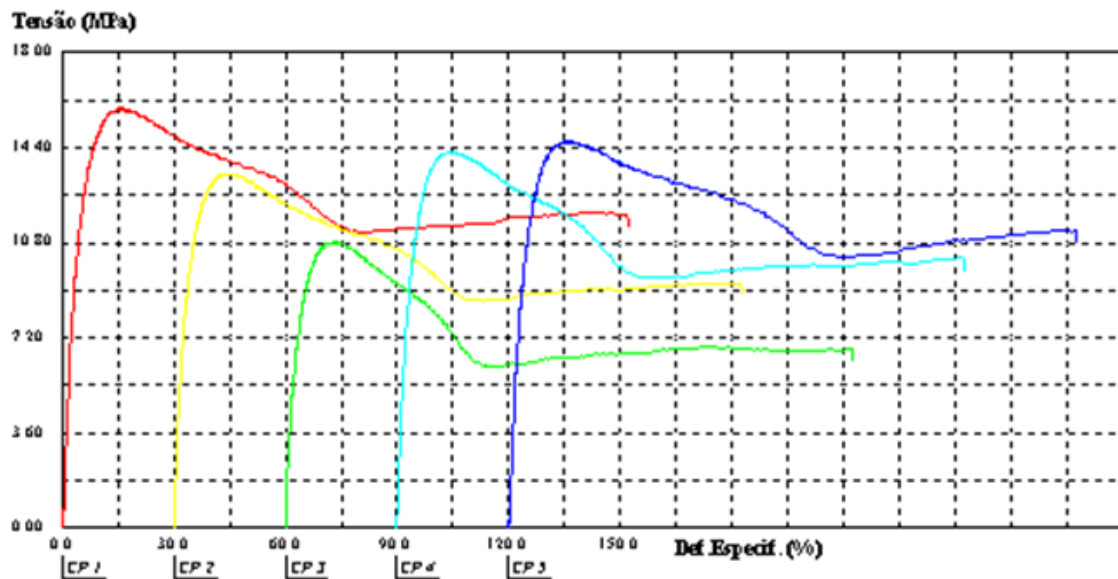


(Longitudinal)

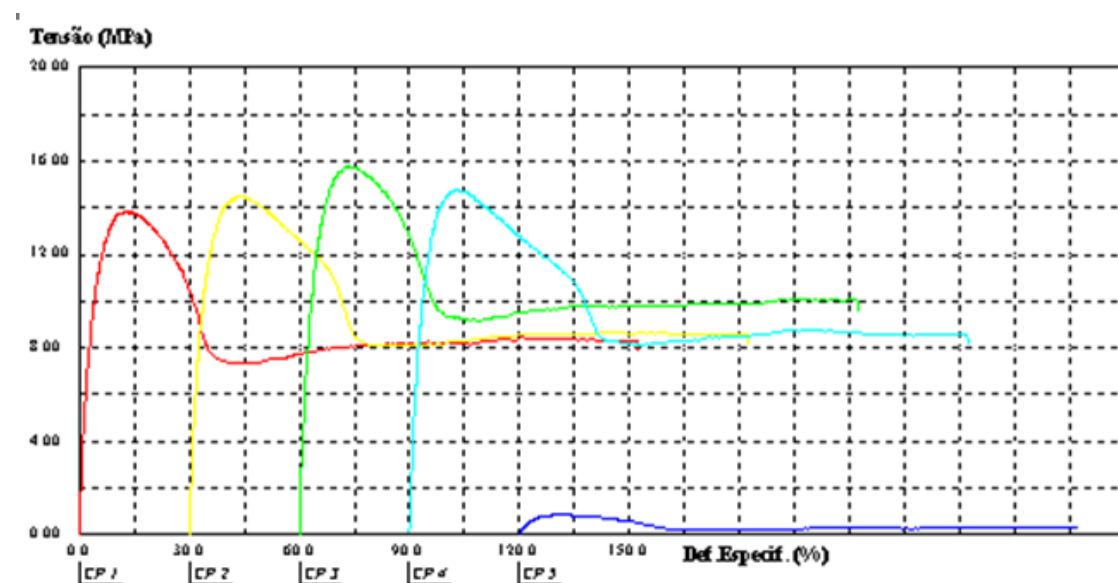


(Transversal)

Figura 25. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração no escoamento da geomembrana de PEAD - Amostra-02



(Longitudinal)



(Transversal)

- **Ensaio de resistência e alongamento à tração na ruptura**

Apresentam-se agora os resultados obtidos nos ensaios de resistência e alongamento à tração na ruptura de 5 corpos de provas provenientes de 02 amostras virgens da geomembrana de PEAD (amostras ensaiadas tanto na direção longitudinal quanto transversal). A Tabela 11 apresenta os valores da tensão e do alongamento à tração na ruptura das amostras ensaiadas.

Tabela 11. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD

CORPO DE PROVA	DIREÇÃO	AMOSTRA-01		AMOSTRA-02	
		TENSÃO (kN/m)	ALONGAMENTO (%)	TENSÃO (kN/m)	ALONGAMENTO (%)
CP-01	Longitudinal	13	494	17	660
CP-02		29	770	22	699
CP-03		20	670	24	735
CP-04		23	744	17	642
CP-05		28	784	21	668
Valores médios		22	692	20	681
Coefficiente de variação (%)		29	17	16	5
CP-01	Transversal	20	664	19	682
CP-02		27	806	16	705
CP-03		26	745	27	824
CP-04		23	745	21	688
CP-05		21	743	22	744
Valores médios		23	740	21	728
Coefficiente de variação (%)		14	7	20	8

Fonte: Autoria própria, 2018.

As informações recolhidas para cada uma das amostras foram tratadas e procederam-se à determinação da resistência e alongamento à tração média na ruptura, bem como os respectivos coeficientes de variação médio em cada uma das direções. A análise final dos resultados desse ensaio encontra-se resumida na Tabela 12.

Tabela 12. Análise final dos resultados de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD

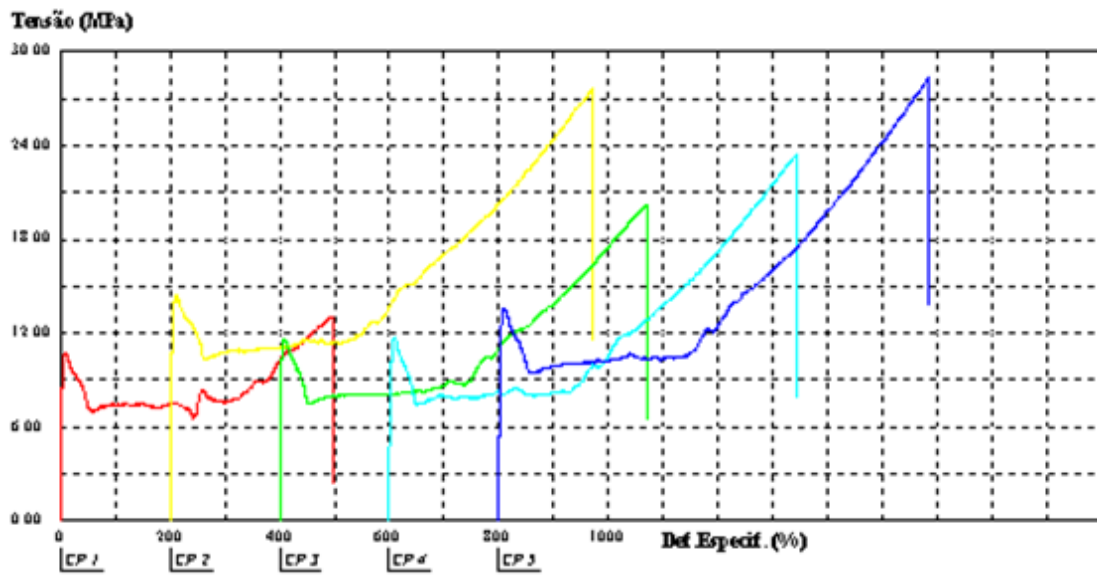
DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	DIREÇÃO	TENSÃO (kN/m)	CV (%)	ALONGAMENTO (%)	CV (%)
Amostra-01	Longitudinal	22	29	692	17
	Transversal	23	14	740	7
Amostra-02	Longitudinal	20	16	681	5
	Transversal	21	20	728	8
Valores médios	Longitudinal	21	22,5	686,5	11
	Transversal	22	17	734	7,5

Fonte: Autoria própria, 2018.

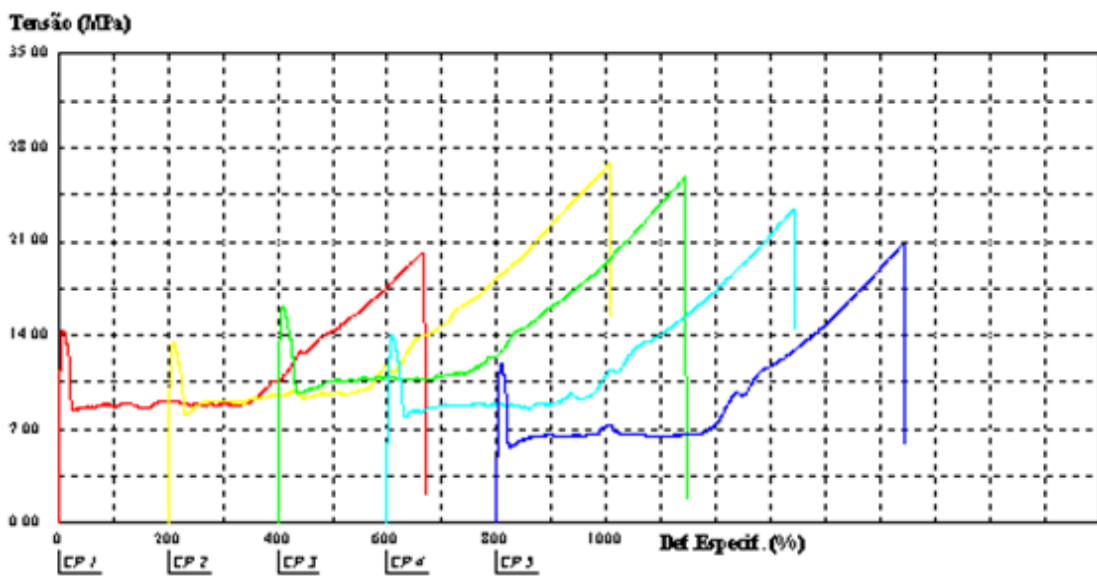
A resistência à tração da geomembrana de PEAD apresenta um valor na ruptura médio de 21 kN/m na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 22,5%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 686,5% (coeficiente de variação médio de 11%).

Com relação à direção transversal, a resistência à tração da geomembrana de PEAD apresenta um valor na ruptura médio de 22 kN/m (coeficiente de variação médio de 17%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 734% (coeficiente de variação médio de 7,5%).

Figura 26. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD - Amostra-01

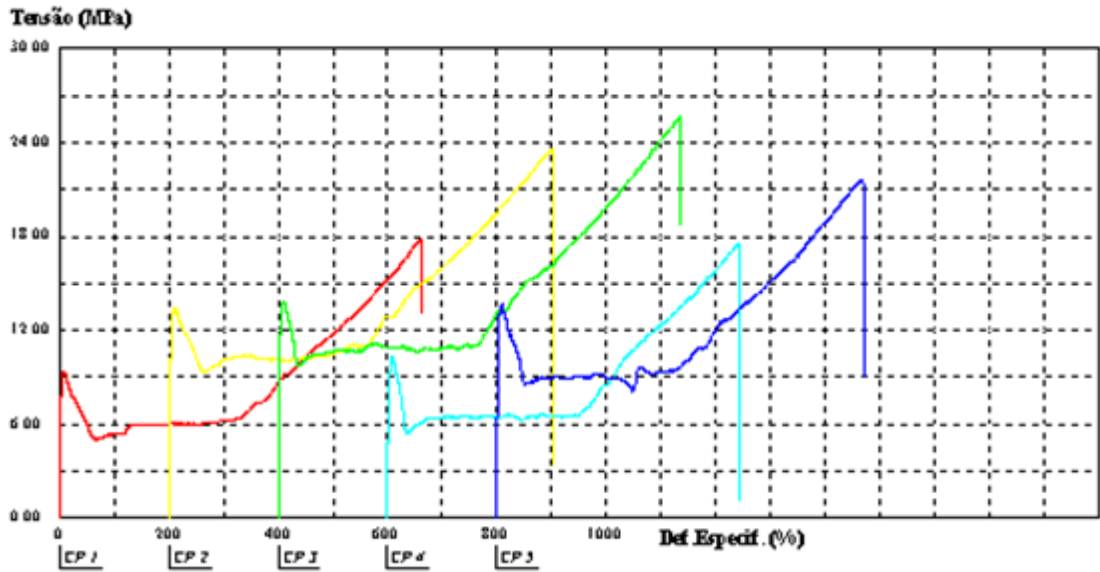


(Longitudinal)

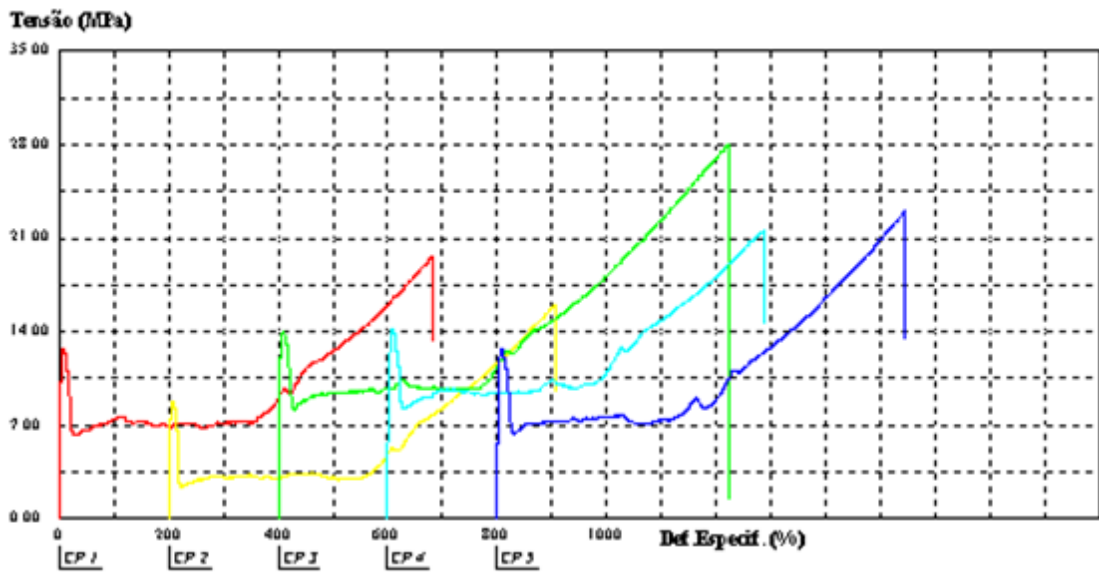


(Transversal)

Figura 27. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração na ruptura da geomembrana de PEAD - Amostra-02



(Longitudinal)



(Transversal)

- **Ensaio de resistência ao rasgo**

Nesta subseção, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência ao rasgo (definida como o valor máxima da força registrada) de 10 corpos de provas provenientes de 02 amostras da geomembrana de PEAD (amostras ensaiadas na direção de longitudinal e na transversal). A Tabela 13 apresenta os valores da força de todas as amostras ensaiadas. A partir dos resultados, foram calculados os valores médios correspondentes, assim como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 13. Resultados do ensaio de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD

CP	AMOSTRA-01		AMOSTRA-02	
	FORÇA (N)		FORÇA (N)	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
01	92	116	112	108
02	91	98	132	122
03	122	126	90	81
04	111	114	119	102
05	123	122	117	119
06	110	121	95	121
07	119	117	94	110
08	117	124	118	95
09	106	113	120	122
10	107	119	84	114
Valores médios	110	117	108	109
Coefficiente de variação (%)	10	7	14	12

Fonte: Autoria própria, 2018.

As informações recolhidas para cada uma das amostras foram tratadas e procederam-se à determinação da resistência ao rasgo média, bem como os respectivos coeficientes de variação médio em cada uma das direções. A análise final dos resultados desse ensaio encontra-se resumida na Tabela 14.

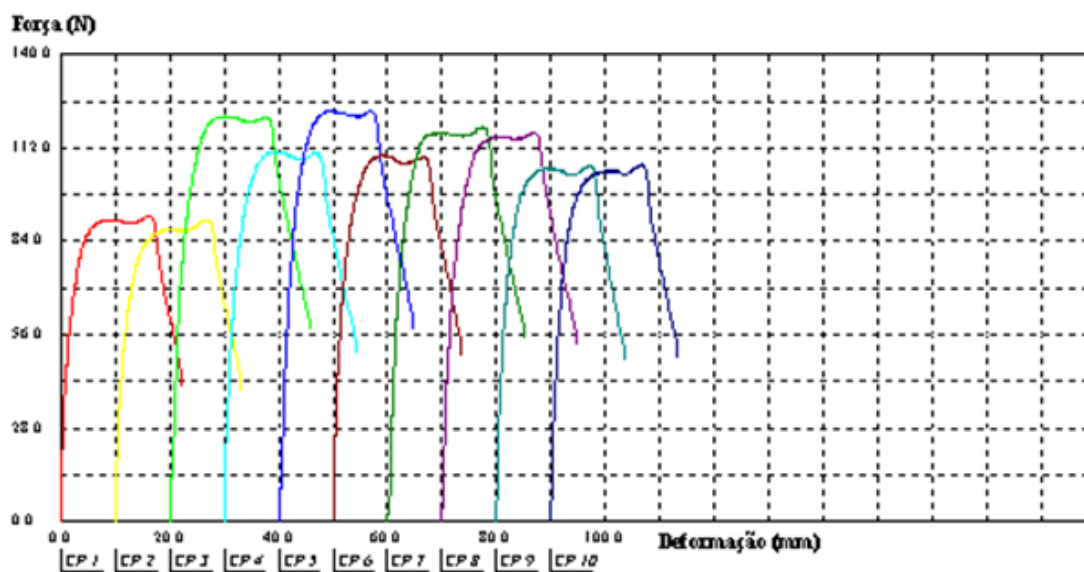
Tabela 14. Análise final dos resultados de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD

DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	DIREÇÃO	FORÇA (N)	CV (%)
Amostra-01	Longitudinal	110	10
	Transversal	117	7
Amostra-02	Longitudinal	108	14
	Transversal	109	12
Valores médios	Longitudinal	109	12
	Transversal	113	9,5

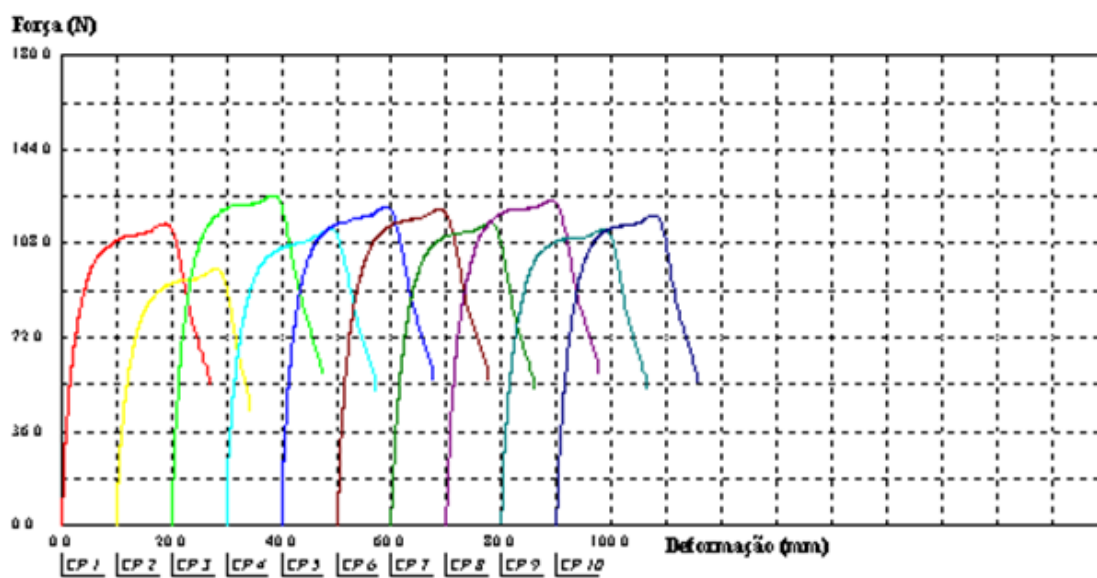
Fonte: Autoria própria, 2018.

A resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD apresenta um valor médio de 109 N na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 12%), enquanto que na direção transversal apresenta um valor médio de 113 N (coeficiente de variação médio de 9,5%).

Figura 28. Resultados dos ensaios de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD - Amostra-01

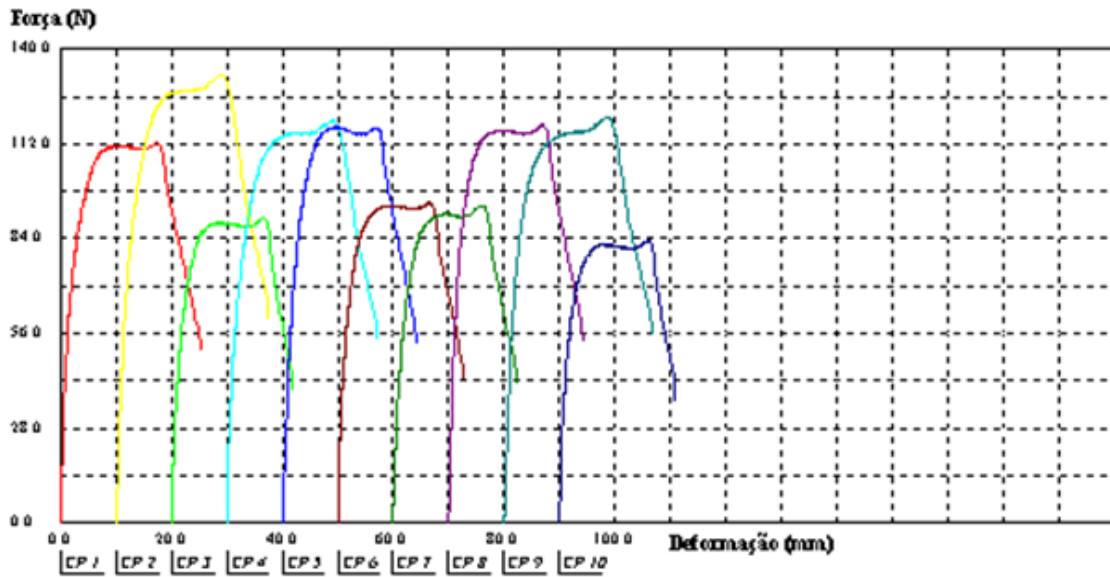


(Longitudinal)

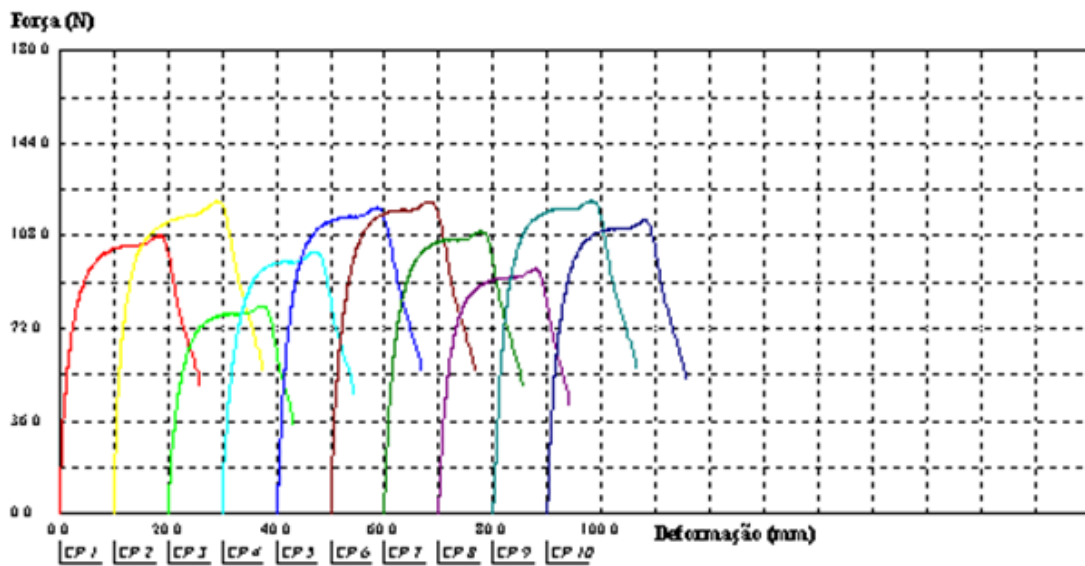


(Transversal)

Figura 29. Resultados dos ensaios de resistência ao rasgo da geomembrana de PEAD - Amostra-02



(Longitudinal)



(Transversal)

- **Ensaio de resistência à punção**

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência à punção (direção única) de 10 corpos de prova provenientes de 02 amostras virgens da geomembrana de PEAD. Os valores determinados para cada uma das amostras ensaiadas encontram-se resumidos na Tabela 15. A partir dos resultados, foram determinados os valores médios correspondentes, bem como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 15. Resultados do ensaio de resistência à punção da geomembrana de PEAD

CORPO DE PROVA	FORÇA (N)	
	AMOSTRA-01	AMOSTRA-02
01	460	487
02	476	473
03	483	471
04	469	467
05	464	476
06	455	476
07	440	487
08	398	468
09	431	469
10	476	467
Valor médio (N)	455	474
Coefficiente de variação (%)	6	2

Fonte: Aatoria própria, 2018.

As informações recolhidas para cada uma das amostras foram tratadas e procederam-se à determinação da resistência à punção média, bem como os respectivos coeficientes de variação médios. A análise final dos resultados desse ensaio encontra-se resumida na Tabela 16, onde se verifica que a resistência à punção possui um valor médio de 464,5 N (com um coeficiente de variação de 4%).

Tabela 16. Análise final dos resultados de resistência à punção da geomembrana de PEAD

DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	FORÇA (N)	CV (%)
Amostra-01	455	6
Amostra-02	474	2
Valores médios	464,5	4

Fonte: Aatoria própria, 2018.

Figura 30. Resultados dos ensaios de resistência à punção da geomembrana de PEAD - Amostra-01

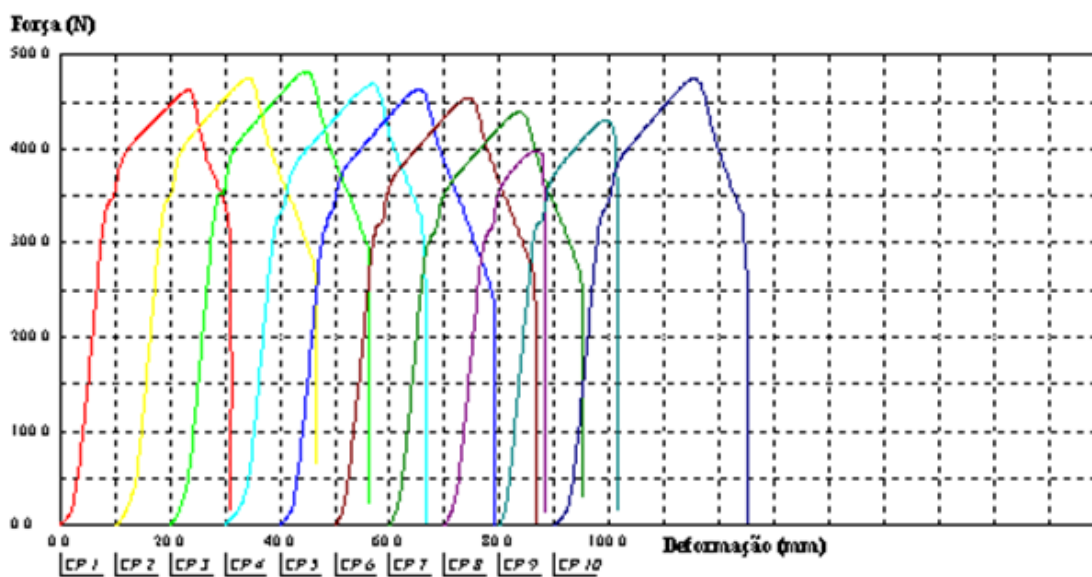
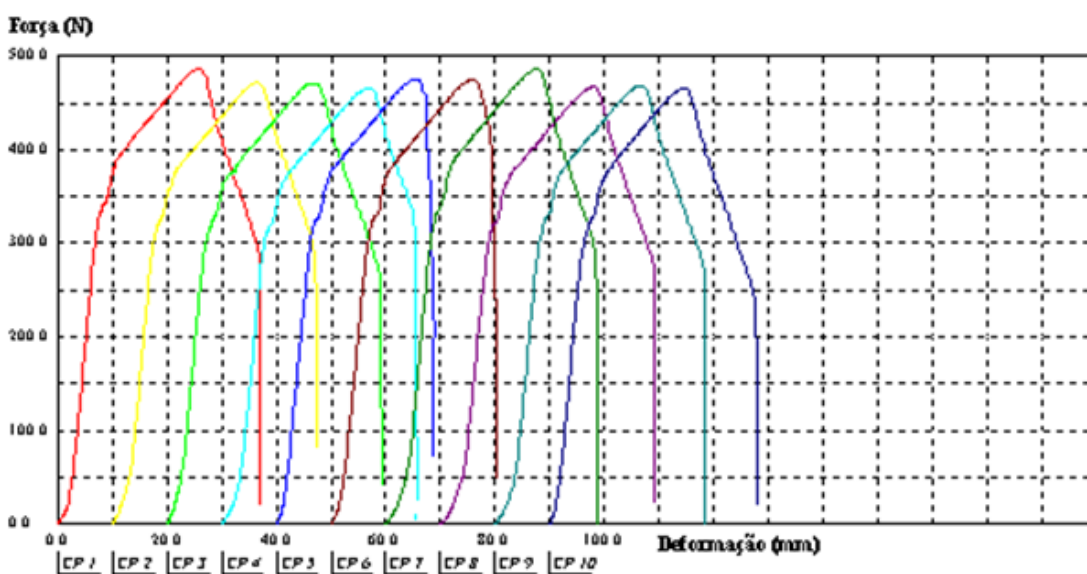


Figura 31. Resultados dos ensaios de resistência à punção da geomembrana de PEAD - Amostra-02



5.1.1.3 Considerações finais dos ensaios de caracterização da geomembrana

A Tabela 17 resume os resultados obtidos dos ensaios de caracterização do geotêxtil cinza utilizado no Projeto Vanádio de Maracás.

Tabela 17. Sumário dos resultados dos ensaios de caracterização da geomembrana

ENSAIO	RESULTADO		
Espessura	Média	mm	0,998
	C.V.	%	2,5
Densidade	Média	g/cm ³	0,9467
	C.V.	%	1
Teor de negro de fumo	Média	%	2,975
Resistência à tração e alongamento - escoamento	Direção longitudinal		
	Média (T)	kN/m	14
	C.V.	%	11
	Média (A)	%	14,5
	C.V.	%	8,5
	Direção transversal		
	Média (T)	kN/m	13,5
	C.V.	%	32,5
	Média (A)	%	13
	C.V.	%	8
Resistência à tração e alongamento - ruptura	Direção longitudinal		
	Média (T)	kN/m	21
	C.V.	%	22,5
	Média (A)	%	686,5
	C.V.	%	11
	Direção transversal		
	Média (T)	kN/m	22
	C.V.	%	17
	Média (A)	%	734
	C.V.	%	7,5
Resistência ao rasgo	Direção longitudinal		
	Média	N	109
	C.V.	%	12
	Direção transversal		
Resistência à punção	Média	N	464,5
	C.V.	%	4

Fonte: Aatoria própria, 2018.

5.1.2 Resultados para o Geotêxtil

Os relatórios de análise das amostras de geotêxtil analisadas pelo Laboratório Central da empresa Ober estão apresentados nos Anexos C, D e E. A seguir, apresentam-se a análise dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

5.1.2.1 Ensaios de caracterização física do geotêxtil

- **Ensaio de determinação da espessura**

Apresentam-se nessa subsecção os resultados obtidos no ensaio de determinação da espessura de 03 amostras virgens do geotêxtil não tecido agulhado, da linha RT 21, designado

por geotêxtil cinza do Fabricante B. A Tabela 18 apresenta o valor da espessura determinado para cada uma das amostras ensaiadas, bem como os correspondentes coeficientes de variação.

Tabela 18. Resultados do ensaio de determinação da espessura do geotêxtil cinza

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)
Amostra-01	3,06	10,00
Amostra-02	3,35	9,00
Amostra-03	3,18	6,00
Valor médio	3,20	8,33

Fonte: Autoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que o geotêxtil apresenta uma espessura média de 3,20 mm, com um coeficiente de variação médio de 8,33%; os valores das espessuras individuais das amostras do ensaiadas variaram entre um mínimo de 3,06 mm e um máximo de 3,35 mm.

- **Ensaio de determinação da gramatura**

Em seguida, apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de determinação da gramatura (ou massa por unidade de área) em 12 corpos de prova provenientes das 03 amostras virgens do geotêxtil cinza (Tabela 19).

Tabela 19. Resultados do ensaio de determinação da gramatura do geotêxtil cinza

CORPO DE PROVA	GRAMATURA (g/m ²)		
	AMOSTRA-01	AMOSTRA-02	AMOSTRA-03
01	305,75	351,25	334,00
02	310,75	311,00	291,75
03	295,00	338,25	331,00
04	301,75	331,50	329,50
05	307,25	322,50	357,00
06	324,50	354,50	341,75
07	305,00	352,00	345,00
08	321,00	340,25	343,50
09	304,00	347,50	350,00
10	315,50	323,50	319,50
11	279,75	361,00	320,50
12	314,50	347,00	341,25
Gramatura final (g/m²)	307,06	340,02	333,73
Amplitude (%)	14,57	14,71	19,55
Coeficiente de variação (%)	4,00	4,00	5,00

Fonte: Autoria própria, 2018.

As informações recolhidas para cada uma das amostras foram tratadas e procederam-se à determinação da gramatura média, bem como o respectivo coeficiente de variação médio. A análise final dos resultados do ensaio de determinação da gramatura do geotêxtil cinza encontra-se resumidos na Tabela 20.

Tabela 20. Análise final dos resultados de determinação da gramatura do geotêxtil cinza

Gramatura média (g/m²)	326,94
Coeficiente de variação médio (%)	4,33
Gramatura máxima (g/m ²)	340,02
Gramatura mínima (g/m ²)	307,06

Fonte: Autoria própria, 2018.

O geotêxtil cinza apresenta uma gramatura média de 326,94 g/m², com um coeficiente de variação médio de 4,33%. Os valores individuais das gramaturas das amostras do geotêxtil cinza variaram entre um mínimo de 307,06 g/m² e um máximo de 340,02 g/m².

- **Ensaio de determinação da largura**

Nesta subsecção, apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de determinação da largura de 03 amostras virgens do geotêxtil. A Tabela 21 apresenta o valor da largura determinado para cada uma das amostras ensaiadas, bem como os correspondentes coeficientes de variação.

Tabela 21. Resultados do ensaio de determinação da largura do geotêxtil cinza

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	LARGURA (m)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Amostra-01	4,57	0,00
Amostra-02	4,50	0,00
Amostra-03	4,58	0,00
Valor médio	4,55	0,00

Fonte: Autoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que o geotêxtil cinza apresenta uma largura média de 4,55 m (coeficiente de variação médio de 0,00%).

5.1.2.2 Ensaio de caracterização mecânica do geotêxtil

- **Ensaio de resistência e alongamento à tração – Método faixa larga**

Apresentam-se agora os resultados obtidos nos ensaios de resistência e alongamento à tração das 03 amostras virgens do geotêxtil cinza (amostras ensaiadas tanto na direção longitudinal quanto transversal), pelo método da faixa larga. A Tabela 22 apresenta os valores da tensão e do alongamento à tração das amostras ensaiadas. A partir dos resultados, foram calculados os valores médios, bem como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 22. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração faixa larga do geotêxtil cinza

DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	DIREÇÃO	TENSÃO (kN/m)	CV (%)	ALONGAMENTO (%)	CV (%)
Amostra-01	Longitudinal	16,81	4,00	68,72	20,00
	Transversal	17,07	3,00	81,01	14,00
Amostra-02	Longitudinal	21,65	0,00	93,44	11,00
	Transversal	18,85	7,00	100,44	6,00
Amostra-03	Longitudinal	17,69	5,00	64,11	12,00
	Transversal	16,06	1,00	74,86	2,00
Valores médios	Longitudinal	18,72	3,00	75,42	14,33
	Transversal	17,33	3,66	85,44	7,33

Fonte: Autoria própria, 2018.

A resistência à tração do geotêxtil cinza apresenta um valor na ruptura médio de 18,72 kN/m na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 3,00%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 75,42% (coeficiente de variação médio de 14,33%).

Com relação à direção transversal, a resistência à tração do geotêxtil cinza apresenta um valor na ruptura médio de 17,33 kN/m (coeficiente de variação médio de 3,66%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 85,44% (coeficiente de variação médio de 7,33%).

- **Ensaio de resistência à tração – Método Grab**

Aqui, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração das 03 amostras virgens do geotêxtil cinza (amostras ensaiadas tanto na direção longitudinal quanto transversal), pelo método Grab. A Tabela 23 apresenta os valores da tensão das amostras ensaiadas. A partir dos resultados, foram calculados os valores médios correspondentes, bem como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 23 – Resultados do ensaio de resistência à tração Grab do geotêxtil cinza

DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	DIREÇÃO	TENSÃO (kN/m)	CV(%)
Amostra-01	Longitudinal	1.080,05	1,00
	Transversal	1.166,11	13,00
Amostra-02	Longitudinal	1.219,59	9,00
	Transversal	1.199,90	8,00
Amostra-03	Longitudinal	1.178,83	13,00
	Transversal	1.156,66	5,00
Valores médios	Longitudinal	1.159,49	7,66
	Transversal	1.174,22	8,66

Fonte: Autoria própria, 2018.

A resistência à tração do geotêxtil cinza apresenta um valor na ruptura médio de 1.159,49 kN/m na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 7,66%), enquanto que na direção transversal apresenta um valor médio de 1.174,22 kN/m (coeficiente de variação médio de 8,66%).

- **Ensaio de determinação da resistência ao rasgo trapezoidal**

Nesta subseção, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência ao rasgo trapezoidal (definida como o valor máxima da força registrada) de 03 amostras do geotêxtil cinza (amostras ensaiadas na direção de longitudinal e na transversal). A Tabela 24 apresenta os valores da força na ruptura de todas as amostras ensaiadas. A partir dos resultados, foram calculados os valores médios correspondentes, assim como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 24. Resultados do ensaio de resistência ao rasgo trapezoidal do geotêxtil cinza

DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	DIREÇÃO	FORÇA MÁXIMA (N)	CV (%)
Amostra-01	Longitudinal	892,71	18,00
	Transversal	644,19	14,00
Amostra-02	Longitudinal	738,02	2,00
	Transversal	922,14	20,00
Amostra-03	Longitudinal	1.069,29	12,00
	Transversal	918,87	14,00
Valores médios	Longitudinal	900,00	10,66
	Transversal	828,40	16,00
Valores de referência	Longitudinal	≥ 1250 N	
	Transversal	≥ 480 N	

Fonte: Autoria própria, 2018.

A resistência ao rasgo trapezoidal do geotêxtil cinza apresenta um valor médio de 900,00 N na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 10,66%), enquanto que na direção transversal apresenta um valor médio de 828,40 N (coeficiente de variação médio de 16,00%).

- **Ensaio de determinação da resistência ao puncionamento estático**

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de puncionamento estático de 03 amostras virgens do geotêxtil cinza. Os valores das resistências ao puncionamento estático e dos respectivos deslocamentos da punção na força máxima de cada uma das amostras ensaiadas encontram-se resumidos na Tabela 25. A partir dos resultados, foram determinados os valores médios correspondentes, bem como os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 25. Resultados do ensaio de resistência ao puncionamento estático do geotêxtil cinza

DESIGNAÇÃO DA AMOSTRA	FORÇA (kN)	CV (%)	DESLOCAMENTO NA FORÇA MÁXIMA (mm)	CV (%)
Amostra-01	3,86	2,00	66,47	20,00
Amostra-02	4,16	1,00	51,56	10,00
Amostra-03	3,68	2,00	158,30	1,00
Valores médios	3,90	1,66	92,11	10,33

Fonte: Autoria própria, 2018.

A resistência ao puncionamento estático do geotêxtil possui um valor médio de 3,90 kN (com um coeficiente de variação de 1,66%), enquanto que o correspondente deslocamento na força máxima apresenta um valor de 92,11 mm (coeficiente de variação de 10,33%).

5.1.2.3 Considerações finais dos ensaios de caracterização do geotêxtil

A Tabela 26 resume os resultados obtidos dos ensaios de caracterização do geotêxtil cinza utilizado no Projeto Vanádio de Maracás.

Tabela 26. Sumário dos resultados dos ensaios de caracterização do geotêxtil

ENSAIO	RESULTADO		
Espessura	Média	mm	3,20
	C.V.	%	8,33
Gramatura	Média	g/cm ²	326,94
	C.V.	%	4,33
Largura	Média	m	4,55
Resistência à tração – Faixa Larga	Direção longitudinal		
	Média	kN/m	18,72
	C.V.	%	3,00
	Direção transversal		
	Média	kN/m	17,33
	C.V.	%	3,66
Alongamento – Faixa Larga	Direção longitudinal		
	Média	%	75,42
	C.V.	%	14,33
	Direção transversal		
	Média	%	85,44
	C.V.	%	7,33
Resistência à tração – Método Grab	Direção longitudinal		
	Média	kN/m	1.159,49
	C.V.	%	7,66
	Direção transversal		
	Média	kN/m	1.174,22
	C.V.	%	8,66
Resistência ao Rasgo Trapezoidal	Direção longitudinal		
	Média	N	900,00
	C.V.	%	10,66
	Direção transversal		
	Média	N	828,40
	C.V.	%	16,00
Resistência ao puncionamento estático	Média	N	3,90
	C.V.	%	1,66
Deslocamento à punção na força máxima	Média	N	92,11
	C.V.	%	10,33

Fonte: Autoria própria, 2018.

5.1.3 Resultados para a Georrede

O laudo de análise da amostra de georrede analisada pelo Laboratório de qualidade da empresa Roma está apresentado no Anexo F. A seguir, apresentam-se a análise dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

Ressalta-se que devido a complicações no processo de transporte dos materiais ao laboratório, uma das amostras de georrede acabou não sendo enviada. Logo, os resultados apresentados na próxima seção para a georrede, referem-se aos ensaios realizados em apenas uma amostra.

5.1.3.1 Ensaio de caracterização física da georrede

- **Ensaio de determinação da espessura**

Apresentam-se nessa subseção os resultados obtidos no ensaio de determinação da espessura de 01 amostra virgem da georrede de PEAD. A Tabela 27 apresenta o valor da espessura determinado, bem como o correspondente coeficiente de variação.

Tabela 27. Resultados do ensaio de determinação da espessura da georrede de PEAD

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Amostra-01	5,39	2

Fonte: Autoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que a georrede de PEAD apresenta uma espessura média de 5,39 mm, com um coeficiente de variação médio de 2%.

- **Ensaio de determinação da gramatura**

Nesta subseção, apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de determinação da gramatura de 01 amostra virgem da georrede de PEAD. A Tabela 28 TABELA 7 apresenta o valor da gramatura determinado, bem como o correspondente coeficiente de variação.

Tabela 28. Resultados do ensaio de determinação da gramatura da georrede de PEAD

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	GRAMATURA (g/m ²)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
Amostra-01	675	4

Fonte: Autoria própria, 2018.

Denota-se a partir dos resultados que a amostra de georrede analisada apresenta uma gramatura média de 675 g/m², com um coeficiente de variação médio de 4%.

- **Ensaio de determinação do teor de negro de fumo**

Apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de determinação do teor de negro de fumo de 01 amostra virgem da georrede de PEAD. A Tabela 29 apresenta o valor médio do teor de negro de fumo determinado. Denota-se a partir dos resultados que as amostras de geomembrana analisadas apresentam um teor de negro de fumo médio de 2,97%.

Tabela 29. Resultados do ensaio de determinação do teor de negro de fumo da georrede

DESIGNAÇÃO DAS AMOSTRAS	TEOR DE NEGRO DE FUMO (%)
Amostra-01	2,97

Fonte: Aatoria própria, 2018.

5.1.3.2 Ensaio de caracterização mecânica da georrede

- **Ensaio de resistência e alongamento à tração**

Apresentam-se agora os resultados obtidos nos ensaios de resistência e alongamento à tração de 5 corpos de provas provenientes de 01 amostra virgem da georrede de PEAD (amostras ensaiadas tanto na direção longitudinal quanto transversal). A Tabela 30 apresenta os valores da tensão e do alongamento à tração da amostra ensaiada.

Tabela 30. Resultados do ensaio de resistência e alongamento à tração da georrede de PEAD

CORPO DE PROVA	DIREÇÃO	AMOSTRA-01	
		TENSÃO (kN/m)	ALONGAMENTO (%)
01	Longitudinal	3,4	137
02		3,2	145
03		3,7	113
04		2,8	118
05		3,7	110
Valores médios		3,4	125
Coefficiente de variação (%)		11	12
01	Transversal	6,3	19
02		6,1	150
03		5,5	24
04		5,4	132
05		5,5	19
Valores médios		5,7	69
Coefficiente de variação (%)		7	96

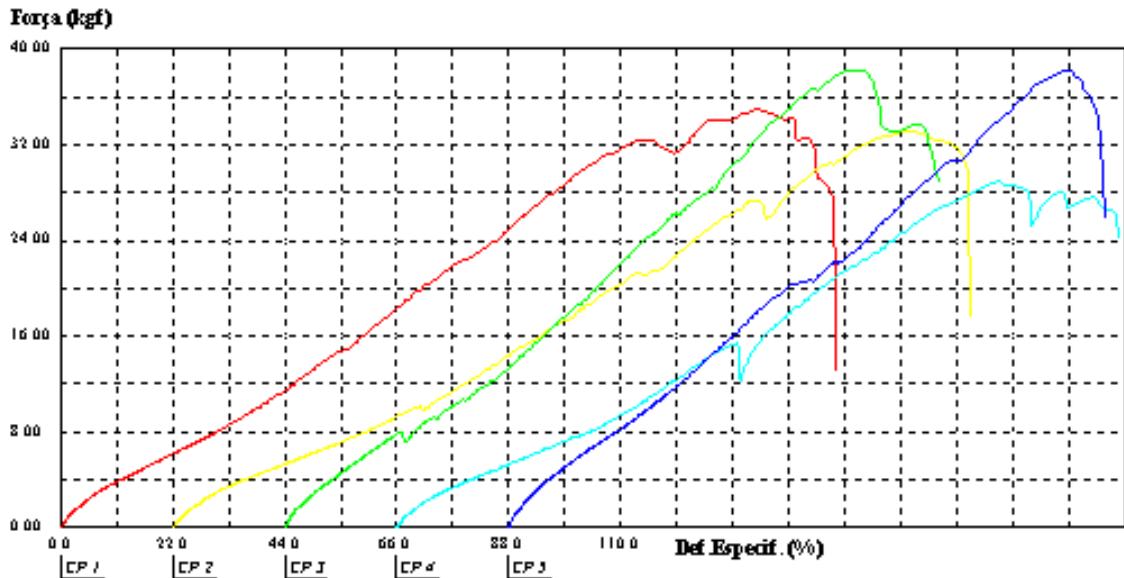
Fonte: Aatoria própria, 2018.

A resistência à tração da georrede de PEAD apresenta um valor médio de 3,4 kN/m na direção longitudinal (coeficiente de variação médio de 11%), enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 125% (coeficiente de variação médio de 12%).

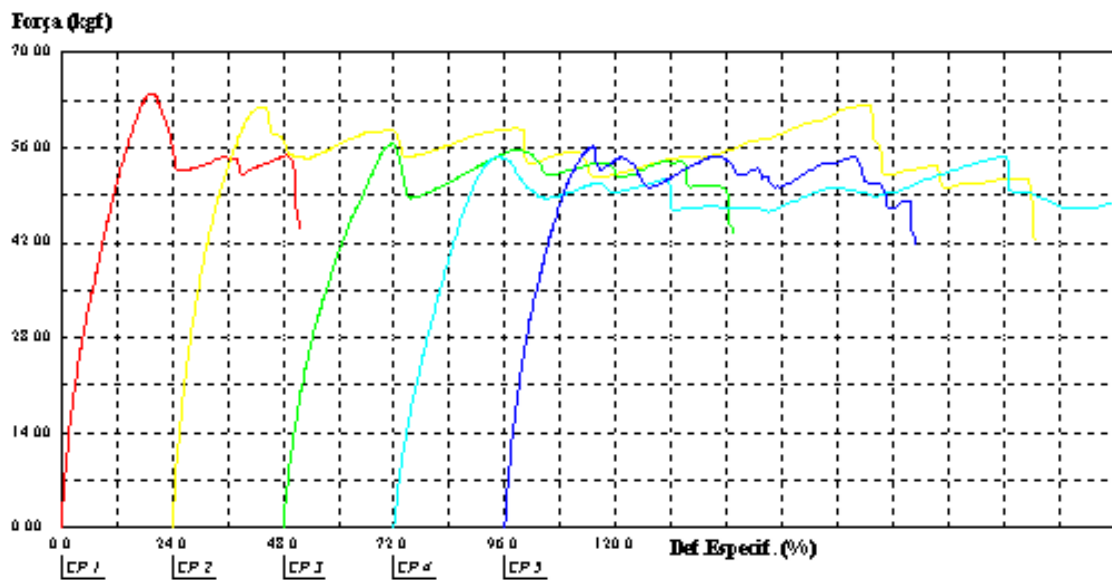
Com relação à direção transversal, a resistência à tração da georrede de PEAD apresenta um valor na ruptura médio de 5,7 kN/m (coeficiente de variação médio de 7%),

enquanto que o correspondente alongamento apresenta um valor médio de 69% (coeficiente de variação médio de 96%).

Figura 32. Resultados dos ensaios de resistência e alongamento à tração da georrede de PEAD



(Longitudinal)



(Transversal)

5.1.3.3 Considerações finais dos ensaios de caracterização da georrede

A Tabela 31 resume os resultados obtidos dos ensaios de caracterização da georrede utilizada no Projeto Vanádio de Maracás.

Tabela 31. Sumário dos resultados dos ensaios de caracterização da georrede

ENSAIO	RESULTADO		
Espessura	Média	mm	5,39
	C.V.	%	2
Gramatura	Média	g/m ²	675
	C.V.	%	4
Teor de negro de fumo	Média	%	2,97
Resistência à tração – Faixa Larga	Direção longitudinal		
	Média	kN/m	3,4
	C.V.	%	11
	Direção transversal		
	Média	kN/m	5,7
	C.V.	%	7
Alongamento – Faixa Larga	Direção longitudinal		
	Média	%	125
	C.V.	%	12
	Direção transversal		
	Média	%	69
	C.V.	%	96

Fonte: Autoria própria, 2018.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acúmulo de rejeitos de minérios nas grandes estruturas de barramento vem desafiando cada vez mais os sistemas de gestão de risco na busca pela garantia de modelos e melhores tecnologias construtivas, de monitoramento e de segurança.

De acordo ao Plano de Segurança de Barragens, além de diretrizes de análise e de classificação dos riscos e danos associados à cada empreendimento, o controle gerencial ou gestão de menor impacto através de técnicas e normas vem demonstrando a necessidade por estudos comportamentais das estruturas existentes, a fim de obter uma condução mais eficiente e segura.

O presente trabalho teve como intuito demonstrar a técnica de controle da percolação com geossintéticos adotada na Mineradora Vanádio de Maracás, cujo objetivo é detectar e permitir o tratamento de pequenos vazamentos, de forma a melhorar e assegurar o controle da confiabilidade do sistema de disposição de rejeitos.

Este trabalho possibilitou compreender que tecnologias adotadas na construção de bacias de rejeitos podem trazer ganhos substanciais ao conceito de segurança dessas construções. Sistemas executados que permitem um controle no monitoramento da fuga de líquidos, no acompanhamento sistêmico do barramento e nas observações de surgências facilitam a gestão de risco da estrutura. Foi permitido também, compreender que estruturas construídas com materiais sintéticos com alto grau de controle tecnológico e industrial, adquire propriedades mecânicas e físicas com excelentes desempenhos.

Em seguida, destacam-se as principais conclusões obtidas neste trabalho e apresentam-se algumas propostas para pesquisas futuras.

6.1 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA LIMITAÇÕES FUTURAS

O estudo para verificação da segurança do sistema de proteção ambiental contra a fuga de rejeitos armazenados se deu principalmente na caracterização dos materiais geossintéticos empregados no revestimento das bacias, a análise na confiabilidade em um sistema de duplo revestimento, onde fugas ocorridas na camada superior, seguramente serão drenadas para um sistema de poços de percolagem, sendo posteriormente reciclado novamente ao reservatório.

Diante dos resultados e das limitações ocorridas durante o desenvolvimento da pesquisa, apresentam-se abaixo as sugestões para pesquisas futuras e considerações sobre o sistema de barreira de fluxo estudado:

- Como sugestão de monitoramento e também para pesquisas futuras, as amostras coletadas devam ser ensaiadas em períodos de 6 meses; 1 ano; e, 1 ano e 6 meses contados a partir da data da coleta. Desta forma, poderá ser observada a curva de desempenho do comportamento dos materiais do sistema, e observado a vida útil dos materiais;
- Faz-se necessário o dimensionamento da espessura mínima da geomembrana, obtida a partir dos esforços devido ao possível recalque na base, desta forma, será impedida, com segurança, a possibilidade de ruptura da manta;
- Também é necessário o dimensionamento do comprimento mínimo de ancoragem na crista do talude, incluindo-se o dimensionamento da vala de ancoragem, impedindo assim, com segurança, o arraste da manta;
- O geotêxtil não tecido utilizado como elemento de proteção da geomembrana poderia ser melhorado, utilizando o dimensionamento da Narejo. Estudos comprovam que geotêxtis não tecidos com menos de 600 gm² não protegem a manta, além disto, o GT de polipropileno é muito mais eficiente para esta função do que o de poliéster.
- Para um estudo mais aprofundado da georrede de PEAD, sugere-se os ensaios de compressão, para avaliação da capacidade mecânica de manutenção da espessura devido a cargas de compressão, além do ensaio de transmissividade de longa duração (100 minutos), pois, desta forma, pode-se avaliar a tendência de fluência (creep) sob compressão do material. Denota-se que uma georrede para esta aplicação deveria ter no mínimo 900 gm² e resistência à compressão mínima de 500 kPa. Dependendo do gradiente hidráulico, a georrede pode não desempenhar o seu papel, mesmo em condições de baixas vazões na aplicação de camada de detecção de vazamentos. A baixa resistência à tração pode provocar ruptura do material nos taludes e comprometer a longevidade da camada de detecção;
- O ensaio de compatibilidade química da geomembrana com o rejeito da obra é bastante desejado para o estudo de possíveis alterações no comportamento físico, mecânico, e de composição do polímero. Obras de grande porte que possuam rejeitos

possivelmente não inertes deveriam prover ensaios prévios de compatibilidade química;

- Para a garantia da manutenção das propriedades da geomembrana ao longo de toda a vida útil da obra, o estudo de "Stress Cracking" e tempo de oxidação indutiva tornam-se interessantes para prevenir rupturas precoces da manta. A resistência ao Stress Cracking da geomembrana de PEAD é comandada pelo tipo de resina utilizada, como sugestão, ensaios podem ser realizados em amostras virgens e em amostras pós imersão com o rejeito da obra, para verificar se haverá perda de resistência após contato com o rejeito;
- Necessário um memorial descritivo bem elaborado com especificações bem definidas para que os fornecedores compreendam a segurança do empreendimento;
- Ensaios de recebimento dos materiais para garantir suas propriedades físicas e mecânicas, assim como desempenho.

Dentre todos os modelos de revestimento de barragem existente e executados no Brasil, seguramente, este modelo com dupla camada e sistema de coleta de fugas através de geossintéticos são os que demonstram mais segurança ambiental, assim como estrutural devido ao controle de líquidos insurgentes na estrutura física de barramento.

Em tempo, ressalta-se que para a consolidação e aplicabilidade deste estudo, o referido documento será encaminhado ao Projeto Vanádio de Maracás. A intenção assenta-se, ao fim, na disponibilização dos resultados obtidos neste trabalho, para análise e posterior utilização em elaboração de projetos de novas barragens de rejeito pela empresa supracitada e/ou estudos cabíveis.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAS – ASTM. **ASTM D 792:** Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/300964917_ASTM_D_792_-_08>. Acesso em: 11 set. 2018.
2. _____. **ASTM D 1004:** Standard Test Method for Tear Resistance (Graves Tear) of Plastic Film and Sheeting, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. Disponível em: <<https://www.astm.org/Standards/D1004.htm>>. Acesso em: 11 set. 2018.
3. _____. **ASTM D 1603:** Standard Test Method for Carbon Black Content in Olefin Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. Disponível em: <<https://www.astm.org/Standards/D1603.htm>>. Acesso em: 11 set. 2018.
4. _____. **ASTM D 4833:** Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007. Disponível em: <<http://stormsolutionsusa.com/ASTM/ASTM%20D4833-07.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2018.
5. _____. **ASTM D 5199:** Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001. Disponível em: <<http://www.stormsolutionsusa.com/ASTM/ASTM%20D5199-01.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2018.
6. _____. **ASTM D 5261:** Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018. Disponível em: <<https://www.astm.org/Standards/D5261.htm>>. Acesso em: 11 set. 2018.
7. AMORIM, Enio Fernandes. **Disposição de Resíduos Minerai s por meio da Técnica de Rejeitos em Pasta. Profiscientia:** Periódico Multidisciplinar do IFMT - Campus Cuiabá, Cuiabá, v. 4, n. 19, p.349-358, 31 out. 2013. Disponível em: <<http://www.profiscientia.ifmt.edu.br/profiscientia/index.php/profiscientia/article/view/51/53>>. Acesso em: 06 set. 2018.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 10318-1:** Geossintéticos - Parte 1: Termos e definições. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9 p.
9. _____. **NBR ISO 10319.** Geossintéticos – Ensaio de tração faixa larga. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 11 p.
10. _____. **NBR 13028:** Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 16 p.
11. _____. **NBR ISO 31.000.** Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 24 p. Disponível em:

<<https://gestravp.files.wordpress.com/2013/06/iso31000-gestc3a3o-de-riscos.pdf>>.
Acesso em: 09 mar. 2019.

12. _____. **NBR ISO 31.010**. Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 96 p.
13. BENJAMIM, Carlos Vinícius dos Santos; GUIMARÃES, Demetrius. **Geotêxteis podem ser usados para drenagem, reforço e separação de camadas** (2015). Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/geotexteis-podem-ser-usados-para-drenagem-reforco-e-separacao-de-camadas_11191_10_0>. Acesso em: 08 set. 2018.
14. BRASIL. **Lei Federal Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.html>. Acesso em: 07 set. 2018.
15. CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. HOLOS, 2016. Disponível em: <www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/5367/pdf>. Acesso em: 09 mar. 2019.
16. CARNEIRO, José Ricardo da Cunha. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental: A importância da incorporação de aditivos químicos**. 2009. 602 f. (Tese de doutorado). Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/58857>>. Acesso em: 08 set. 2018.
17. COLMANETTI, Janaina Provásio. **Estudos sobre a aplicação de geomembranas na impermeabilização da face de montante de barragens de enrocamento**. 2006. 303 f. (Tese de doutorado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/3136>>. Acesso em: 08 set. 2018.
18. DUARTE, Alessandro Fernandes de Silva. **Aplicação de Geossintéticos na Impermeabilização e Selagem de Aterros**. 2009. 159 f. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal, 2009.
19. FARIAS, Carlos Eugênio Gomes Farias. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Brasília: PNUD, 2002. Disponível em: <https://www.cgge.org.br/documents/10195/734063/mineracao_e_meio_ambiente_no_brasil_1022.pdf/e86e431e-1a03-48d0-9a6e-98655ea257b6?version=1.0>. Acesso em: 20 jul. 2018.
20. FONTENELLE, Mariana Campos; FONTENELLE, Alexandre de Sousa; MATOS, Yago Machado Pereira de Matos; MONTEIRO, Fernando Feitosa. **Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem malcozinhado no nordeste brasileiro**. REEG

– Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vol. 14, nº 1, 25-42, jan-jun. 2018. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/46356>>.. Acesso em: 06 mar. 2019.

21. GOMES, L. M. F. **Geotêxteis e suas aplicações**. In: A Indústria Têxtil nos Caminhos da Inovação. Universidade da Beira Interior, 2001, Covilhã: UBITEX, 2001. p. 10 - 20. Disponível em: <http://deca.ubi.pt/arquivo/fg_artigos/textos/Geossinteticos/2001_Seminario_UBITEX_Geotexteis.pdf>. Acesso em: 09 set. 2018.
22. IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (2016). **Gestão e Manejo dos Resíduos da Mineração**. Instituto Brasileiro de Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016.128 p. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.
23. _____ (2018). **Relatório Anual de Atividades: Julho de 2017 – Junho de 2018**. Disponível em: <http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2018.
24. LANGE, Liséte Celina; SIMÕES, Gustavo Ferreira; De LIMA, Wesley Schettino; CATAPRETA, Cícero Antônio Antunes; FREITAS, Izabel Chiodi. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.)**. – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.
25. LISBOA, Maurício Santos. **A exploração do minério de vanádio no município de Maracás/BA: os impactos socioambientais da mineração e seu beneficiamento no povoado de Água Branca**. 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Ambiental, Programa de Pós-graduação em Planejamento Ambiental, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2016. Disponível em: <<http://ri.ucsal.br:8080/jspui/bitstream/123456730/323/3/MAURICIO%20SANTOS%20LISBOA.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2018.
26. LOCASTRO, João Karlos; De Angelis, Bruno Luiz Domingos. **Barreiras de impermeabilização: Configurações aplicadas em aterros sanitários**. REGET, V. 20, N. 1, jan - abr., 2016.
27. LODI, Paulo César; ZORNBERG, Jorge Gabriel; BUENO, Benedito de Souza. **Uma breve visão sobre geossintéticos aplicados a aterros sanitários**. Revista Tecnol Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 188-197, dez 2009.
28. MACHADO, Lucas Vasconcellos Teani; AZEEZ, Dolapo Gbadebo. **Incidentes e Acidentes em Barragens**. 7º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade (19 a 21 de junho), 2018. Disponível em: <<http://itr.ufrj.br/sigabi/anais>>. Acesso em: 10 mar. 2019.
29. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI). **Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção de Barragem**. 2ª Edição. Brasília. MI, 2010. Disponível em:

<<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdePreenchimentodaFichadeCadastrodeBarragem.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

30. _____. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. – Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaoBarragens.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2019.
31. MLF GEOMECÂNICA (2018). **Projeto Detalhado: Depósito de Rejeitos Não Magnéticos 04 – Relatório Técnico**. Nova Lima, 2018. 58 p.
32. PIMENTA DE ÁVILA. **Gestão de Riscos**. Disponível em: <<https://www.pimentadeavila.com.br/gestao-de-riscos-gestao-de-seguranca-e-gestao-da-emergencia/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.
33. RODRIGUEZ, Porfírio Cabaleiro; SILVA, Leonardo Apparicio; XAVIER, Fábio Valério. **Independent Technical Report: Na uptaded mine plan, mineral reserve and preliminar economic assessment of the inferred Resources**. Largo Resources: 2017. Disponível em: <[http://s22.q4cdn.com/197308373/files/doc_downloads/technical-report/NI43-101TechRpt\(MaracasMen\)-Nov8.pdf](http://s22.q4cdn.com/197308373/files/doc_downloads/technical-report/NI43-101TechRpt(MaracasMen)-Nov8.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2018.
34. SABBO, Gabriela Rodrigues; ASSIS, Milena Maria Graciano de; BERTERQUINI, Aline Botini Tavares. **Barragens de retenção de rejeitos de mineração**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 02, n. 01, p. 3-15, jan./ago. 2017. Disponível em: <<http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/download/2542/147+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 07 set. 2018.
35. SIEIRA, Ana Cristina Castro Fontenla. **Estudo experimental dos mecanismos de interação solo-geogrelha**. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. 363 f. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/4295/4295_3.PDF>. Acesso em: 08 set. 2018.
36. TEGAPE – Telas Plásticas (20--). Georrede: Núcleo drenante. Disponível em: <http://www.tegape.com.br/atuacao_interna/id/78/geossinteticos--georrede-nucleo-drenante>. Acesso em: 09 set. 2018.
37. VERTEMATTI, José Carlos (São Paulo). Comitê Técnico Geotêxtil (CTG). **Curso Básico de Geotêxteis**. São Paulo: ABINT - Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos, 2001. 95 p. Disponível em: <<http://www.abint.org.br/pdf/Apostila%20-%20CBG.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2018.
38. Project Wise Uranium. **Chronology of major tailings dam failures**. Disponível em: <<http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>>. Acesso em: 05 fev. 2019.

ANEXOS

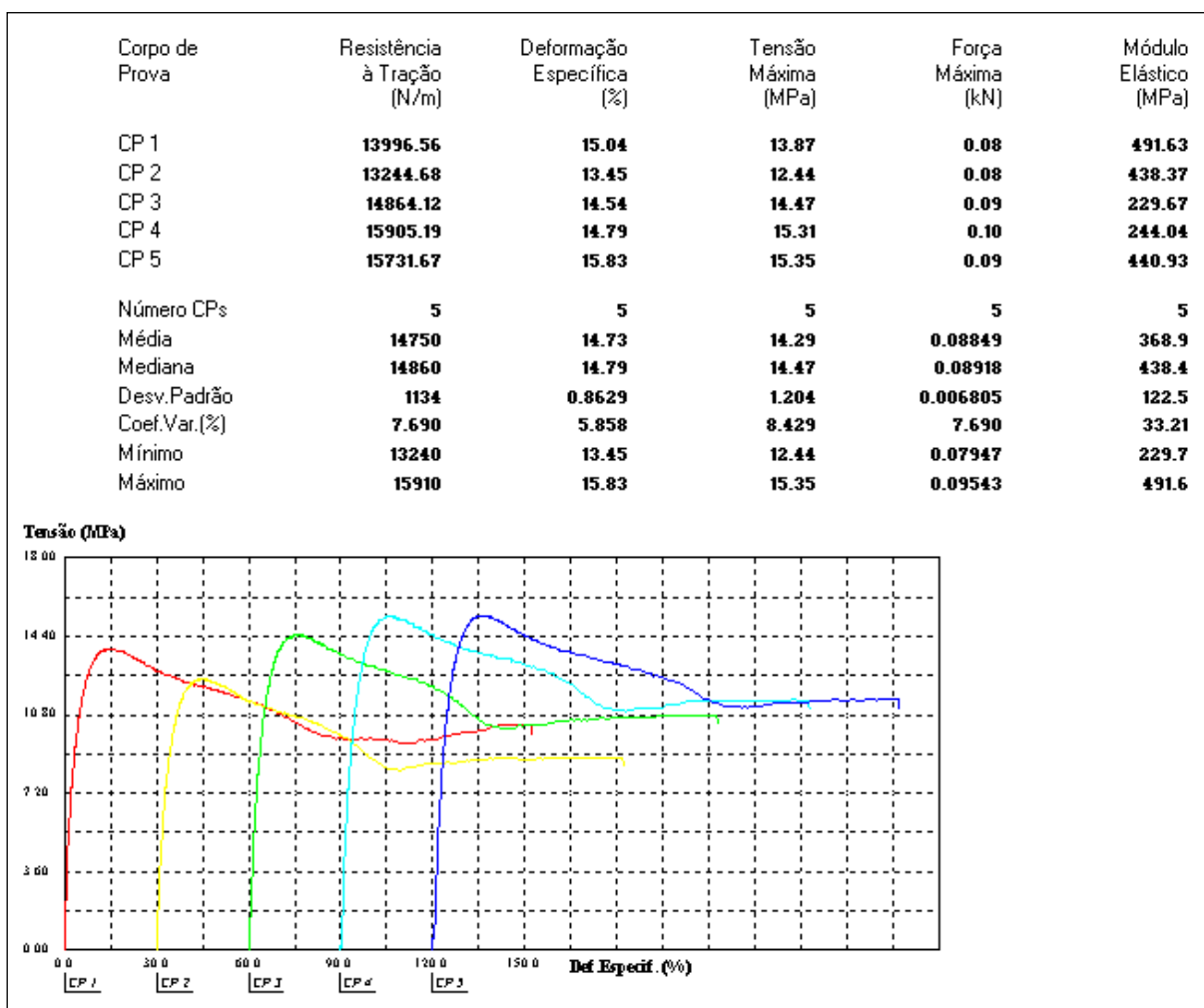
ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIOS DA GEOMEMBRANA_AMOSTRA 01



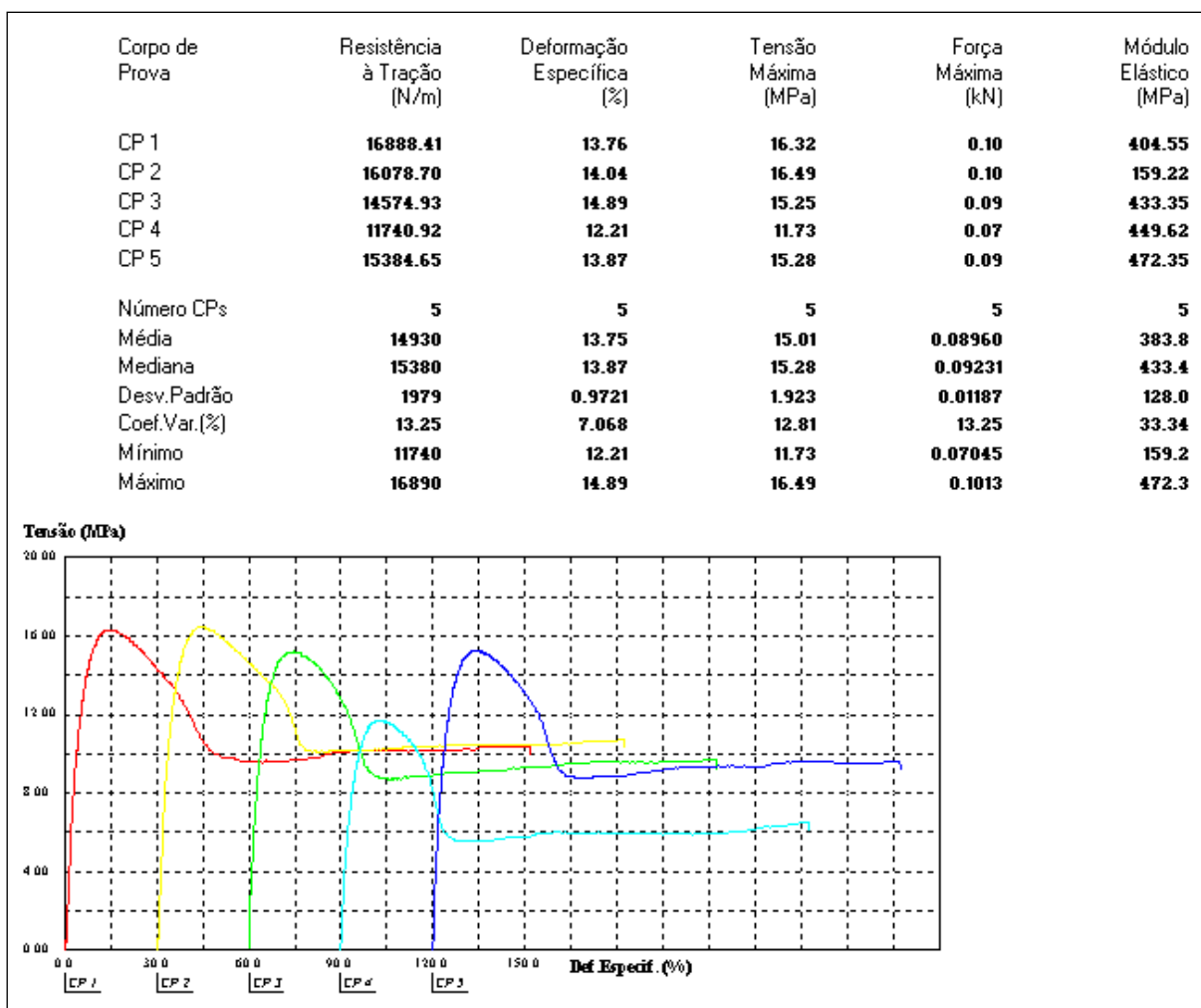
Espessura (ASTM D 5199)	Média:	mm	1,014
	C.V.:	%	3
Densidade (ASTM D 792)	Média:	g/cm ³	0,9487
	C.V.:	%	1
Teor de Negro de Fumo (ASTM D 1603)	Resultado	%	3,04
Stress Craking (ASTM D 5397)	Resultado	h	≥ 000 h
Direção Longitudinal			
Resistência à Tração no Escoamento (ASTM D 6693) Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Média:	kN/m	15
	C.V.:	%	8
Direção Transversal			
	Média:	kN/m	15
	C.V.:	%	13
Direção Longitudinal			
Alongamento no Escoamento (ASTM D 6693) Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Média:	%	15
	C.V.:	%	9
Direção Transversal			
	Média:	%	14
	C.V.:	%	7
Direção Longitudinal			
Resistência à Tração na Ruptura (ASTM D 6693) Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Média:	kN/m	22
	C.V.:	%	29
Direção Transversal			
	Média:	kN/m	23
	C.V.:	%	14
Direção Longitudinal			
Alongamento na Ruptura (ASTM D 6693) Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Média:	%	692
	C.V.:	%	17
Direção Transversal			
	Média:	%	740
	C.V.:	%	7
Direção Longitudinal			
Resistência ao Rasgo (ASTM D 1004)	Média:	N	110
	C.V.:	%	10
Direção Transversal			
	Média:	N	117

	C.V.:	%	7
Resistência à Punção (ASTM D 4833)	Média:	N	455
	C.V.:	%	6

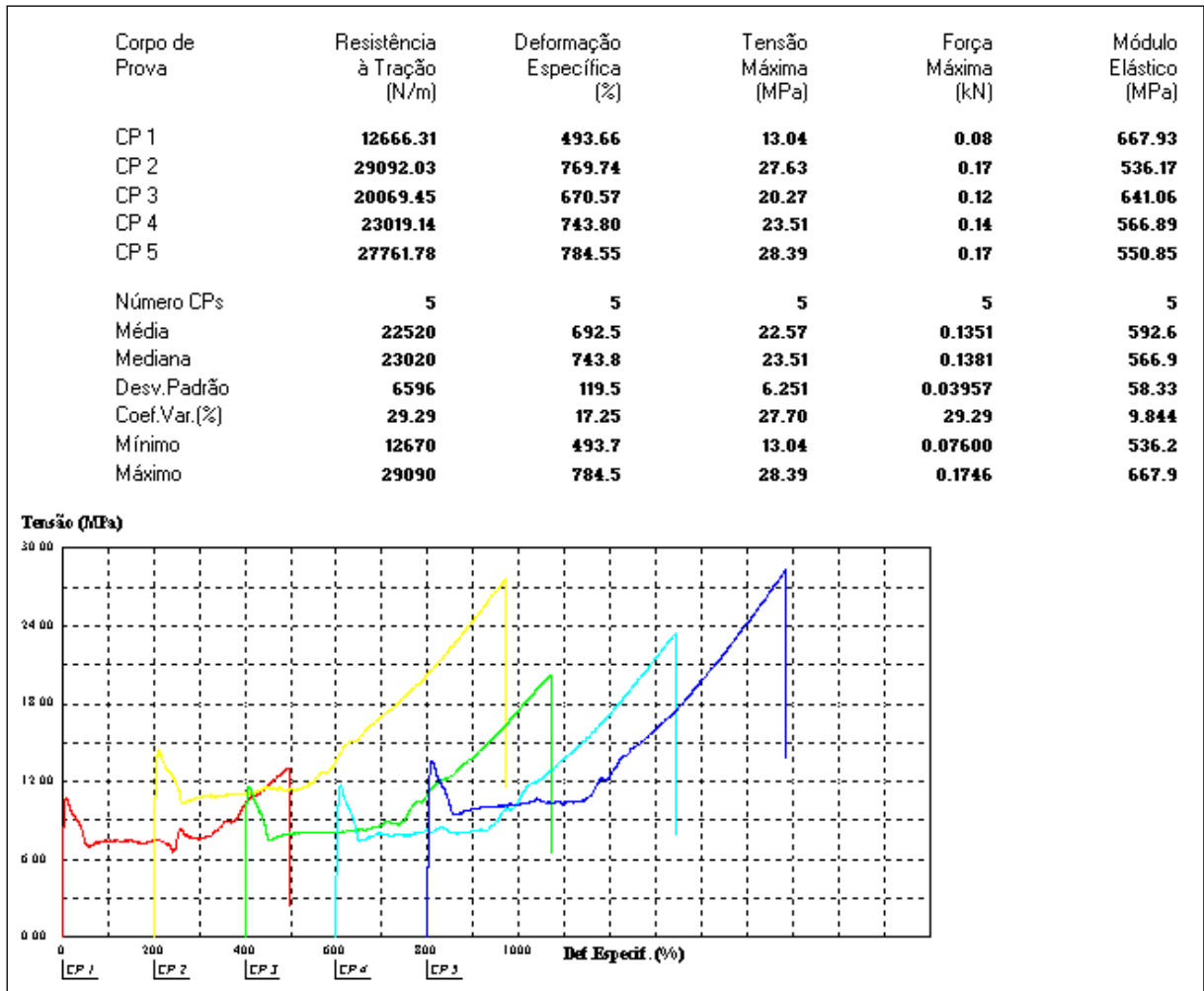
Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração no Escoamento: Direção Longitudinal



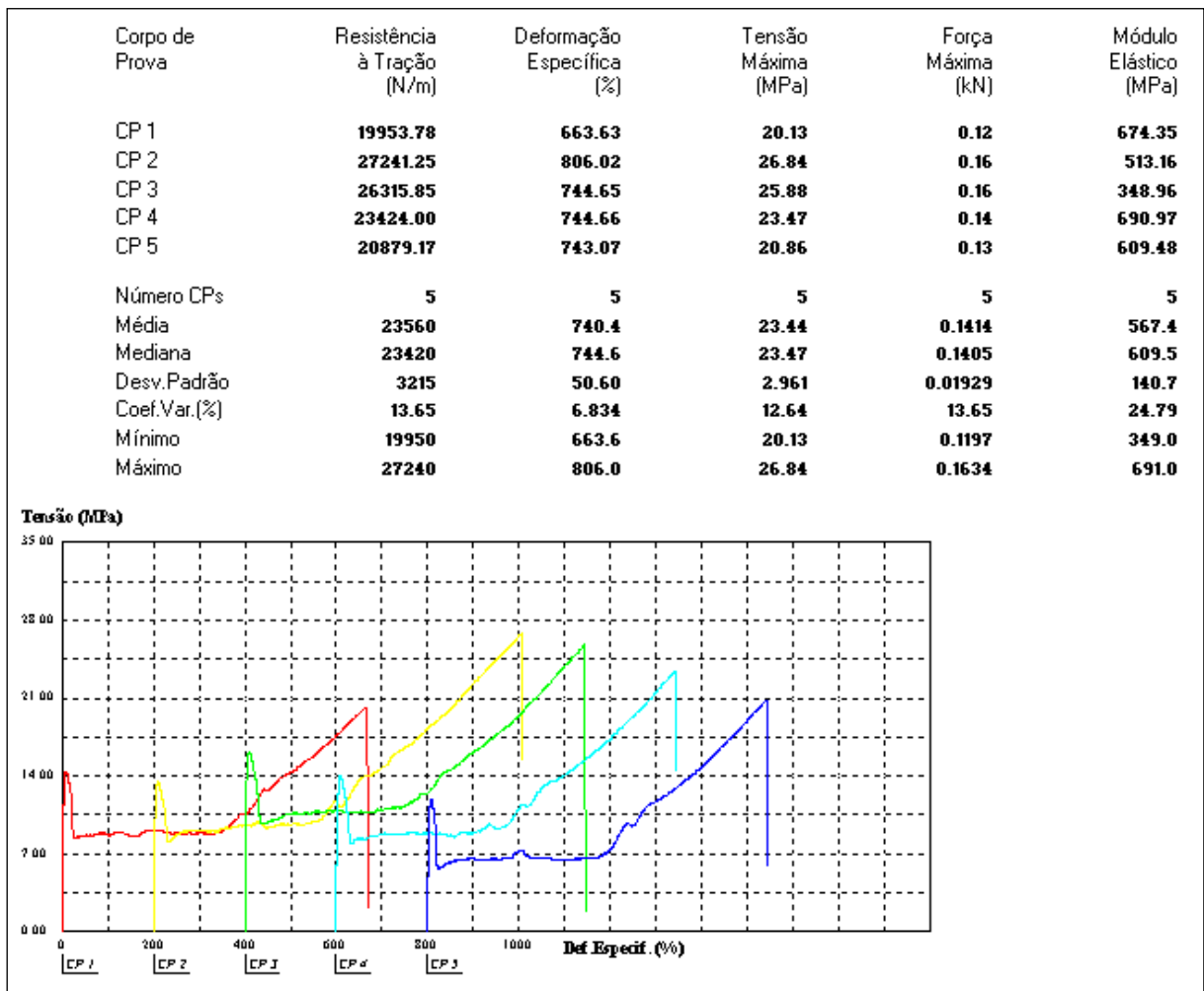
Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração no Escoamento: Direção Transversal



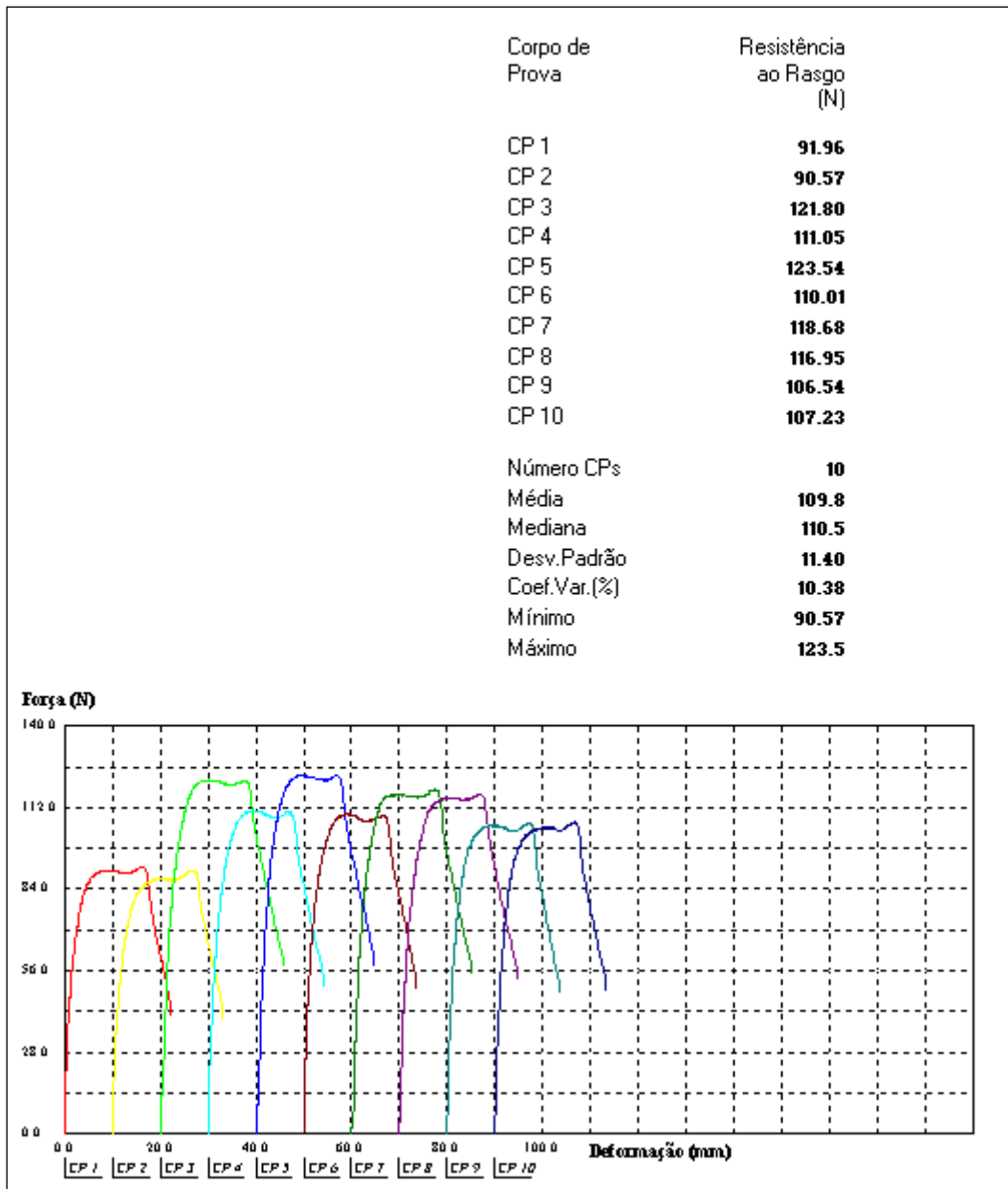
Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração na Ruptura: Direção Longitudinal



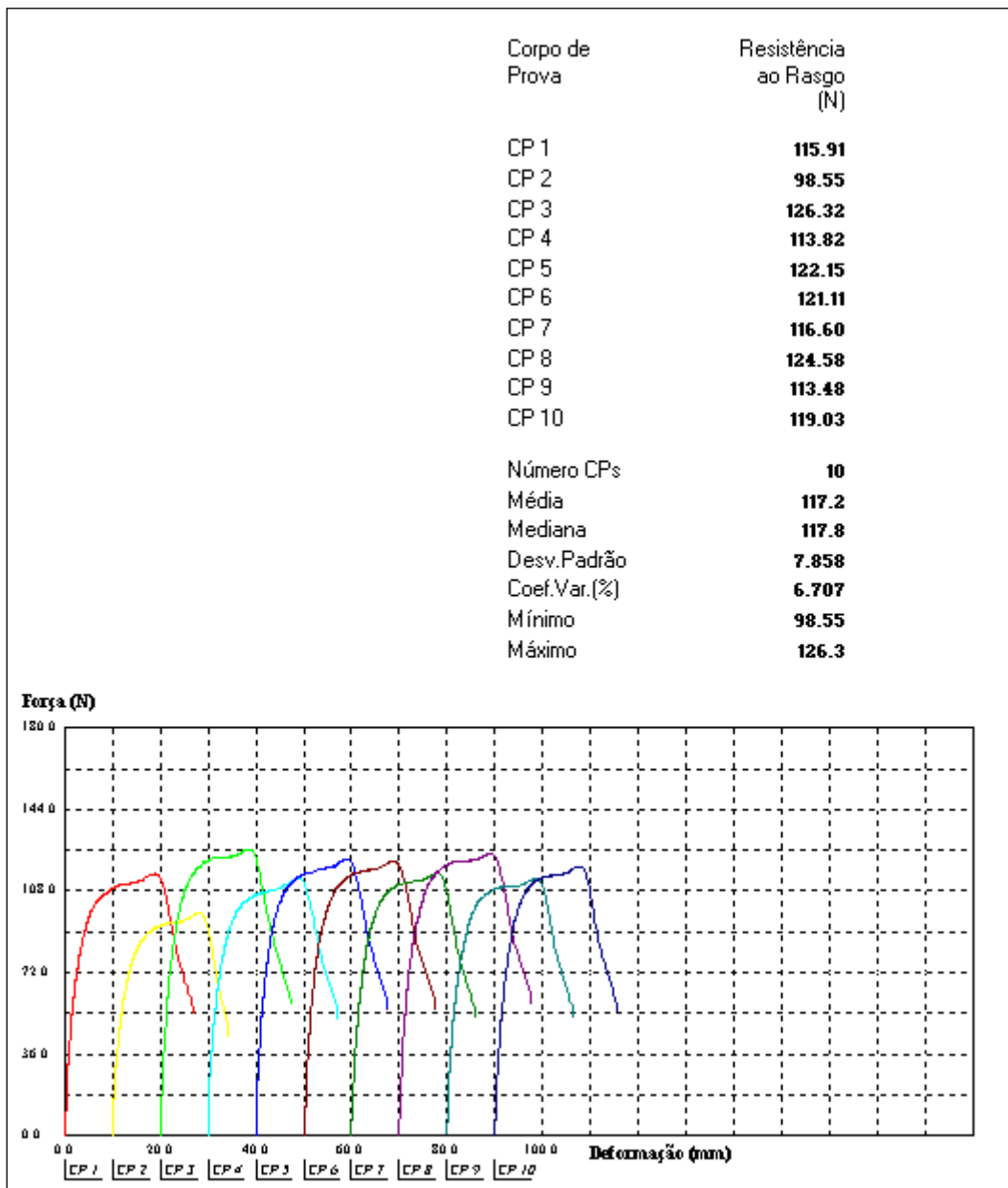
Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração na Ruptura: Direção Transversal



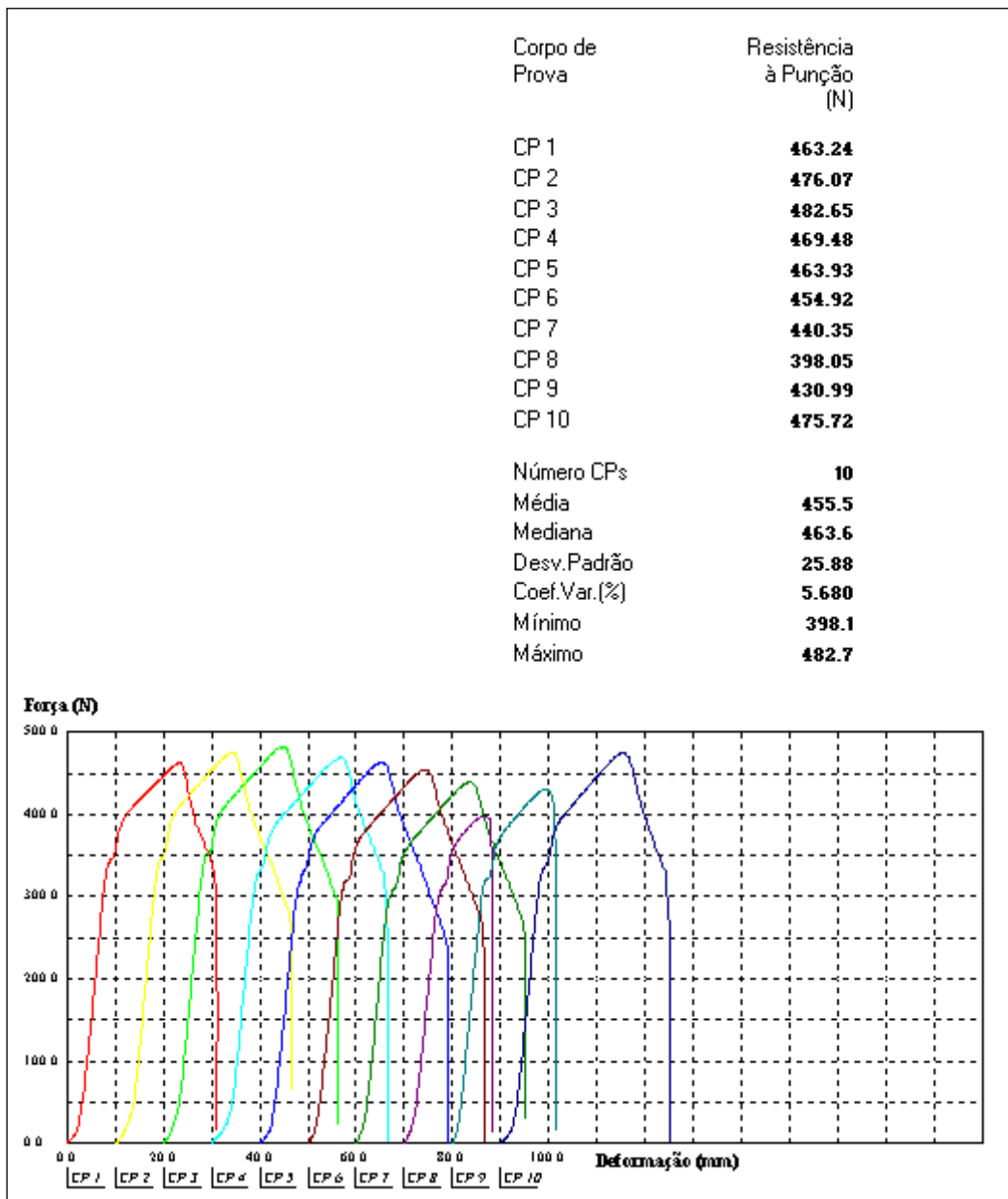
Curvas Obtidas dos Ensaios de Rasgo: Direção Longitudinal



Curvas Obtidas dos Ensaios de Rasgo: Direção Transversal



Curvas Obtidas dos Ensaios de Punção: Direção Única



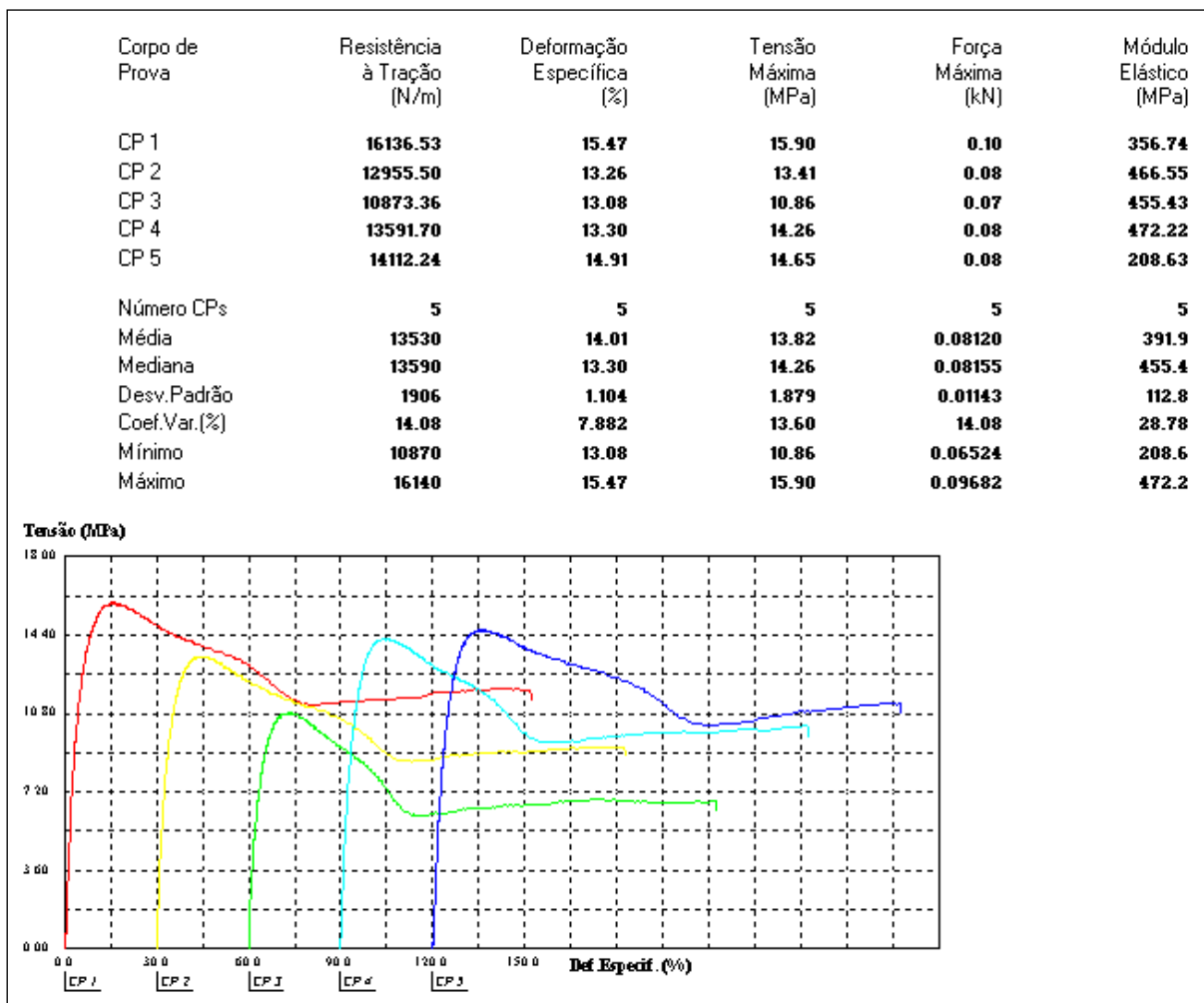
ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIOS DA GEOMEMBRANA_AMOSTRA 02



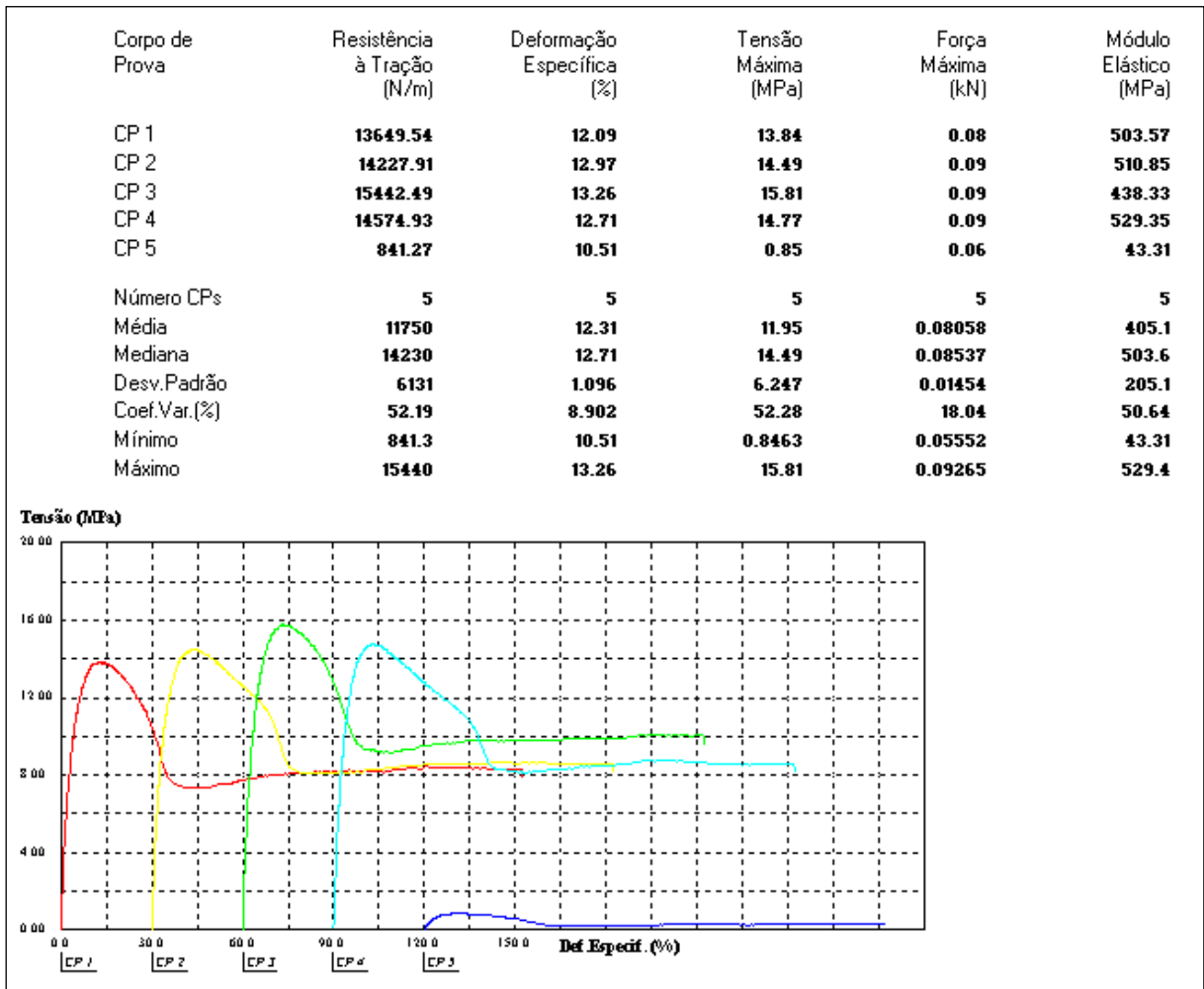
Espessura (ASTM D 5199)	Média:	mm	0,982
	C.V.:	%	2
Densidade (ASTM D 792)	Média:	g/cm ³	0,9447
	C.V.:	%	1
Teor de Negro de Fumo (ASTM D 1603)	Resultado	%	2,91
Stress Cracking (ASTM D 5397)	Resultado	h	≥ 000 h
Direção Longitudinal			
Resistência à Tração no Escoamento (ASTM D 6693)	Média:	kN/m	13
	C.V.:	%	14
Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Direção Transversal		
	Média:	kN/m	12
	C.V.:	%	52
Direção Longitudinal			
Alongamento no Escoamento (ASTM D 6693)	Média:	%	14
	C.V.:	%	8
Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Direção Transversal		
	Média:	%	12
	C.V.:	%	9
Direção Longitudinal			
Resistência à Tração na Ruptura (ASTM D 6693)	Média:	kN/m	20
	C.V.:	%	16
Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Direção Transversal		
	Média:	kN/m	21
	C.V.:	%	20
Direção Longitudinal			
Alongamento na Ruptura (ASTM D 6693)	Média:	%	681
	C.V.:	%	5
Temp.:21 °C Umid.: 50 %	Direção Transversal		
	Média:	%	728
	C.V.:	%	8
Direção Longitudinal			
Resistência ao Rasgo (ASTM D 1004)	Média:	N	108
	C.V.:	%	14

	Direção Transversal	
	Média:	N
C.V.:	%	12
Resistência à Punção (ASTM D 4833)	Direção Longitudinal	
	Média:	N
C.V.:	%	2

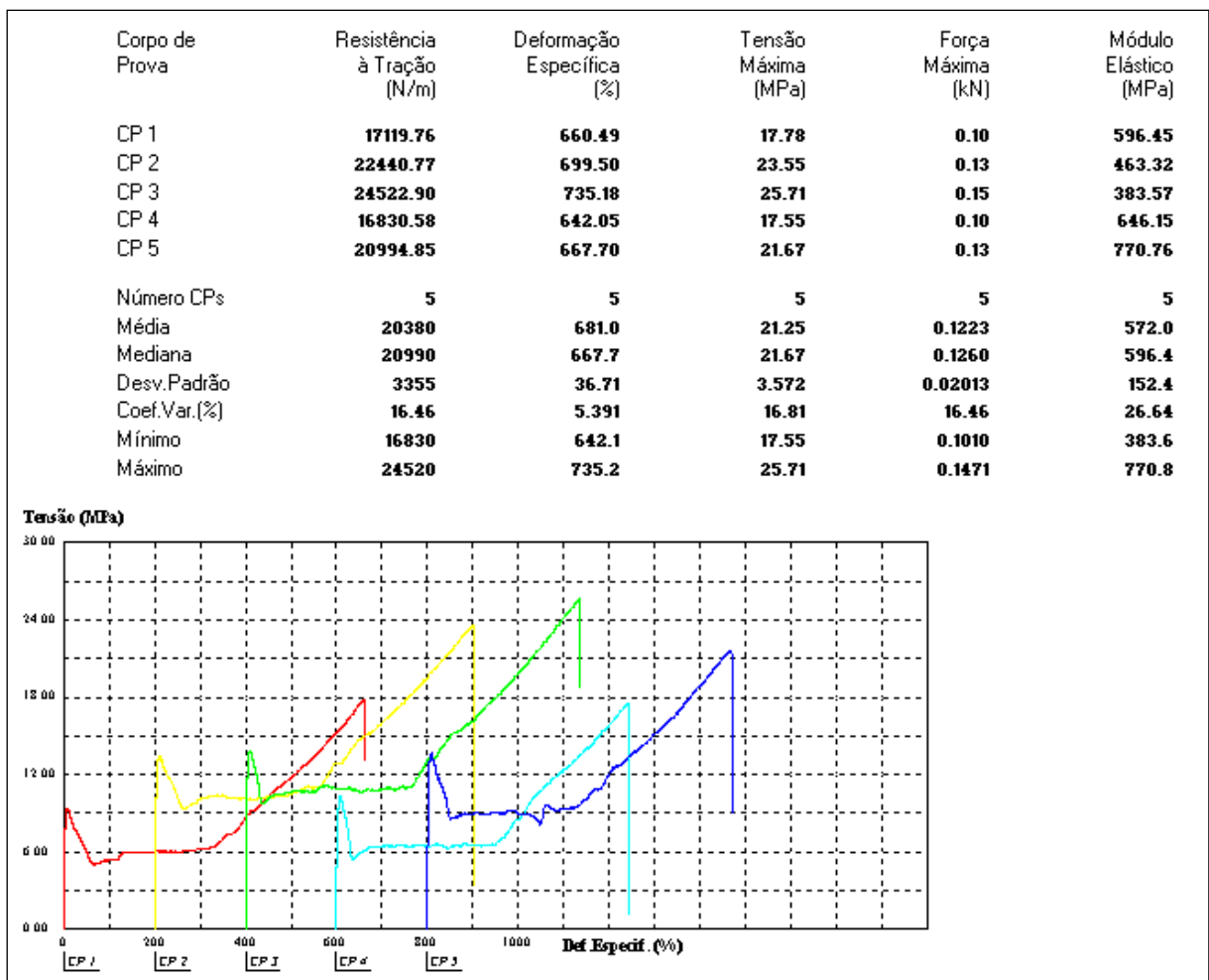
Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração no Escoamento: Direção Longitudinal



Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração no Escoamento: Direção Transversal

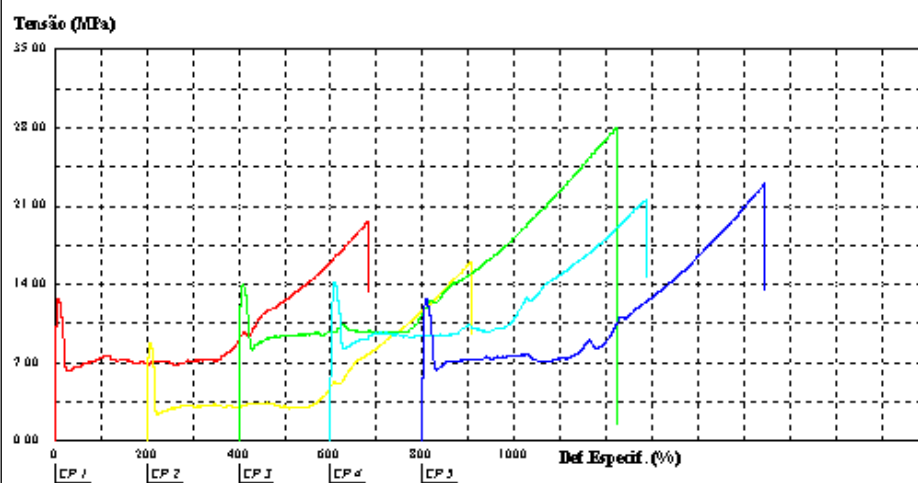


Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração na Ruptura: Direção Longitudinal

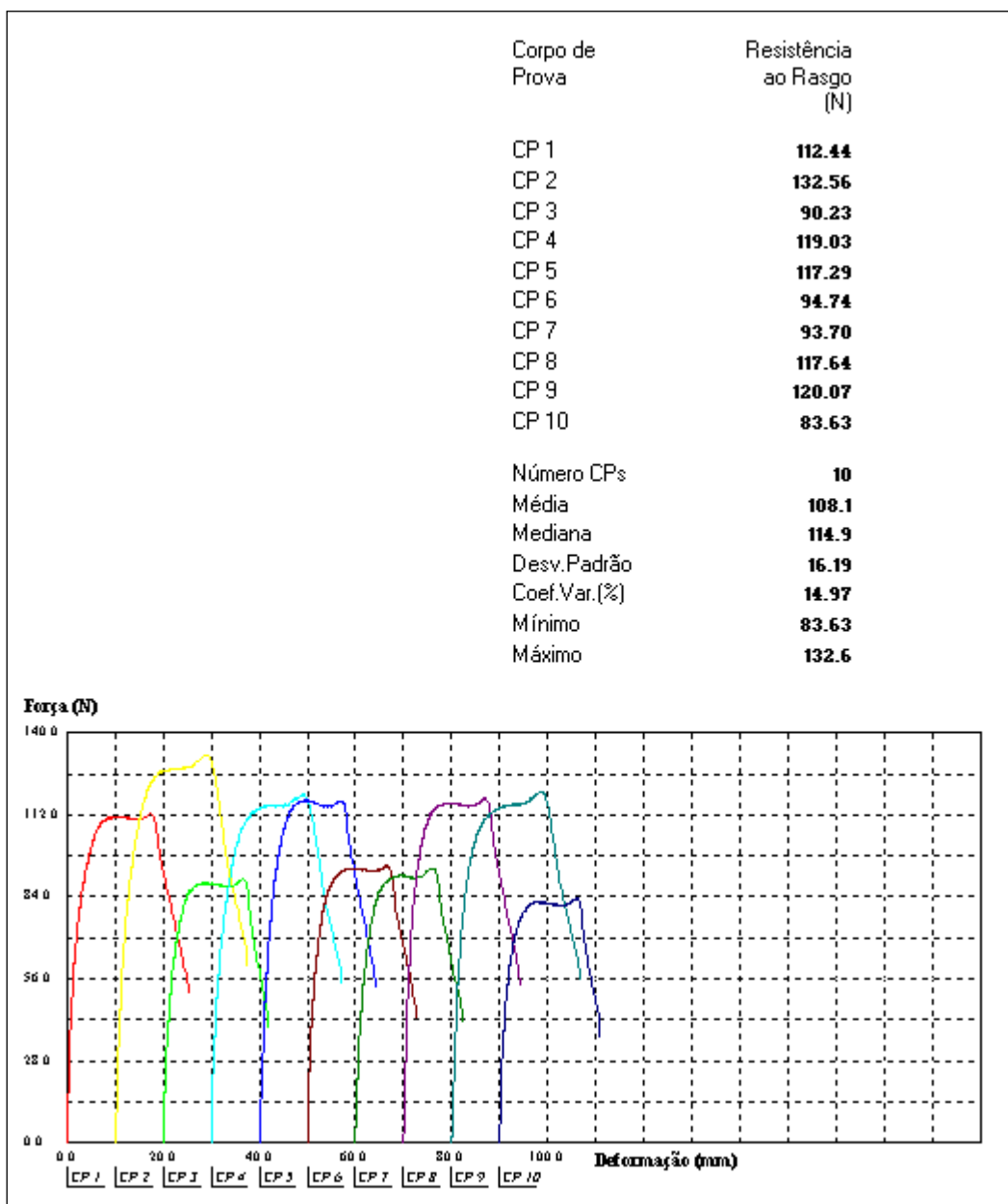


Curvas Obtidas dos Ensaios de Tração na Ruptura: Direção Transversal

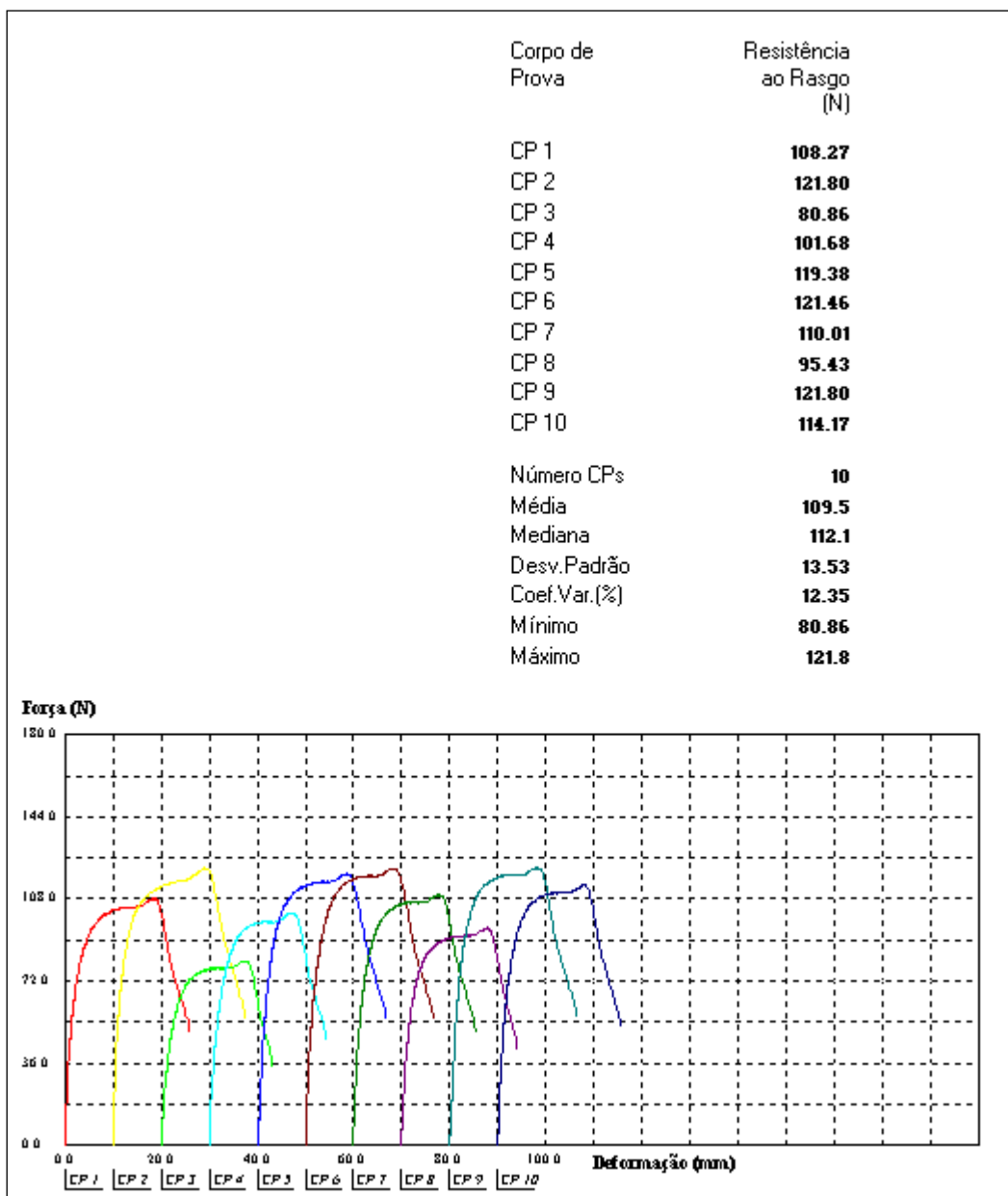
Corpo de Prova	Resistência à Tração (N/m)	Deformação Específica (%)	Tensão Máxima (MPa)	Força Máxima (kN)	Módulo Elástico (MPa)
CP 1	18854.88	682.03	19.64	0.11	704.14
CP 2	15847.35	705.42	16.01	0.10	732.03
CP 3	26952.06	823.71	28.08	0.16	415.71
CP 4	21399.70	687.60	21.62	0.13	643.09
CP 5	22093.75	743.80	23.01	0.13	674.20
Número CPs	5	5	5	5	5
Média	21030	728.5	21.67	0.1262	633.8
Mediana	21400	705.4	21.62	0.1284	674.2
Desv. Padrão	4121	58.45	4.445	0.02473	126.4
Coef. Var. (%)	19.60	8.023	20.51	19.60	19.94
Mínimo	15850	682.0	16.01	0.09508	415.7
Máximo	26950	823.7	28.08	0.1617	732.0



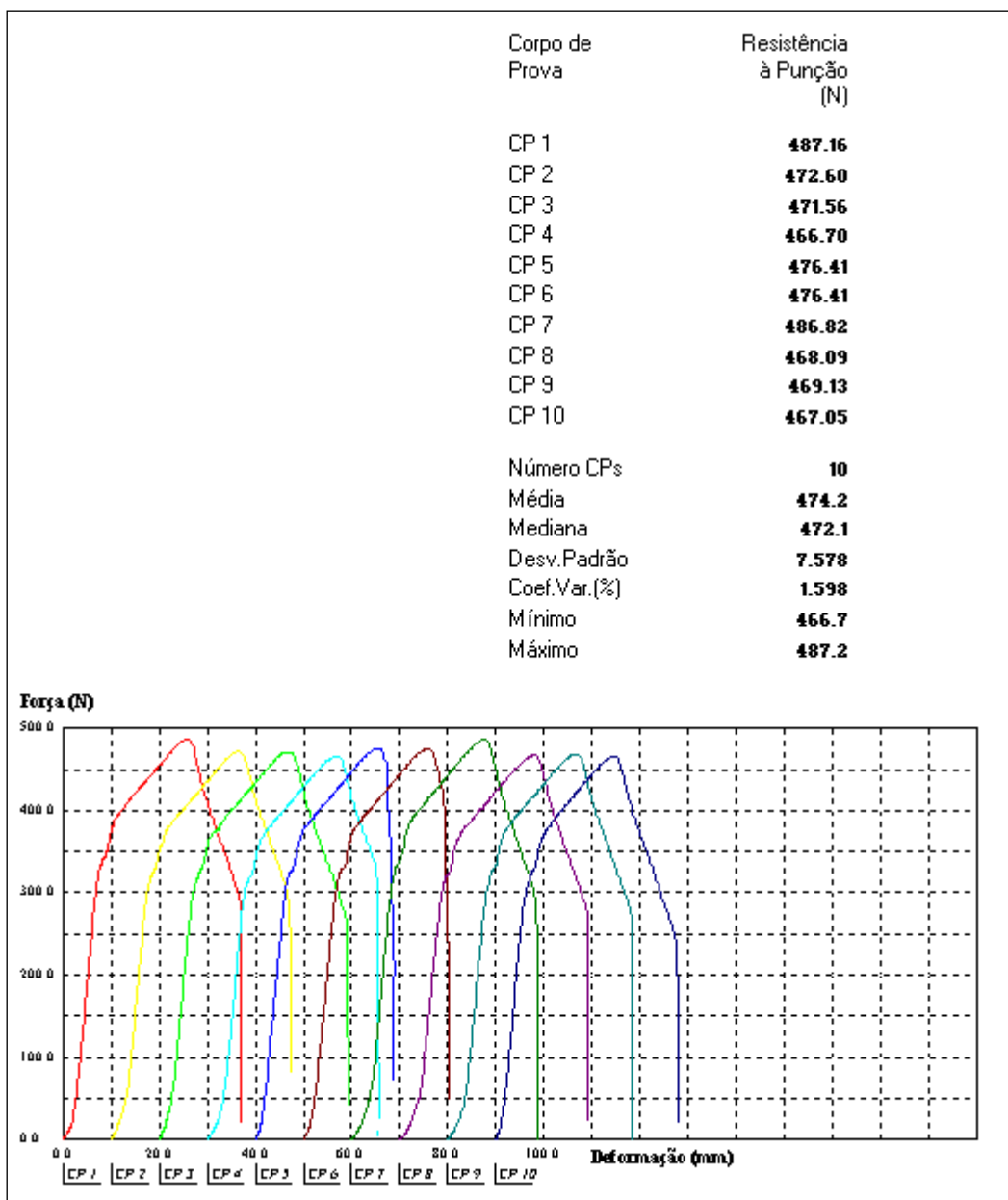
Curvas Obtidas dos Ensaios de Rasgo: Direção Longitudinal




Curvas Obtidas dos Ensaios de Rasgo: Direção Transversal



Curvas Obtidas dos Ensaios de Punção: Direção Única




ANEXO C – RELATÓRIO DE ANÁLISE GEOTÊXTIL_AMOSTRA 01

 LABORATÓRIO CENTRAL	RELATÓRIO DE ANÁLISE AMOSTRA EXTERNA	Nº: 709813 Data: 13/11/2018 Hora: 08:03:12				
Produto GEOTÊXTIL CINZA - BIDIM	Código	Nr. Lote ...	Seq. 0 / 0			
Setor de amostragem DESENVOLVIMENTO	Origem da amostra Amostra-01	Cliente CÉSAR ALBERTO AGUIAR BOTELHO				
ENSAIO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO	UNIDADE DE MEDIDA	RESULTADO	CV %	ESPECIFICAÇÃO	
					MIN.	MAX.
Alongamento - Faixa Larga - Longitudinal	TL-0006	%	68,72	20,00		
Alongamento - Faixa Larga - Transversal	TL-0006	%	81,01	14,00		
Deslocamento do punção na força máxima	TL-0088	mm	66,47	20,00		
Espessura	TL-0005	mm	3,06	10,00		
Gramatura	TL-0003	g/m ²	307,06	4,00		
Largura	TL-0004	m	4,57	0,00		
Resist. rasgo trapezoidal - long.	TL-0014	N	892,71	18,00		
Resist. rasgo trapezoidal - trans.	TL-0014	N	644,19	14,00		
Resist. Tração Faixa Larga Long.	TL-0006	kN/m	16,81	4,00		
Resist. Tração Faixa Larga Transv.	TL-0006	kN/m	17,07	3,00		
Resistência ao punçonnemento estático	TL-0088	kN	3,86	2,00		
Resistência a tração Grab - long.	TL-0002	N	1.080,05	1,00		
Resistência a tração Grab - transv.	TL-0002	N	1.166,11	13,00		
Varição Gramatura - Amplitude	TL-0026	%	14,57	4,00		

Variação Gramatura E: 305,75 310,75 295,00 301,75 307,25 324,50 305,00 321,00 304,00 315,50 279,75 314,50
 Variação Espessura E:

Laudo Final:			
<input type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> APROVADO COM DESVIO <input type="checkbox"/> REPROVADO <input checked="" type="checkbox"/> NÃO APLICÁVEL			
N A P R O C U D O R M E	Disposição do produto	Ação Tomada:	
	<input type="checkbox"/> Reclasificado (outro produto ou 2ª qualidade) <input type="checkbox"/> Desfiado (retornado ao processo) <input type="checkbox"/> Retrabalhado (submetido a um novo processo) <input type="checkbox"/> Refugado (enviado para a área de reciclagem) <input type="checkbox"/> Liberado (após reanálise ou com autorização)		
Responsável pelo relatório RITA C. LIMA		Responsável pela disposição/ação MILTON	


ANEXO D – RELATÓRIO DE ANÁLISE GEOTÊXTIL_AMOSTRA 02

 OBER LABORATÓRIO CENTRAL	RELATÓRIO DE ANÁLISE AMOSTRA EXTERNA	Nº: 709816 Data: 13/11/2018 Hora: 08:10:11				
Produto GEOTÊXTIL CINZA - BIDIM	Código	Nr. Lote ---	Seq. 0 / 0			
Setor de amostragem DESENVOLVIMENTO	Origem da amostra Amostra:02	Cliente CÉSAR ALBERTO AGUIAR BOTELHO				
ENSAIO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO	UNIDADE DE MEDIDA	RESULTADO	CV %	ESPECIFICAÇÃO	
					MIN.	MAX.
Alongamento - Faixa Larga - Longitudinal	TL-0006	%	93,44	11,00		
Alongamento - Faixa Larga - Transversal	TL-0006	%	100,44	6,00		
Deslocamento do punção na força máxima	TL-0088	mm	51,56	10,00		
Espessura	TL-0005	mm	3,35	9,00		
Gramatura	TL-0003	g/m ²	340,02	4,00		
Largura	TL-0004	m	4,50	0,00		
Resist. rasgo trapezoidal - long.	TL-0014	N	738,02	2,00		
Resist. rasgo trapezoidal - trans.	TL-0014	N	922,14	20,00		
Resist. Tração Faixa Larga Long.	TL-0006	kN/m	21,65	0,00		
Resist. Tração Faixa Larga Transv.	TL-0006	kN/m	18,85	7,00		
Resistência ao punçonnemento estático	TL-0088	kN	4,16	1,00		
Resistência à tração Grab - long.	TL-0002	N	1.219,59	9,00		
Resistência à tração Grab - transv.	TL-0002	N	1.199,90	8,00		
Varição Gramatura - Amplitude	TL-0026	%	14,71	4,00		

Varição Gramatura E: 351,25 311,00 338,25 331,50 322,50 354,50 352,00 340,25 347,50 323,50 361,00 347,00
Varição Espessura E:

Laudo Final: <input type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> APROVADO COM DESVIO <input type="checkbox"/> REPROVADO <input checked="" type="checkbox"/> NÃO APLICAVEL		
N A P R O D U T O R H E	Disposição do produto <input type="checkbox"/> Reclassificado (outro produto ou 2ª qualidade) <input type="checkbox"/> Desfiado (retornado ao processo) <input type="checkbox"/> Retrabalhado (submetido a um novo processo) <input type="checkbox"/> Refugado (suviado para a área de reciclagem) <input type="checkbox"/> Liberado (após reanálise ou com autorização)	Ação Tomada:
Responsável pelo relatório RITA C. LIMA	Responsável pela disposição/ação	Responsável pela liberação MILTON

ANEXO E – RELATÓRIO DE ANÁLISE GEOTÊXTIL_AMOSTRA 03

 OBER LABORATÓRIO CENTRAL	RELATÓRIO DE ANÁLISE AMOSTRA EXTERNA	Nº: 709817 Data: 13/11/2018 Hora: 08:17:33				
Produto GEOTÊXTIL CINZA - BIDIM	Código	Nr. Lote ...	Seq. 0 / 0			
Setor de amostragem DESENVOLVIMENTO	Origem da amostra Amostra:03	Cliente CÉSAR ALBERTO AGUIAR BOTELHO				
ENSAIO	INSTRUÇÃO DE TRABALHO	UNIDADE DE MEDIDA	RESULTADO	CV %	ESPECIFICAÇÃO	
					MIN.	MAX.
Alongamento - Faixa Larga - Longitudinal	TL-0006	%	64,11	12,00		
Alongamento - Faixa Larga - Transversal	TL-0006	%	74,86	2,00		
Deslocamento do punção na força máxima	TL-0088	mm	158,30	1,00		
Espessura	TL-0005	mm	3,18	6,00		
Gramatura	TL-0003	g/m ²	333,73	5,00		
Largura	TL-0004	m	4,58	0,00		
Resist. rasgo trapezoidal - long.	TL-0014	N	1.069,29	12,00		
Resist. rasgo trapezoidal - trans.	TL-0014	N	918,87	14,00		
Resist. Tração Faixa Larga Long.	TL-0006	kN/m	17,69	5,00		
Resist. Tração Faixa Larga Transv.	TL-0006	kN/m	16,06	1,00		
Resistência ao puncionamento estático	TL-0088	kN	3,68	2,00		
Resistência à tração Grab - long.	TL-0002	N	1.178,83	13,00		
Resistência à tração Grab - transv.	TL-0002	N	1.156,66	5,00		
Varição Gramatura - Amplitude	TL-0026	%	19,55	5,00		

Varição Gramatura E: 334,00 291,75 331,00 329,50 357,00 341,75 345,00 343,50 350,00 319,50 320,50 341,25
Varição Espessura E:

Laudo Final:			
<input type="checkbox"/> APROVADO <input type="checkbox"/> APROVADO COM DESVIO <input type="checkbox"/> REPROVADO <input checked="" type="checkbox"/> NÃO APLICAVEL			
N A P R O D U T O R H E	Disposição do produto <input type="checkbox"/> Reclassificado (outro produto ou 2ª qualidade) <input type="checkbox"/> Desfiado (retornado ao processo) <input type="checkbox"/> Retrabalhado (submetido a um novo processo) <input type="checkbox"/> Refugado (suviado para a área de reciclagem) <input type="checkbox"/> Liberado (após reanálise ou com autorização)	Ação Tomada:	
Responsável pelo relatório RITA C. LIMA	Responsável pela disposição/ação	Responsável pela liberação MILTON	

ANEXO F – RELATÓRIO DE ENSAIOS DA GEORREDE_AMOSTRA 01



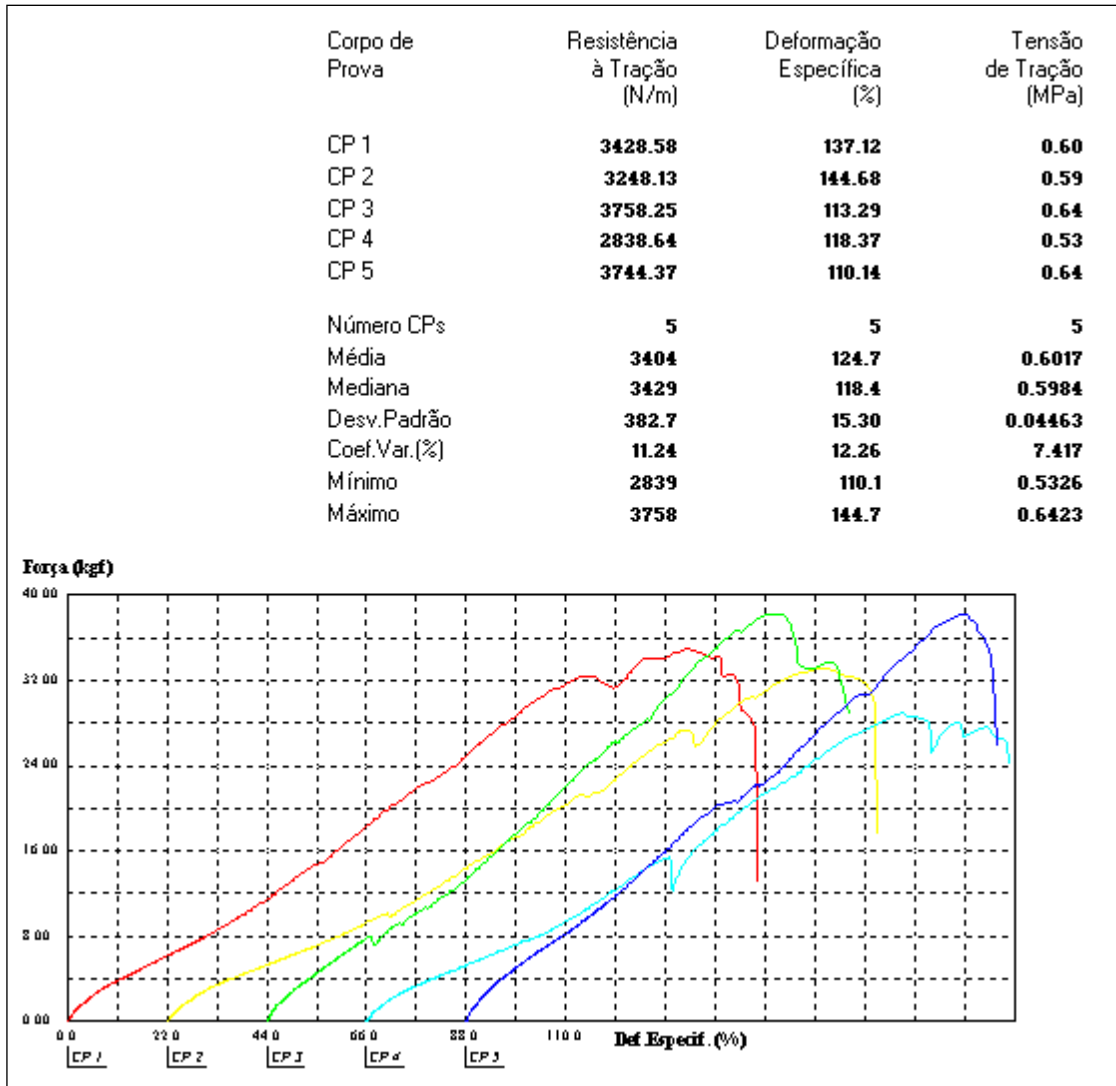
LAUDO INTERNO Nº 2991

LABORATÓRIO DA QUALIDADE

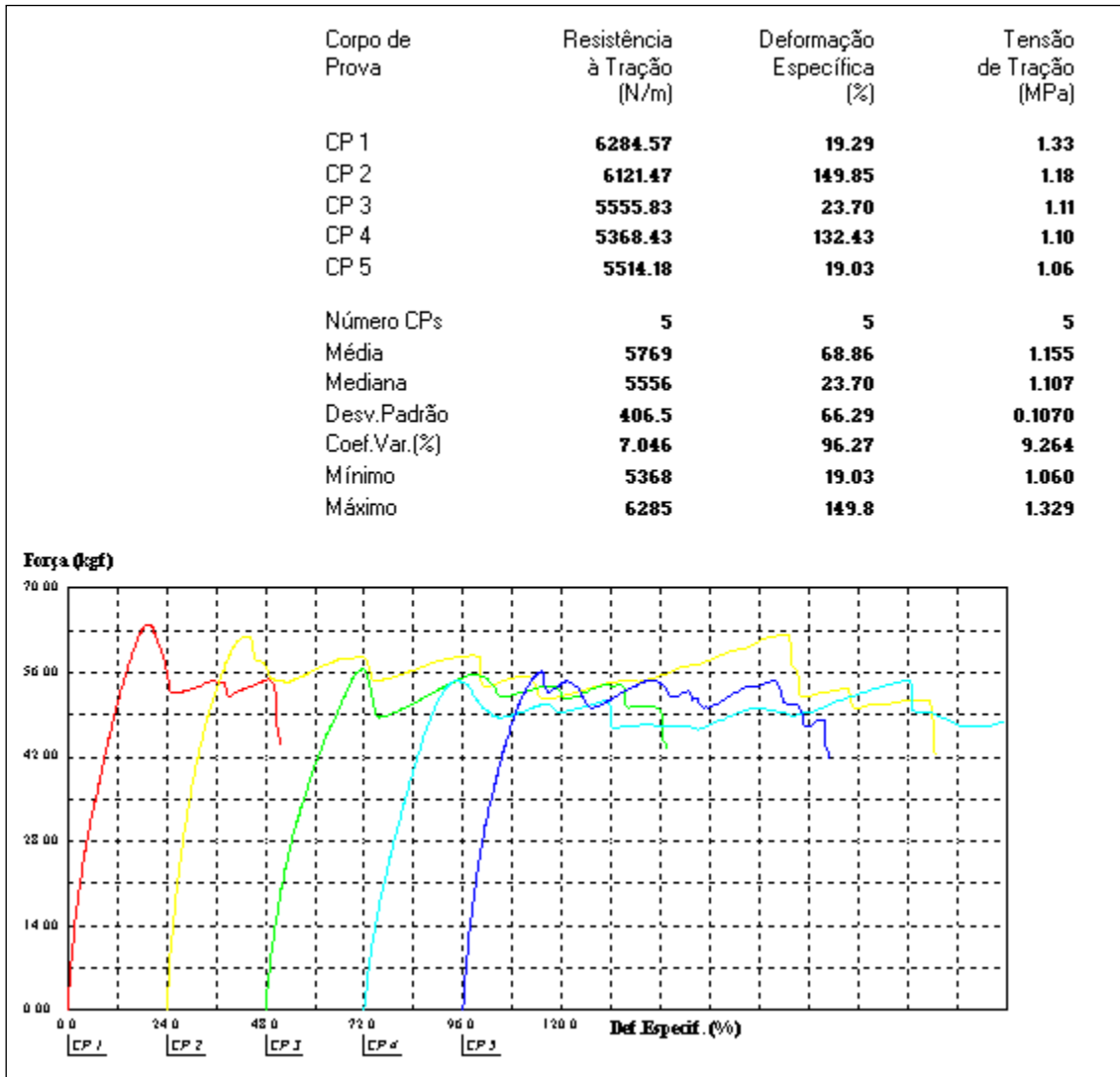
MATERIAL: GEORREDE CONCORRENTE

Espessura (ASTM D 5199)	Média:	5,39	mm
	C.V.:	2	%
Gramatura (ASTM D 5261)	Média:	675	g/m ²
	C.V.:	4	%
Teor de Negro de Fumo (ASTM D 1603)	Média:	2,97	%
Resistência à Tração (NBR 12824)	Direção Longitudinal		
	Média:	3,4	kN/m
	C.V.:	11	%
	Direção Transversal		
Média:	5,7	kN/m	
C.V.:	7	%	
Alongamento na Força Máxima (NBR 12824)	Direção Longitudinal		
	Média:	125	%
	C.V.:	12	%
	Direção Transversal		
Média:	69	%	
C.V.:	96	%	

TRAÇÃO LONGITUDINAL



TRAÇÃO TRANSVERSAL



ANEXO G – RELATÓRIO DE ENSAIO DO REJEITO DE VANÁDIO_AMOSTRA 01



MAIO/2018

CHM-3972-TLF-001_R00
PP-3972

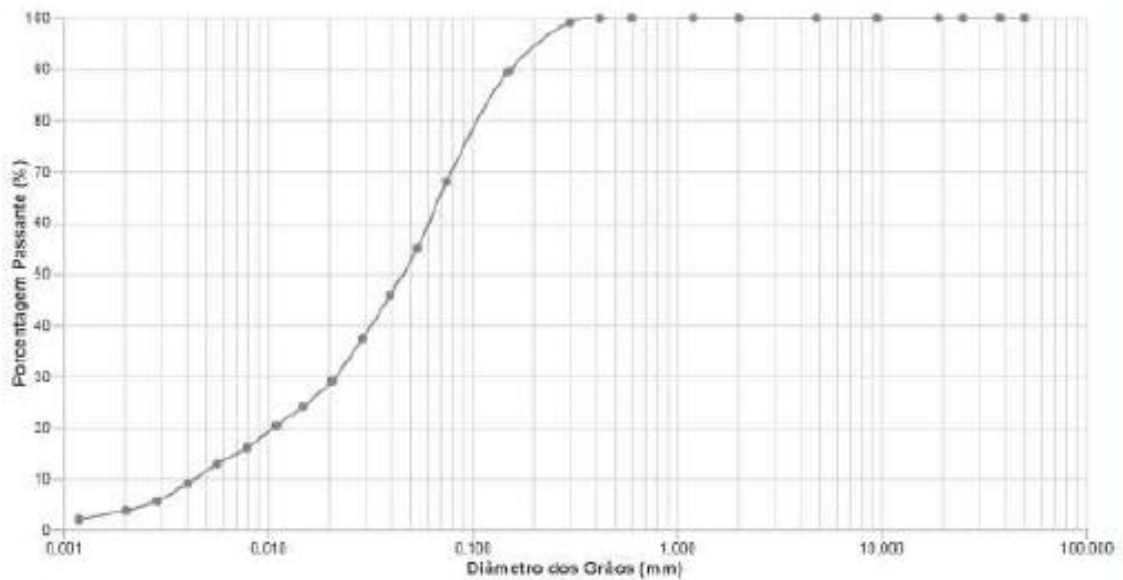
		Granulometria por Peneiramento e Sedimentação - GPS (ABNT NBR 1191:2016)		Protocolo Amostra Nº			
				AM0172 - 1			
Nome da amostra		Tipo de amostra		Coordenadas			
Rejeito de Vanádio não Magnético Rejeito da Magnet Pó de AM01		Destruída					
Especificações Técnicas							
Nenhuma especificação citada							
Teor de Umidade Higroscópica				Fotografia			
Determinação		1	2	3			
Solo Úmido + Tara	(g)	90,00	92,00	90,25			
Solo Seco + Tara	(g)	90,61	92,00	90,23			
Tara	(g)	10,43	14,09	10,00			
Umidade	(%)	0,03%	0,03%	0,02%			
Utilizar Valor		Sim	Sim	Sim			
Umidade Média	(%)			0,03%			
							
Peneiramento Grosso:							
Peso Único Total	(g)	1.500,00		Cada Amostra		Cada Escala	
Peneira		2"	1,18"	1"	3/4"	3/8"	4"
Abertura	(mm)	50,8	30,0	25,4	19,0	9,5	4,0
Peso Retido	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso Retido Acumulado	(g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso que Passa	(g)	1.499,62	1.499,62	1.499,62	1.499,62	1.499,62	1.499,62
Porcentagem Passante	(%)	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Peneiramento Fino:							
Amostra Parcial Úmida	(g)	190,00					
Peneira		10	20	40	60	100	200
Abertura	(mm)	1,2	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
Peso Retido	(g)	0,30	0,00	0,07	0,03	0,01	0,00
Peso Retido Acumulado		0,30	0,00	0,07	0,07	0,04	0,04
Peso que Passa		89,37	99,97	99,90	99,93	99,94	99,96
Porcentagem Passante	(%)	100,00%	100,00%	99,93%	99,93%	99,94%	99,96%

Sedimentação

Sedimento Úmido		(g)	100,00	Densidade dos Grãos (g/cm ³)		2,65	
hora	Tempo	Leitura(g)	Temperatura(°C)	Altura de Queda	Diâmetro dos Grãos(mm)	Correção Cl	Porcentagem Passante(%)
07:56:15	15'	49,90	23,3	11,23	0,0724	1,63	65,22%
07:56:30	30'	41,75	23,3	12,43	0,0538	1,63	54,96%
07:57:00	1	35,25	23,3	13,51	0,0397	1,63	45,82%
07:58:00	2	29,25	23,3	14,50	0,0291	1,63	37,36%
08:00:00	4'	24,25	23,3	14,47	0,0205	1,63	29,00%
08:04:00	8'	23,75	23,3	15,95	0,0148	1,63	24,10%
08:11:00	15'	18,90	23,3	15,30	0,0110	1,63	20,21%
08:29:00	30'	15,90	23,3	15,90	0,0079	1,63	16,04%
08:56:00	1h	12,75	23,3	15,37	0,0055	1,63	12,81%
09:56:00	2h	10,90	23,3	15,93	0,0040	1,63	8,96%
11:56:00	4h	7,50	24,8	17,24	0,0029	1,49	5,56%
15:56:00	8h	6,90	24,8	17,49	0,0020	1,33	3,71%
07:56:00	24h	5,90	23,7	17,86	0,0012	1,55	2,04%

Curva de Distribuição Granulométrica

Argila	(%)	3,71%
Silt	(%)	54,96%
Areia Fina	(%)	34,31%
Areia Média	(%)	7,32%
Areia Grossa	(%)	0,06%
Pedregulho	(%)	0,06%
Designação do Solo	Solo Arenoso com Vestígios de Argila de cor Cinza Escuro	





Massa Específica dos Grãos - MES

(ABNT NBR 6457:2016, ABNT NBR 6508:1984)

Protocolo Amostra N°

AM3972 - 1

Nome da amostra

Rejeito de Vanádio não Magnético | Rejeito da Moagem | Polpa JAM01

Tipo da amostra

Deformada

Coordenadas

Especificações Técnicas

-

Teor de Umidade

Determinação		1	2	3
Solo Úmido + Tara	(g)	86,83	92,88	90,25
Solo Seco + Tara	(g)	86,81	92,86	90,23
Tara	(g)	10,43	14,09	10,00
Umidade	(%)	0,03%	0,03%	0,02%
Utilizar Valor		Sim	Sim	Sim
Umidade Média	(%)			0,03%

Massa Específica dos Grãos

Determinação		1	2
Picnômetro + Amostra + Água	(g)	687,14	687,20
Picnômetro + Água	(g)	637,48	647,53
Temperatura	(°C)	20,7	20,7
Solo Úmido	(g)	70,02	70,02
Densidade Real dos Grãos	(g/cm ³)	3,435	3,436
Utilizar Valor		Sim	Sim
Densidade Real dos Grãos Média	(g/cm ³)		3,436