

RECOMPOSIÇÃO DE TALUDES EM FAIXAS DE DUTOS

Estudo de caso da Transpetro

Daniel Clemente Leite*
Orientador: Msc Wellington Coutinho da Silva

RESUMO

A expansão dos sistemas dutoviários possibilitou maior fluidez e escoamento da produção dos mais diversos produtos, principalmente em países de grandes extensões territoriais como o Brasil. Apesar de fornecer maior segurança e benefícios econômicos, estes sistemas estão expostos a riscos que podem comprometer significativamente a integridade dos dutos. O monitoramento e gerenciamento de riscos se apresentam como ferramentas importantes para eficiência e longevidade desses sistemas e mitigação de eventuais impactos. O presente trabalho abordou um estudo de caso, em uma faixa de dutos da empresa Transpetro, realizado pela empresa Vectra Engenharia em 2015. Foram analisados documentos referentes a obras de contenção em dois trechos no estado de Minas Gerais, sendo a primeira no km150+000, no Rio Paraibuna e a outra no km356+600 na região de Betim. Em ambos os trechos, a faixa de dutos expostos trata-se de uma importante ligação entre o Rio de Janeiro e Belo Horizonte, por onde passam dutos como Orbel I e II e Gasbel I e II. Foram analisadas as metodologias adotadas para estabilização e recomposição de taludes em faixas de dutos. Observou-se divergências dos projetos base com os projetos executados, divergências relacionadas a batimetria, pluviosidade e dimensionamento, além da realocação de recursos em diversos momentos. A obra do km150+000 apresentou maior complexidade, visto que além das alterações no projeto inicial e das condições climáticas, as licenças necessárias não foram autorizadas, demandando mais recursos.

Palavras-chave: erosão, recomposição, talude, estabilidade.

RECOMPOSITION OF SLOPES IN PIPELINES

Transpetro case study

ABSTRACT

The expansion of pipeline systems enabled larger fluidity and flow of the production of most products, especially in countries with larger proportions like Brazil. Despite providing more security and economic benefits these systems are exposed to risks that can significantly commit the integrity of the pipelines. The management and constantly monitoring are important tools to ensure the efficiency and longevity of theses systems and decrease the odds of eventually impacts. For this study two cases of study were

*Aluno do curso de Engenharia Civil da Faculdade Doctum

approached in slopes that have lost their stability and exposed important pipelines of the Transpetro company in Minas Gerais - Brazil, by Vectra Engenharia company in 2015. The first containment structure was in the km150+000 e the second in km356+600. The exposed ducts, Orbel I e II and Gasbel I e II, are part of an important pipelines which connects Rio de Janeiro to Belo Horizonte. The methodologies used were analyzed based on criteria of stability and recomposition of theses pipelines.

Keywords: erosion, reset, slopes, stability.

CAPÍTULO 1

Introdução

O transporte dutoviário vem se apresentando como um dos modelos mais seguros e econômicos para o transporte de petróleo e seus derivados em relação aos modais ferroviários e rodoviários, promovendo ainda maior agilidade e maior capacidade de fluxo (OLIVEIRA, 2005; MICHAELSEN, 2011). Nesse mercado, o crescimento expressivo gerou uma elevada demanda para expansão das redes dutoviárias no país (ALMEIDA *et al.*, 2016). De acordo com Menezes (2015), entende-se dutovia como uma instalação de dutos ligados entre si para transporte de materiais de um ponto a outro.

Nesse sentido, o transporte dutoviário baseia-se na utilização de dutos em forma linear formando um sistema, chamado dutovia, e que podem ser superficiais (instaladas sobre suportes), subterrâneas (enterradas em determinada faixa de horizonte do solo) ou ainda submarinas (OLIVEIRA, 2005). Uma característica importante das dutovias refere-se à extensão e linearidade, associados a rochas decompostas e horizontes de solo, o que torna esses empreendimentos de alta complexidade e suscetíveis a acidentes (AMORIM, 2012).

De acordo com dados divulgados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), em 2018 o Brasil possuía cerca de 21.254 mil quilômetros de dutos de transferência e transporte de petróleo, gás natural, etanol e derivados (ANP, 2019). Entretanto, os mesmos dados indicavam que muitas dessas instalações encontram-se em trechos de solos suscetíveis a fenômenos hidráulicos e geotécnicos.

Nesse sentido, ressalta-se que essas tubulações estão expostas aos processos de dinâmica superficial do solo como: rupturas, deslocamentos, aumento da tensão devido a movimentação do solo ao redor do duto e instabilidade dos taludes em faixas do duto (MICHAELSEN, 2011). Além disso, as dutovias por serem sistemas de grande extensão, comumente passam por locais com características bem distintas entre si, como: relevo, condições geotécnicas, temperatura e pressão, hidrogeologia e afins (MENEZES, 2011).

O aprimoramento nas técnicas de análise e controle de estabilidade de taludes auxiliam no desenvolvimento de grandes obras civis e agregam conhecimentos da

própria Engenharia e demais áreas do conhecimento como geologia, hidrologia e afins (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998; GERSCOVICH, 2016). Os métodos de análise de estabilidade de taludes podem ser divididos em métodos determinísticos, voltados à um fator de segurança, e os métodos probabilísticos que analisam a probabilidade de ocorrência de ruptura (SILVA, 2010; APAZA & BARROS, 2014; GERSCOVICH, 2016).

O presente trabalho, por meio de um estudo de caso em uma obra de recomposição de taludes em faixas de dutos da empresa Transpetro, coletar e analisar dados referentes sobre quais são as técnicas adotadas e seu delineamento. Em vista disso, foi realizada uma pesquisa com abordagem investigativa associando os dados coletados e disponibilizados pela empresa e a caracterização geotécnica de cada área selecionada.

1.1 Objetivos

i. Objetivo Geral:

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar e analisar como é realizada a recomposição de taludes em casos de erosões nas faixas de dutos da Petrobras Transportes S.A (Transpetro) - empresa subsidiária da Petrobras.

ii. Objetivos específicos:

- Analisar as principais causas de erosão em taludes.
- Identificar os métodos para recomposição dos taludes.
- Apresentar os métodos utilizados para recomposição de taludes.

1.2 Justificativa

O transporte dutoviário é visto como o mais eficiente e possui a maior frequência entre os demais modais de transporte, pois operam constantemente 365 dias por ano e 24 horas por dia, dando vazão para a produção, exportação e importação de commodities como o petróleo e seus derivados (COLAVITE & KONISHI, 2015). Além disso, o custo operacional variável dos dutos é baixo, não necessitam de mão de obra intensiva, são muito seguros, possuindo o melhor custo-benefício entre os modais (PRADO FILHO, 2012).

À vista disso, rompimentos ou interrupções nos dutos impactam significativamente na economia. Dados divulgados pela Transpetro revelam que em 2020, a empresa movimentou cerca de 86 milhões de metros cúbicos de petróleo e derivados, lucrando aproximadamente R\$1,31 bilhão, superando a marca anterior, de 2015) em cerca de R\$300 milhões (TRANSPETRO, 2020).

A importância da recomposição de taludes em faixa de dutos sustenta-se principalmente pela avaliação e manutenção de possíveis riscos e ameaça aos dutos. O gerenciamento de riscos auxilia na identificação e classificação de riscos de falhas, riscos de origem geotécnica, fenômenos hidráulicos e ainda intervenção humana (GEORIO, 2000; ASME, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2016).

Neste sentido, compreender e analisar os modelos utilizados para recomposição de taludes se mostra fundamental para o desenvolvimento de procedimentos mais eficientes e de uma gestão sistemática. Gerenciar sistematicamente os fatores associados a estabilidade e recomposição de taludes assegura a todos os agentes envolvidos como empresas, acionistas, reguladores, governo que os riscos estão sendo gerenciados em conformidade com as melhores práticas de gestão aplicadas em todo o mundo (GERSCOVICH, 2016).

CAPÍTULO 2 – Fundamentação Teórica

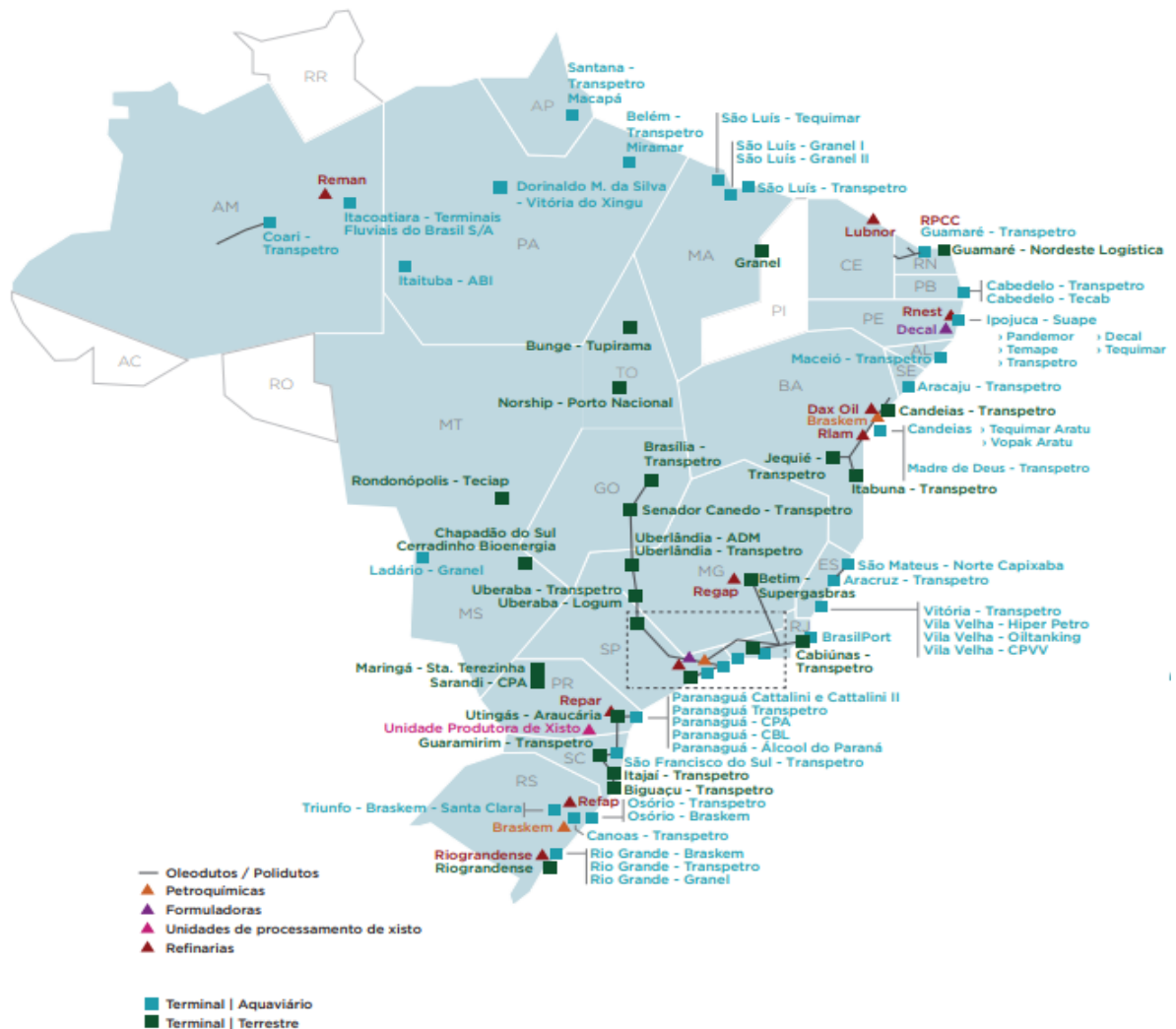
2.1 Sistema Dutoviário

O aumento do transporte dutoviário promoveu o aprimoramento das técnicas e tecnologias utilizadas nas instalações, no volume de material transportado, facilidade de escoamento da produção e a segurança de todo processo nos mais diversos países, principalmente para países de grandes extensões como o Brasil. Estes empreendimentos estão expostos a riscos de natureza ambiental e antrópica que podem vier a comprometer todo o sistema.

A distribuição e a função dessas tubulações relacionam-se quanto a função dos dutos, que podem ser de distribuição e de transmissão. A Norma Brasileira NBR 12.712, do Projeto de Sistemas de Transmissão e Distribuição de Gás Combustível, define os dutos de transmissão como a ligação entre as fontes de produção do produto até o determinado sistema de distribuição. Já os dutos de distribuição promovem o fornecimento do produto ao consumidor (ABNT, 2002).

No Brasil, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) fornece anualmente dados fundamentais referentes ao transporte dutoviário viabilizando a complexa dinâmica que relaciona infraestrutura, produção, distribuição e refino. De acordo com o relatório divulgado em 2019, referente ao ano de 2018 o Brasil dispunha de 718 dutos para movimentação de petróleo e derivados, etanol e gás natural, totalizando 21,3 mil quilômetros (ANP, 2019). A ilustração da Figura 1 apresenta os traçados dos dutos referentes a produção e movimentação de petróleo e derivados no território nacional.

Figura 1 - Ilustração da infraestrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados em 2018.



Fonte: ANP, 2019.

Em 2010, as principais empresas operadoras deste sistema de tubulações no território brasileiro são a Transpetro e a Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG) (ANP, 2019).

2.2 Faixa de dutos

O Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural, da ANP (2011) estabelece os principais requisitos e padrões mínimos de segurança para dutos terrestres. Para maior compreensão do complexo sistema de dutos que compõem o sistema dutoviária, entende-se a necessidade de enfatizar alguns conceitos importantes como a faixa de dutos. A faixa de dutos trata-se de uma determinada área do terreno que acompanha o percurso subterrâneo do duto na superfície do local. Suas delimitações são variáveis de acordo com a definição

de cada projeto, sendo destinada legalmente para montagem, construção, operação e manutenção dos dutos (POLIZEL, 2011).

Nesta perspectiva, a profundidade dos dutos garante ainda a integridade e promove maior segurança as instalações. A área é indispensável para assegurar a integridade dos equipamentos utilizados e das instalações existentes, além da segurança da população (DA SILVA & RIEDIEL, 2018). Desta forma, a faixa protege e delimita toda a região do duto e suas instalações, proporciona a identificação da localização de cada equipamento e ainda orienta a população por meio de sinalizações. Estas sinalizações são obrigatórias em toda a extensão da área, principalmente com placas e marcos.

Vale ressaltar que nestes locais não são permitidos ocupações, queimadas, escavações, construções, lançamento de efluentes de qualquer natureza, deposição de resíduos e formas indevidas de utilização como plantações (ANP, 2019). Áreas em que ocorre a exposição de dutos geram grande preocupação, fazendo com que sistemas de prevenção, monitoramento, manutenção e recuperação sejam cada vez mais demandados.

2.3 Taludes

Os taludes, são partes inclinadas do terreno, sendo compostos por solo e rochas, e podem atuar na sustentação do solo e proteção dos dutos. Possuem enorme importância nos sistemas dutoviários, por auxiliarem na proteção dos dutos, porém estão sujeitos a erosões e condições geotécnicas desfavoráveis (TELLES, 2015).

Com isso em mente, os taludes podem ser divididos em: taludes naturais ou encostas, artificiais e de corte. Os naturais são superfícies inclinadas formadas por ações geomorfológicas e processos geológicos variados (IPT, 2004). Os artificiais são as superfícies inclinadas construídas, e sua composição é variada com outros materiais como argila, cascalhos, rejeitos de mineração e afins (SILVA, 2014). Os taludes de corte são aqueles que se originaram de escavações causadas por ações antrópicas (SANTOS, 2015).

2.4 Principais riscos

Em virtude de suas extensões e distribuições de uso da terra, as faixas de dutos podem sofrer diversas pressões como: fenômenos geotécnicos e hidráulicos, ações

antrópicas, movimentos de massa, variação térmica, deterioração da integridade do solo (DA SILVA & RIEDEL, 2018). Além destas pressões, os riscos associados a possíveis rupturas e vazamentos elevam a gravidade dos impactos causados e ainda a interrupção das operações do sistema afetado por um período maior (PORTER *et al.*, 2004). Os eventuais impactos afetam não somente os aspectos ambientais, como também os sociais e principalmente os econômicos (MALTEZ, 2013; MAZZEO, 2012).

Alguns autores definem os principais riscos como “georiscos”, considerando a natureza de cada risco, e foram divididos da seguinte forma: tectônico (fenômenos causados pela movimentação de placas tectônicas) geotécnico (compactação do solo, deslizamentos de terra) e hidrotécnico (grandes precipitações, inundações) (MENEZES, 2011; DINIZ, 2012).

À vista disso, quando a estabilidade do talude é comprometida, os riscos associados aos taludes afetam diretamente a integridade dos dutos. Em caso de ruptura do talude, as consequências se estendem para além dos danos: econômicos e ambientais, afetando o sistema dutoviário e a credibilidade de empresas, e ainda resultar em perdas de vidas (ZANARDO, 2014).

2.4.1 Fatores condicionantes de instabilidade

Para análise de estabilidade de taludes, os métodos podem ser divididos em duas categorias, sendo: métodos determinísticos e os métodos de probabilísticos. Os métodos determinísticos são aqueles em que a medida de segurança é determinada em torno de Fator de Segurança. Já os métodos probabilísticos são aqueles em que a medida de segurança a ser adotada é feita em termos de probabilidade (DA SILVA & MIRANDA, 2018).

Sendo assim, taludes podem perder estabilidade devido a quesitos como sua inclinação, forma, pluviosidade, sistemas de drenagem comprometidos ou colocados em locais indevidos, composição e estado de conservação dos solos e das rochas que compõem o talude, tensões internas, abalos naturais e ainda ações antrópicas de ocupação do solo (CARMO, 2009; SANTOS, 2012).

2.5 Movimentos gravitacionais de massa

Os movimentos de massa referem-se aos processos naturais de evolução das encostas e taludes, onde ocorre o deslocamento de grandes volumes de material,

como solo e rocha, potencializados por ações antrópicas, que sob a influência da gravidade seguem vertente abaixo (PINTO *et al.*, 2014). Nesse sentido, promovem a mobilização de solo, rochas, sedimentos e até mesmo a vegetação encosta abaixo, podendo ser potencializados principalmente pela ação da água (AMORIN *et al.*, 2017). Esses movimentos possuem características específicas como geometria, dinâmica de superfícies, tipologia dos materiais e morfologia dos processos (MARTINI *et al.*, 2006; FREITAS *et al.*, 2018).

De forma geral podem ocorrer devido a causas naturais ou antrópicas. As causas naturais são aquelas que se referem a geologia, morfologia, ação da água e vegetação (PINTO *et al.*, 2014). Já as causas antrópicas são aquelas relacionadas a presença e ação humana, como: vazamentos de esgoto, sistema de captação de águas pluviais inadequado ou inexistente, remoção da cobertura vegetal e afins (COUTINHO & SILVA, 2006; MEDEIROS, 2014).

É fundamental considerar que a movimentação de massa ocorre naturalmente, entretanto determinados fatores podem influenciar esse processo, como: ação da gravidade, a coesão dos materiais que compõem esse talude, drenagem, pluviosidade ou ainda causas antrópicas como ocupações irregulares, aumento de sobrecarga e outros (TOMINAGA *et al.*, 2004; DUTRA, 2014).

Para maior compreensão da estrutura de um talude e sua estabilidade, é necessário conhecer os elementos geométricos deste, como esquematizado na Quadro 1.

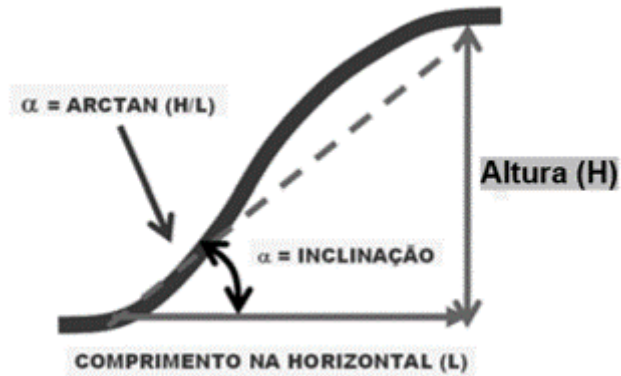
Quadro 1 - Elementos geométricos e sua descrição.

Elementos geométricos	Descrição
Inclinação	Retrata o ângulo médio da encosta com o eixo horizontal a partir de sua base
Amplitude ou altura	Retrata a distância entre o ponto mais alto do talude e o ponto seu mais baixo
Declividade	Representa o ângulo de inclinação entre o desnível vertical e comprimento horizontal da encosta em uma relação percentual

Fonte: Parizzi *et al.* (2011) e Pinto *et al.* (2013), adaptado pelo autor.

A Figura 2 esquematiza os elementos geométricos da estrutura de um talude.

Figura 2: Esquemática dos elementos geométricos do talude



Fonte: IPT, 2004

Os movimentos gravitacionais de massa podem ser agrupados em quatro grandes grupos, sendo: quedas, escorregamentos, rastejos e corridas. Esses grupos possuem ainda subdivisões que serão abordadas abaixo (RIFFEL *et al.*, 2016).

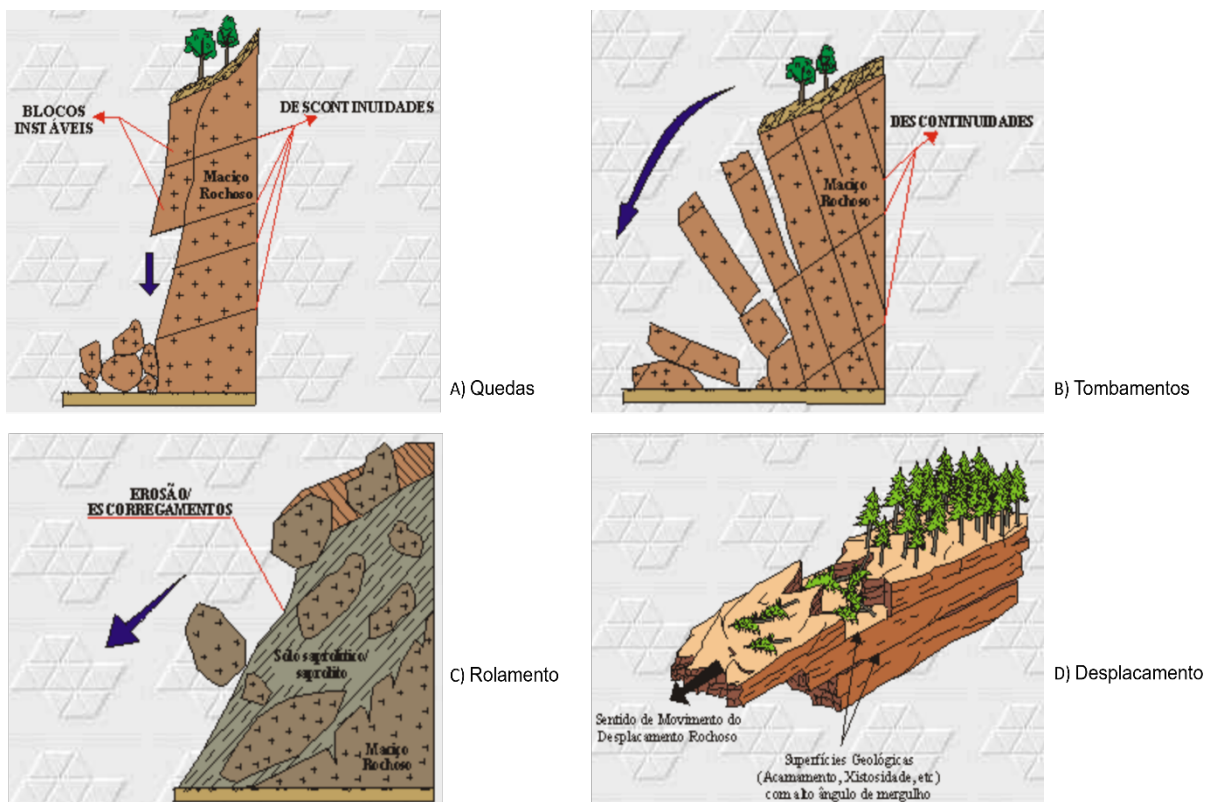
Quedas são movimentos classificados como de queda livre, de blocos isolados a grandes volumes de rochas/solo/detritos, que se separaram e se soltam das encostas mais inclinadas, podendo atingir velocidade alta e grandes distâncias, sendo ainda fortemente ligado a processos erosivos (AUGUSTO FILHO, 1994; CRUDEN & VARNES, 1996; BITTAR, 2014). Esse tipo de movimento pode ainda ter subclassificações, esquematizadas na Figura 3 e descritas a seguir.

- **Queda de blocos** – ocorrem quando blocos rochosos se destacam da superfície inclinada e são deslocados em queda livre, com volumes e geomorfologias.
- **Tombamento de blocos** – ocorre quando blocos rochosos se desprendem da encosta e rotacionam em torno de um ponto, em grande mergulho, podendo ter uma velocidade alta ou muito lenta
- **Rolamento de blocos** – refere-se à movimentação de blocos rochosos, que em geral, estão parcialmente envoltos na matriz do solo da

superfície inclinada de encostas e taludes e se destacam destas devido à falta ou perda gradativa de apoio.

- **Desplacamento** - refere-se ao destacamento de placas de rocha ao longo da superfície inclinada de encostas e taludes, podendo ser um movimento de queda livre ou deslizamento e ocasionado por variações térmicas e alívio de tensões.

Figura 3 - Esquematisação das subclassificações: A) Quedas; B) Tombamentos; C) Rolamento; D) Desplacamento



Fonte: Infanti & Fornasari Filho (1998) – Adaptada pelo autor.

De acordo com Dourado e Roig (2014), os escorregamentos ou deslizamentos (*landslides*) são movimentos de ruptura bem definidos, rápidos e de curta duração, onde a movimentação de massa desloca o centro de gravidade para baixo e para fora do talude, podendo ainda ter diferentes subclassificações como:

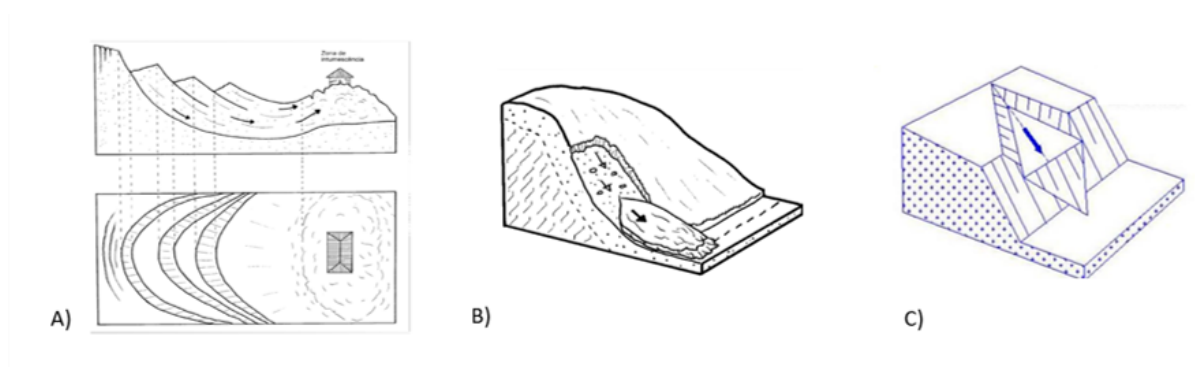
- **Rotacionais ou circulares (*slumps*)** – o principal movimento é acompanhado por uma rotação, com superfícies de deslizamento curvas e comumente ocorrem series de rupturas sucessivas e combinadas. Sua

ocorrência é mais comum em materiais mais coesos e homogêneos e em rochas sedimentares.

- **Translacionais ou planares (*translacional landslide*)** – o movimento ocorre devido as descontinuidades ou planos de fraqueza da superfície inclinada, relacionados a solos pouco espessos.
- **Em cunha** – o movimento ocorre ao longo de um eixo de intersecção entre as estruturas planares que desfavorecem à estabilidade dos taludes e encostas, ocasionando o deslocamento de material em forma de prisma. Este tipo de escorregamento está relacionado a saprólitos e maciços rochosos.

A esquematização dos diferentes tipos de escorregamentos pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 - Tipos de escorregamentos A) Rotacional ou circular; B) Translacional ou planar; C) Escorregamento em cunha.



Fonte: Araújo, 2017 – adaptado pelo autor.

Os rastejos são movimentos descendentes que não possuem uma geometria bem definida, nem superfície de ruptura marcante, ocorrem em baixas velocidades (centímetros por ano) e de forma contínua, com vários planos internos de deslocamento e geralmente ocorrem em horizontes de solo superficiais, rochas alteradas ou fraturadas ou ainda em áreas de transição de solo e rocha (FERNANDES *et al.*, 2004; BITTAR, 2014). Esse movimento pode ser visualizado no horizonte de solo ao observar degraus de abatimento, árvores e postes inclinados etc. (FIDEM, 2008; CORSI *et al.*, 2015).

As corridas são movimentos de grandes volumes de massa que se deslocam em forma de escoamento, influenciada pela mecânica de sólidos e fluidos, alcançando grandes distâncias e com alto nível de risco e poder destrutivo (GUIDICINI & NIEBLE,

1984; RIFFEL *et al.*, 2016). Por possuírem caráter hidrodinâmico, sua ocorrência mais frequente associa-se a momentos de precipitações abundantes (ZAIDAN & FERNANDES, 2009; RIFFEL *et al.*, 2016).

O Quadro 2 apresenta uma visão geral sobre os movimentos gravitacionais de massa e as principais características de cada movimento.

Quadro 2 - Movimentos de massa e suas principais características.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO MOVIMENTO
Quedas	Sem plano de deslocamento definido; Queda livre ou rolamento em plano inclinado; Alta velocidade; Material rochoso
Escorregamentos	Geometria e matérias variáveis; Pequenos a grandes volumes de material; Velocidades médias a altas;
Rastejos	Geometria indefinida; Baixas velocidades (cm/ano); Vários planos de deslocamento internos
Corridas	Grandes volumes de material; Extenso raio de alcance; Velocidade médias a altas

Fonte: Bittar (2014), Corsi *et al.* (2015) e Riffel *et al.* (2016) – adaptado pelo autor

2.6 Erosão

A erosão trata-se de um processo natural decorrente da movimentação de massa em virtude da dinâmica superficial de encostas e taludes, todavia as atividades antrópicas aceleram fortemente esse processo (MARTINI *et al.*, 2006; MEDEIROS, 2014). O processo erosivo é considerado um forte fator de risco aos taludes e encostas e podendo afetar a integridade dos e dutos (MEDEIROS, 2014). Ainda de acordo com a autora, a erosão hídrica pode ser linear ou laminar. A laminar remove progressivamente e de maneira uniforme dos horizontes do solo e a linear pode causar

linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, formando sulcos e que podem evoluir para ravinas e voçorocas (GUERRA, 1999; OLIVEIRA, 1999; MAFFRA *et al.*, 2014).

A dinâmica do processo erosivo sofre influência direta de fatores ambientais e fisiográficos, como tipos de solos, pluviosidade, topografia, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo e ainda a natureza geológica da rocha (DA SILVA & RIEDEL, 2018). É sabido que o processo erosivo é um fenômeno natural e fundamental no delineamento do relevo, porém as atividades antrópicas tendem a potencializar sua ocorrência bem como sua intensidade (PINTO, 1991; RUSSO, 2011; FILIZOLA *et al.*, 2011).

2.7 Métodos de recomposição de taludes

De acordo Freitas (2011), a instalação e manutenção, bem como a estabilidade dos taludes englobam a necessidade de um levantamento de dados pré-existentes do local, planejamento, análise da superfície e subsuperfície. De acordo com o Manual de Estabilização de Taludes da Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro (GEO-RIO, 2000; GERSCOVICH, 2016), as principais soluções a serem adotadas para garantir a estabilidade de taludes são: remoção e redirecionamento dos blocos que compõem o talude; retaludamento, muros, cortinas ancoradas, sistemas de drenagem e proteção superficial, malha de talude, solo grampeado e reforço com geossintéticos.

A seleção da técnica a ser adotada é dependente da investigação e avaliação de cada local, considerando suas especificidades e fatores de risco. Além disso, esses métodos podem ser divididos em obras sem estrutura de contenção e obras com estrutura de contenção.

2.7.1 Obras sem estrutura de contenção

i. Retaludamento

O retaludamento é um processo considerado mais barato, em que os taludes originais têm sua geometria alterada, podendo ser em um talude ou em toda a encosta (SANTANA, 2006; CARVALHAIS *et al.*, 2019). Essa solução não dispensa a necessidade de proteção superficial do talude seja ela natural ou artificial e um sistema de drenagem adequado.

ii. Proteção superficial

A proteção superficial das encostas e taludes é de suma importância e pode ser adotada na maioria dos métodos de recomposição, e sua execução pode ser realizada com materiais naturais ou com materiais artificiais (WOLLE, 1972; CARVALHAIS *et al.*, 2019). Os materiais naturais como a vegetação (gramíneas, espécies arbóreas), auxiliam na drenagem, reduzindo o volume de escoamento superficial e suas raízes atuam no reforço e estabilização do solo (SANTANA, 2006; CANHOLI, 2014). Os materiais artificiais podem ser cimento, geocélulas e geomantas, lonas sintéticas, telas e afins (ALHEIROS *et al.* 2003; SOUTO *et al.*, 2014).

iii. Drenagem

A água é considerada o principal fator desencadeador da erosão e dos movimentos gravitacionais de massa, considerando que a maior incidência desses fenômenos ocorre em períodos com alta pluviosidade. À vista disso, independente da escolha para solucionar ou melhorar a estabilidade de encostas e taludes, um sistema eficiente e adequado de drenagem é fundamental. Isso porque esse tipo de sistema reduz a infiltração no solo, reduz a velocidade de percolação e de condução das águas superficiais no talude (GERSCOVICH, 2016).

Neste sentido, as obras de drenagem têm como objetivo captar e direcionar as águas de escoamento superficial bem como reduzir o volume de água que percola no maciço (PEREIRA, 2017). Para melhor definir seu dimensionamento, algumas medidas devem ser adotadas em cada local, respeitando as particularidades como: índices pluviométricos locais, características dos materiais que compõem o maciço (solo, rochas e afins) além da área correspondente à bacia de contribuição (DUTRA, 2014).

Entretanto, comumente esses sistemas são muito suscetíveis à danos estruturais e entupimentos, o que os tornam deficientes caso não tenham as devidas manutenções e acompanhamentos. Esses mecanismos podem ser divididos em drenagem superficial e profunda:

Drenagem superficial

É aplicada para escoamento de águas mais superficiais, evitando que se acumulem na superfície do maciço. Nesse caso, são utilizados manilhas, canaletas, escadas d'água e afins.

Drenagem profunda

É utilizada para escoar as águas que percolam o maciço, por ação da gravidade, atingindo ou ficando abaixo do nível freático (TOMASELLA & ROSSATO, 2005; GERSCOVICH, 2016). Sua aplicação está intimamente relacionada com as características da região (ex: áreas de mangue). Trata-se de uma obra de execução mais complexa e pode utilizar materiais diversos como tubos, valas, matérias de alta absorção e afins (PEREIRA, 2017).

2.7.2 Obras com estrutura de contenção

Obras de contenção são aquelas que ao adicionam estruturas ou elementos estruturais em um talude ou encosta proporcionando maior resistência e reforçando o maciço (ou parte dele) (WOLLE, 1972; CARMO, 2009; SANTANA, 2014). Nessa perspectiva, estruturas de contenção são produtos importantes de obras da Engenharia em situações em que a estabilidade do maciço foi afetada e que podem ocasionar o colapso dele. Logo, essas estruturas deverão suportar o empuxo do material (solo, rocha etc.) a ser retido e ainda assegurar a estabilidade do talude (SOUZA, 2014). De forma geral, são obras que tendem a demandar mão-de-obra especializada e conseqüentemente onerando os custos de implementação.

i. Muros de gravidade

São obras de contenção que visam restabelecer o equilíbrio do talude, suportando o empuxo do maciço com seu próprio peso, evitando assim situações como tombamentos (DUTRA, 2014; FREITAS, 2011). Existem diversos tipos de materiais que podem ser utilizados para a construção desses muros.

Muro de Gabião

Os muros de gabiões, de forma geral, são muros de gravidade que possuem em sua estrutura elementos metálicos (gaiolas metálicas) constituídos por telas de malha hexagonal, duplamente torcidas, de arame galvanizado e ainda preenchidos por pedras (BARROS, 2008; DA CRUZ & BRAGHIN, 2016). As pedras utilizadas nesse processo devem ter a granulometria correta para que não vazem para fora da estrutura da malha como pode ser observado na Figura 5. Por se tratar de elementos modulares, os gabiões podem ser unidos uns aos outros e assim assumem formas variadas como cilíndricas ou prismáticas (DA SILVA & MIRANDA, 2018).

Figura 5 - Muro de gambião.



Fonte: Maccaferri (2018).

Gabião ancorado

Esse modelo de muro de gabião possui no centro de cada gaiola metálica um diafragma que a divide em dois módulos (geralmente, módulos de 1m³). Dessa forma, o conjunto montado com as gaiolas apresenta maior conformidade ao muro (ENDLICH & DA SILVA, 2018).

Muro de pedras

São muros construídos com pedras (de tamanhos variados) organizadas e empilhadas, fomentando a estabilidade do muro e a drenagem (GOÉS, 2016). Considerado um dos mais simples, de fácil execução e baixo custo como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Muro de pedras.



Fonte: Goés (2016).

Muros de Solo-cimento ensacado (Rip-Rap)

São estruturas construídas utilizando sacos com uma mistura de solo, cimento e água (Figura 7), nas devidas proporções, atendendo aos quesitos econômicos, resistência mecânica e durabilidade (CASTRO, 2008; SILVA, 2012). Ainda de acordo com o autor, apresentam custo baixo custo, de rápida execução e não requerem mão de obra especializada.

Figura 7 - Exemplo de muro de solo-cimento ensacado.



Fonte: Freitas *et al.* (2018).

Muro de Solo-pneu

São muros construídos com pneus descartados, de fácil implementação e custos reduzidos (Figura 8). Os pneus são amarrados uns aos outros e preenchidos com solo compactado do próprio local, atendendo ainda aos critérios de altura do talude e das dimensões pré-determinadas para o muro (NOGUEIRA, 2016). Essa estrutura pode ser observada na Figura 8 e admite deformações, não são recomendados para empreendimentos como estruturas de fundação ou ferrovias (GERSCOVICH, 2016).

Figura 8 - Muro solo-pneu.



Fonte: Yoshihara (2015)

Muro de concreto ciclópico

Os muros de concreto ciclópico são estruturas de contenção construídas com concreto e blocos de rocha, que preenchem a forma determinada de cada projeto para promover a estabilidade do talude e precisam da implementação de drenos (GEO-RIO, 2014). Trata-se de um método de contenção que requer mão-de-obra especializada, demandando maiores recursos e recomendada para taludes menores (COUTINHO *et al.*, 2005; LUIZ, 2014).

Muros em fogueira (Crib Wall)

São muros que possuem em sua estrutura elementos pré-moldados (aço, madeira ou concreto armado) que são sobrepostos e organizados de forma a montar uma “fogueira” preenchida internamente por solo ou brita (MINÁ, 2005; GARCÍA-VEJA *et al.*, 2014). A Figura 9 apresenta um modelo desse método de contenção.

Figura 9 - Muro Crib-walls.



Fonte: Corsini (2011).

ii. Muros à flexão

Trata-se de estruturas de contenção com seção transversal em formato de “L”, para resistir ao empuxo do talude por flexão, onde o próprio maciço é apoiado na base do “L” construído, mantendo assim a estabilidade do talude (GARCÍA-VEGA *et al.*, 2014). Geralmente, o concreto armado é utilizado para este tipo de estrutura de contenção, o que pode onerar a obra. Esses muros (com estruturas massivas), favorecem o equilíbrio em razão do próprio peso, sendo assim uma estrutura que une a funcionalidade dos muros de gravidade com os de flexão (NEIVA *et al.*, 2014).

iii. Solo grampeado

Trata-se de um método que promove melhoria do solo, contendo os taludes por meio da escavação e inclusão de grampos em furos pré-determinados e posicionados, além da montagem de um muro (sem função estrutural) para proteção superficial de taludes e encostas (materiais e elementos resistentes), que nesse caso são grampos (GERSCOVICH *et al.*, 2005; GERSCOVICH, 2016). Eles podem ser barras sintéticas de seção (cilíndricas ou retangulares), barras de aço, estacas ou ainda microestacas e podem ser exemplificados na Figura 10.

Figura 10 - Execução de obra de contenção com solo grampeado.



Fonte: Geossintec (2021).

iv. Cortinas de contenção

As cortinas são estruturas de contenção em forma de sistema, onde elementos como tirantes, estacas ou vigas atuam de forma conjunta para manter a estabilidade dos taludes (GERSCOVICH *et al.*, 2019). São estruturas muito utilizadas em escavações e obras subterrâneas.

Cortina atirantada

A cortina atirantada é uma estrutura que visa a contenção do talude ou encosta, por meio de uma construção de parede (que pode ser de materiais diversos como concreto armado) que fica pressionada contra os taludes por tirantes como demonstrado na Figura 11 (GEO-RIO, 2000). Os tirantes desempenham a função de conectar o bulbo ancorado no solo com a contenção da parte externa do talude, promovendo estabilidade e reduzindo a possibilidade de ruptura ou movimentações indesejadas (PEREIRA, 2018).

Figura 11 - Estrutura de contenção: cortinas atirantadas.



Fonte: Endlich & Da Silva (2018)

Estacas-prancha

As estacas-prancha são estruturas formadas por perfis, geralmente metálicos, que possuem conexões em suas bordas. Esses perfis ficam justapostos e são cravados ao solo, formando assim uma cortina contínua fixada (Figura 12), com boa resistência e agindo na contenção vertical (GERSCOVICH *et al.*, 2019). As estacas mais utilizadas são, de forma geral, de aço ou concreto, mas em alguns casos podem possuir elementos de madeira em sua estrutura. São estruturas que podem ser adotadas de maneira provisória ou permanente.

Figura 12 - Cortina de contenção: estacas-prancha.



Fonte: Geossintec (2021).

Solo reforçado

Trata-se da adoção de medidas de reforço no interior de um maciço de solo compactado com materiais que fornecem maior resistência à tração, promovendo melhoria nas propriedades mecânicas do solo como geometria, coesão, densidade (DANTAS, 2004; GERSCOVICH *et al.*, 2019). Esses materiais podem ser fitas metálicas, geogrelhas (Figura 13), mantas geotêxteis e afins.

Figura 13 - Adoção de geogrelhas em área de Aterro com solo mole.



Fonte: Geosynthetica (2018).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para esta pesquisa foi um estudo de caso. Essa metodologia promove a execução e análise de pesquisas aplicadas a casos concretos e se diferencia das demais metodologias por fomentar a disseminação de dados relevantes a sociedade e as demais pesquisas (SANTOS, 2011). Dessa forma, deve ser considerado como um estudo de natureza empírica, com delineamento mais conciso para investigar determinado um ou mais fenômenos contemporâneos dentro de seu contexto real, considerando o histórico do local, constância e contexto do fenômeno estudado (YIN, 2015).

Um estudo de caso é aplicável quando o objetivo do pesquisador busca um amplo entendimento, mais objetivo e validade conceitual, propondo uma avaliação além dos dados estatísticos (ROCHA, 2008; YIN, 2015). Nesse sentido, um estudo de caso inicia-se pelo referencial teórico. A elaboração do referencial relaciona-se

estritamente ao objeto da pesquisa, evidenciando as lacunas da pesquisa e questões norteadoras do estudo (MIGUEL, 2007; YIN, 2015).

O estudo de caso como estratégia de investigação pode ampliar a compreensão do problema a ser estudado bem como evidenciar outras problemáticas (MEIRINHOS & OSÓRIO, 2016).

Posto isto, os conceitos relacionados ao tema de pesquisa destacam-se, fomentando um delineamento mais conciso do objeto de investigação e destacando os objetivos propostos no estudo (YIN, 2015). O autor enfatiza ainda, a importância da etapa de planejamento, destacando os aspectos operacionais e de validação dos procedimentos adotados. Nas etapas posteriores, como a coleta de dados, ressalta-se a importância do uso de múltiplas fontes de dados (procedimentos qualitativos e quantitativos), e por fim interpretação, análise e divulgação dos dados resultantes do estudo.

3.1 Estudo de Caso

Para este trabalho foram utilizados dados e documentos disponibilizados pela empresa Vectra Engenharia, contratada pela Transpetro, referentes a duas obras de proteção e estabilização de travessias da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte, da empresa subsidiária da Petrobrás.

A empresa Vectra Engenharia atua há 26 anos no território nacional em diversos ramos da engenharia. Trata-se de uma grande empresa que atua fortemente na indústria do petróleo, com mais de 200 contratos na área, incluindo a Petrobrás e sua subsidiária, a Transpetro, que atualmente é a maior empresa petrolífera da América Latina. Além disso, a empresa possui uma política de gestão integrada e adotando práticas de responsabilidade social e ambiental (VECTRA, 2021).

A Transpetro é uma empresa subsidiária da Petrobrás, criada em meados de 1998, que atualmente está estruturada em áreas de negócios de Dutos e Terminais, além do Transporte Marítimo (TRANSPETRO, 2021). De acordo com o próprio site da empresa, a Petrobrás Transporte S.A – a Transpetro é atualmente a maior processadora nacional de gás natural. Opera também na logística, armazenamento e transporte de petróleo e derivados, bem como gás e etanol, e ainda atua nas atividades de importação e exportação. Os dados divulgados pela empresa relevam que são mais de 14 mil quilômetros de gasodutos e oleodutos, 55 navios petroleiros e 47 terminais, com instalações em 20 estados brasileiros (TRANSPETRO, 2021).

A faixa de dutos que liga o Rio de Janeiro à Belo Horizonte inicia em Duque de Caxias e se estende até Belo Horizonte e região metropolitana. No estado do Rio, essa faixa de dutos é compartilhada por outros dutos, sendo: Poliduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (ORBEL I), oleoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (ORBEL II), Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (GASBEL), Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro (OSRIO) e ainda o Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo (GASPAL).

i. ORBEL I

Em meados de 1968, esse oleoduto começou a operar, ligando o a Refinaria Duque de Caxias (REDUC) no Rio de Janeiro à refinaria Gabriel Passos (REGAP) em Betim, em Minas Gerais (ANTT, 2007). Foi o primeiro duto brasileiro de grande extensão (ROCKETT, 2008). Com uma capacidade aproximada de 6.000 m³ por dia, o duto possui 18 polegadas de diâmetro e 363,9 km de extensão passando por 24 municípios. Esse duto transporta derivados de petróleo como: gasolina, nafta petroquímica e craquelada e óleo diesel. Dados do IBGE indicam que em 2013, a população total desses municípios era de 3.006.866 de habitantes, distribuídos entre os dois estados, sendo 44,2% em Minas Gerais e 55,8% no Rio de Janeiro (IBGE, 2013).

ii. ORBEL II

Esse duto foi construído posteriormente, na década de 1980, a partir da aprovação do Decreto Federal nº 83.987 de 18 de setembro de 1979, com aproximadamente 358,4 km de extensão (BRASIL, 1979). O petróleo chega à REGAP pelo oleoduto ORBEL II e os produtos finais são transportados ao Terminal de Betim (BR Distribuidora) e são transportados através de dutos, para as empresas responsáveis por sua distribuição e para a Base do Imbiruçu (ANTT, 2007).

iii. GASBEL I

O Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte I (GASBEL I) iniciou as suas operações em 1994, com capacidade de transportar 3,15 milhões de m³ de gás natural por dia e extensão de 357 km (PETROBRAS, 2010).

iv. GASBEL II

Como parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), foi inaugurado em meados de 2010, o Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte II (GASBEL II), possui 267 km de extensão, capacidade de transportar 5 milhões de m³ de gás natural

por dia e 18 polegadas de diâmetro (PETROBRAS, 2010). O gasoduto liga Volta Redonda (RJ) à Queluzito (MG) com 282,6 km de extensão.

3.2 Apresentação das áreas de estudo

As obras foram realizadas no km 150+000 no município de Juiz de Fora (MG) e no km 356+600 no município de Sarzedo (MG), no ano de 2015. De acordo com o relatório da equipe de Geotecnia da Transpetro e fornecido a empresa Vectra Engenharia em um Memorial Descritivo, nesses trechos havia a necessidade de implantação de estruturas de proteção e estabilização. Nos dois trechos foi detectada a exposição de dutos de grande importância na distribuição de petróleo e derivados e ainda gás natural, sendo os Oleodutos Rio de Janeiro (RJ) – Belo Horizonte (MG), conhecidos como ORBEL I e ORBEL II, e os Gasodutos Rio de Janeiro (RJ) – Belo Horizonte (MG), conhecidos como GASBEL I e GASBEL II. Ambas as obras foram realizadas em janeiro de 2015 a agosto de 2015.

Para a área 1 (km 150+00) foi salientado a necessidade de normalização do leito do curso d'água visando a proteção dos dutos já descritos, bem como a calha do Rio Paraibuna. Buscando manter a integridade da faixa de dutos bem como dos próprios dutos em questão, foi destacada a necessidade de restauração da calha, estabilização das margens e recomposição das erosões destacadas para a área 2 (km 356-600). Para ambas as áreas foram construídas estruturas de contenção de gabião caixa e gabião manta (tipo colchão reno) com 23 cm de altura e manta geotêxtil MacTex N40.2 (200g/m²) conforme a NBR-9952. Nas duas obras a estrutura de gabião cruza todo o Rio Paraibuna e o Ribeirão Sarzedo.

As estruturas de contenção escolhidas para ambas as áreas foram gabião caixa e gabião manta. Isso porque não existem soluções técnicas para reaterrar o fundo do rio promovendo a proteção da faixa de dutos, logo o gabião foi a solução mais viável e eficiente. Gabião são estruturas amplamente utilizadas e, em geral, são constituídas por pedras empilhadas, de tamanhos variados, em gaiolas de arame galvanizado, manta geotêxtil (bidin) e revestidos de policloreto de vinila (PVC).

É muito recomendado por possuir características importantes para estruturas de contenção, como: boa resistência, alta permeabilidade, baixo impacto ambiental, além de um bom custo-benefício. Além da alta permeabilidade, essa estrutura auxilia

na drenagem do local onde está instalada, visto que sua estrutura contém espaços “vazios” entre as pedras, o que possibilita a drenagem do fluxo de água (MACCAFERRI, 2021). Sua flexibilidade permite que essas estruturas sejam instaladas em concordância ao formato do solo, uma vez que se trata de uma estrutura flexível, que suporta deformações sem riscos de rompimentos (DA SILVA & MIRANDA, 2018).

É considerada ainda ambientalmente correta, tendo em vista que são estruturas que não prejudicam o crescimento da flora local e é muito utilizada em áreas preservadas e ao longo de córregos, rios e lagos. Somado a isto, trata-se de uma estrutura de alta durabilidade, considerando a resistências das pedras e ainda as telas de aço galvanizado (GEOSSINTEC, 2019).

No primeiro momento, foi realizada a limpeza e o preparo da superfície do terreno dos dois locais de obras. Posteriormente, a empresa realizou a remoção de toda a vegetação e de matérias nas margens, leito e laterais dos locais de obras. Nessa etapa foi realizado ainda o espalhamento e remoção dos materiais e pedras para o nivelamento do leito do Rio Paraibuna e do Ribeirão Sarzedo para receberem a estrutura de gabião.

3.2.1 Área 1: km 150+000 – Rio Paraibuna, Juiz de Fora (MG)

A inspeção realizada em 2011, no trecho km 150+000, pela equipe da Transpetro, indicou a ocorrência de exposição dos dutos ORBEL I, ORBEL II e GASBEL I, no leito do rio Paraibuna em Juiz de Fora (MG), nas coordenadas 7.611.518,94 N e 654.025,48 E – SAD 69. A área é plana e extensa, onde ocorre naturalmente o extravasamento natural do rio em épocas de cheia. Foi observado que o rio possui sua calha reduzida em razão do assoreamento das laterais e consequente aumento na velocidade de fluxo. Esse aumento ocasionou o carregamento de material do fundo do rio resultando na exposição dos dutos em questão (ORBEL I, ORBEL II e GASBEL I).

Figura 14 - Vista aérea da travessia da faixa no Rio Paraibuna



Fonte: Transpetro (2014).

Figura 15 - Vista da faixa mostrando assoreamento nas margens do rio.



Fonte: Transpetro (2014).

i. Serviços preliminares

A inspeção realizada por mergulhadores evidenciou que um dos dutos da faixa que cortava o leito do Rio Paraibuna estava exposto, ao ponto em que o mergulhador podia encostar nele. Além do risco físico a integridade do duto, observou-se a necessidade de avaliar a proteção catódica dos dutos. Nesse sentido, foram

construídas estruturas de contenção de gabião caixa e gabião manta (tipo colchão reno®) cruzando o leito do rio, bem como suas margens.

Além da limpeza do local, foi executado o enrocamento na área que receberá a estrutura de contenção do tipo gabião. Com o auxílio de uma escavadeira hidráulica, pedras do tipo rachão foram colocadas na área onde a estrutura de contenção será construída promovendo estabilidade do solo antes da construção do gabião.

ii. Construção da ensecadeira

A velocidade do rio, bem como a vazão e o fluxo foram subestimados, os responsáveis pela execução do projeto acionaram os órgãos ambientais para viabilizar o desvio do Rio Paraibuna, porém não obtiveram autorização para isso. Como as licenças ambientais não permitiram o desvio do rio, foi necessário a construção de uma ensecadeira de grandes proporções.

A ensecadeira é uma estrutura temporária e é amplamente utilizada para facilitar a execução de projetos de construção em locais que geralmente ficam submersos como o leito de um rio. Ressalta-se que a construção de uma ensecadeira a vazão do rio não se altera. Após sua instalação no local (Figura 16), foram utilizadas motobombas movidas à gasolina para realizar o bombeamento de água para fora do local de trabalho. No entanto, essas motobombas não estavam sendo eficientes no bombeando da água e foram substituídas por cinco motobombas (de 4 a 6 polegadas) movidas a diesel, com capacidade de bombear de 100 m³ a 250 m³ de por hora. Esse tipo de motobomba funciona submersa, então foram construídos poços para mantê-las funcionando. Com a redução da água foi possível construir o gabião em uma das margens.

Figura 16 - Ensecadeira construída para obra do km150+000.



Fonte: Vectra (2015)

Entretanto quando a estrutura de contenção construída em uma das margens encostou na ensecadeira, de forma que a parte debaixo da ensecadeira era o próprio gabião caixa, não foi mais possível fazer o bombeamento da água. O trecho então foi seccionado e uma nova ensecadeira (menor) foi construída, dentro da ensecadeira maior. Embora as bombas estivessem trabalhando de forma eficiente, as chuvas interferiram na execução do gabião nas demais partes da área. No caso do Rio Paraibuna, o volume de água está relacionado as condições pluviométricas da região à barragem de Chapéu D'Uvas, que fica aproximadamente a 36 quilômetros de Juiz de Fora. Em virtude disso, a Companhia de Saneamento Municipal, Cesama foi acionada, e por alguns meses a barragem era fechada as segundas as 7h da manhã e liberada na sexta-feira as 17h.

iii. Gabião tipo caixa

O gabião tipo caixa é composto elementos prismáticos, retangulares, que podem ser montados, preenchidos e já depositados no próprio local da obra. São estruturas versáteis e por isso, são amplamente utilizadas para construção de obras de contenção. Como a construção de ensecadeiras não altera a vazão do rio, com a construção da segunda ensecadeira, ocorreu a diminuição da calha, a velocidade da água aumentou e a outra margem do rio começou a erodir. A escavadeira que estava sendo utilizada não alcançava mais a outra margem e foi substituída por uma escavadeira de pescoço longo. Na obra foram utilizados gabião caixa de 1,0x1,0x1,0 m.

iv. *Gabião manta (tipo colchão reno®)*

Na construção da estrutura de contenção no leito do rio, o projeto base definia que o gabião caixa precisa ancorar o gabião manta, tipo colchão reno®, com um metro de profundidade no fundo do rio. No momento da escavação, o nível de água começou a subir mais do que o esperado e a construção das caixas foi realizada debaixo d'água mesmo. As caixas do gabião foram preenchidas com água e o material geotêxtil, mantendo a mesma cota em toda estrutura.

v. *Reaterro da margem erodida*

Como uma das margens foi erodida, foi necessário fazer o reaterro dessa margem, porém isso não estava previsto no projeto e houve a necessidade de realizar o empréstimo de material. O reaterro é fundamental para que a calha do rio não seja alterada e ainda não forçar o gabião a abrir. O material emprestado e utilizado para compactação era uma argila densa e escura, que estava sendo utilizada para construção da estrada que dá acesso ao aeroporto de Goianá.

Ao final da obra, os seguintes dados coletados:

Tabela 1 - Dados quantitativos na obra do km150+000

SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE
Limpeza e preparo da superfície	m ²	203
Execução de gabião caixa	-	149
Execução de gabião manta	m	1271
Instalação de manta geotêxtil	m	2126
Revestimento vegetal	m ³	346
Execução de enrocamento com pedra rachão	m	279

Fonte: Vectra Engenharia (2015)

3.2.2 Área 2: km 356+600 – Ribeirão Sarzedo

A inspeção realizada na travessia do Ribeirão Sarzedo, em Sarzedo (MG), km 356+600 com coordenadas 7.785.766,22 N e 598.890,37 E – SAD 69, indicou que o leito do corpo d'água apresentava obstruções tanto a montante quanto a jusante, nos limites da faixa de dutos. Essas obstruções ocasionaram alterações na velocidade e

no fluxo de água, resultando no carreamento de sedimentos do leito do ribeirão, posterior rebaixamento do fundo e erosões nas margens. As evidências descritas, indicam que esse processo foi possivelmente iniciado por ações antrópicas e em consequência disso, os dutos sendo ORBEL II e GASBEL I, encontravam-se expostos. A localização do local da obra, bem como os problemas encontrados podem ser observados nas Figuras 17,18,19 e 20.

Figura 17 - Vista aérea da travessia de dutos no Ribeirão Sarzedo.



Fonte: Transpetro (2014).

Figura 18 - Enrocamento de pedras a montante da travessia.



Fonte: Transpetro (2014).

Figura 19 - Obstrução por sedimentos depositados no leito, a jusante da travessia.



Fonte: Transpetro (2014).

Figura 20 - Margem erodida pela velocidade que o fluxo ganha com o estreitamento da calha a montante.



Fonte: Transpetro (2014).

vi. *Serviços preliminares*

O projeto para essa área não foi alterado. O Ribeirão Sarzedo faz parte da área da refinaria Gabriel Passos (REGAP), em Betim – Belo Horizonte. Também foi constatada a exposição de dois dos dutos da faixa que passa no local. Sendo assim, as obras no local visavam manter a integridade e realizar a proteção dos dutos. Nesse sentido, foi realizada a limpeza do local para montagem do canteiro de obras.

vii. Construção da ensecadeira

A licença ambiental para a obra não era clara quanto a construção de ensecadeiras com tubos de de polietileno de alta densidade (PEAD), apenas deixando claro que não seria possível fazer nenhum desvio no ribeirão. Sendo assim, foi construído um dique e o bombeamento da água era realizado com tubos de PEAD de 200mm que passava por cima do gabião (Figura 21). Possibilitando assim que todo o trabalho fosse realizado no seco.

Figura 21 - Ensecadeira com tubos de PEAD do km356+600.



Fonte: Vectra (2015)

viii. Gabião

Gabião também foi construído cruzando também o rio e suas margens, porém a estrutura de contenção era menor do que na primeira área. Todavia, a existência de uma pedreira próxima a obra, a Montreal, possibilitou que fosse escolhidas pedras mais uniformes, com maior horizonte de pedras.

Devido a uma forte chuva, o local foi alagado e os tubos de PEAD foram ribeirão abaixo. Uma semana de trabalho foi perdida. No entanto, as escavadeiras utilizadas nessa obra conseguiam alcançar as duas margens do ribeirão, possibilitando que o material que desceu, fosse recuperado.

4. Discussão

O projeto base da obra do km150+000 sofreu alterações ao longo da realização da obra, inicialmente foi proposto a construção do gabião em curva. Entretanto, observou-se que o gabião alinhado (reto) seria o mais indicado para o local. À vista

disso, foi necessário um redimensionamento dos recursos, maquinários e mão-de-obra especializada. Além o excesso de chuvas interferiu fortemente na obra, a adversidade com as ensecadeiras devido à alta velocidade do rio, a dificuldade em manter as motobombas submersas e a construção das caixas do gabião embaixo d'água. De acordo com dados obtidos, a aprovação da Transpetro para a ensecadeira construída no local demorou a acontecer, o que retardou parte do trabalho.

Além disso, a erosão que ocorreu em uma das margens do Rio Paraibuna fez com que novamente, os recursos destinados a obra foram redefinidos para viabilizar o reaterro e correção da calha do mesmo.

Já a obra no km 356+600, do Ribeirão Sarzedo, não teve alterações no projeto inicial, se mantendo o mesmo durante todo o período. Entretanto, as fortes chuvas atrasaram mais de uma semana os trabalhos no local e recolhimento de material rio abaixo. Algumas facilidades como a existência de uma pedreira próxima ao local e um horizonte de pedras vasto, auxiliou na construção do gabião. Para manter o trabalho dentro do prazo, instalações elétricas com mão-de-obra especializada foram utilizadas quase que integralmente.

Em ambas as obras, o fator mais atípico relatado foi a construção do gabião cruzando todo o leito do rio, bem como suas margens. Geralmente, o gabião é construído em curva e sem cruzar o leito todo do rio.

5. Considerações Finais

A utilização de estruturas de contenção apresenta-se como uma solução da engenharia na resolução e prevenção para problemas associados a infraestrutura e vêm sendo aprimorada ao longo dos anos. As intervenções e metodologias comumente adotadas para recomposição de taludes em faixa de dutos demandam maior detalhamento das características específicas de cada instalação, informações sobre manutenção e como foi feito o gerenciamento de todo o sistema de dutos. Os riscos relacionados ao interrompimento das atividades, seja para manutenção e/ou reparos, atingem escalas de danos ambientais, sociais e especialmente econômicos, sendo assim altamente relevantes para diversos setores.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, essas estruturas foram remodeladas, em especial estruturas em gabiões. Por se tratar de uma estrutura muito

versátil e capaz de se adequar ao meio que é inserida, se tornou uma solução muito comum de ser encontrada. Além disso, possui características importantes como baixo impacto ambiental, alta permeabilidade e flexibilidade, o aço que compõem as gaiolas possui baixo teor de carbono e ainda é muito resistente. A dupla torção da malha promove ainda maior durabilidade e menor possibilidade de corrosão.

Com base na documentação analisada das duas obras de contenção, foi possível notar alterações significativas em relação ao projeto base. Em ambos os projetos, foram o gabião percorria todo o leito do rio e suas margens, característica não muito comum nesse tipo de obra. Na obra do km150+000, a batimetria inicial apresentou divergências com as condições encontradas no local. Além disso, as condições climáticas não foram favoráveis. Somado a isso, a realocação de recursos foi necessária em vários momentos, na construção de duas ensecadeiras, na contenção da margem que erodiu na construção do gabião no leito do Rio Paraibuna, e conseqüente empréstimo de material. Já a obra do km356+600, apesar de também ter tido intercorrências relacionadas as condições climáticas, ocorreu de forma mais simplificada e ainda pode contar com o facilitador da pedreira próxima ao local. O que aprimorou a construção dos gabiões devido, principalmente, ao horizonte de pedras uniforme. Apesar da forte chuva e do atraso de aproximadamente uma semana na obra, não houve mais intercorrências graves.

Nesse sentido, as soluções adotadas em ambas as obras se confirmaram como as mais indicadas para cada local, apesar da realocação de recursos. O aprimoramento das metodologias fomenta a interdisciplinaridade e maior compreensão dos desafios relacionados à recomposição e conservação dos taludes garantindo a integridade de todo o sistema de dutos.

O presente estudo buscou apresentar e analisar a recomposição de taludes nas faixas de dutos em duas obras, km1 50+00 e km 356+600, da Petrobras Transportes S.A (Transpetro). À vista disso, foram cumpridos os objetivos específicos de analisar as principais causas de erosão em taludes, identificar e apresentar os métodos utilizados para recomposição desses taludes, focados nas obras das duas áreas apresentadas no estudo de caso.

Referências Bibliográficas

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019/ Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro.

ALHEIROS, M. M. SOUZA, M. A. A., BITOUN J., MEDEIROS, S. M. G. M., AMORIM JÚNIOR, W. A. (2003). Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife. FIDEM (Recife), 384p

ALMEIDA, Julio Cezar; BIRCK, Fernando Augusto; DELL'AVANZI, Eduardo; MACHADO, Roberto Dalledone. APLICAÇÃO DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS EM ESTABILIDADE DE TALUDES NA INSTALAÇÃO DE DUTOS DE GÁS SUBTERRÂNEOS. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, vol. 0, no. 4, p. 1–10, 8 Jun. 2016.

AMORIM, D. G. DE A., ZAINÉ, J. E., & RODRIGUES, F. H. Avaliação de suscetibilidade à erosão e movimentação gravitacional de massa no Parque Estadual do Juquery, Franco da Rocha (SP). *Geologia USP. Série Científica*, 2017: 17(2), 3-21.

AMORIM, D.G.A. Caracterização geológico-geotécnica aplicada a gestão de risco no gasoduto Gasbol, trecho Ipeúna/SP – Itirapina/SP. TCC Universidade Estadual Paulista. 93 p

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – AETT 2007.

APAZA, M. A. F.; BARROS, J. M. C. Análise Probabilística de Estabilidade de Taludes pelo Método de Monte Carlo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA**. 2014.

ASME – **American Society of Mechanical Engineers**. ASME B31.8S-2004 Edition, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12.712: projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 9952: Manta asfáltica para impermeabilização. Rio de Janeiro, 2014.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de Risco a Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP**. 1994, São Paulo. (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica, USP, 167p.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. “Estabilidade de Taludes”. **Geologia De Engenharia**, São Paulo, ABGE 1998, p.243-269.

BRASIL. Decreto nº 83.987, de 18 de setembro de 1979. Declara de utilidade pública, para fins de desapropriação total ou parcial ou instituição de servidão administrativa e/ou de passagem, em favor da Petróleo Brasileiro S.A. PETROBRÁS, imóveis constituídos de terras e benfeitorias, que menciona.

CANHOLI, A.P. Drenagem urbana e controle de enchentes. Editora Oficina de Textos, 2ª edição. 2014

CARMO, E. S. **Análise da Estabilidade de um Talude de Corte da BR-110: Estudo de Caso**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

CARVALHAIS, R. M., DE MORAES, N. A., SILVA, H. F., & BERNARDES, I. M. M. (2019). Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. *Brazilian Journal of Development*, 5(7), 9765-9772.

CASTRO, S.H., **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis**, Dissertação M.Sc., PPG-ECA/UFMG, Campina Grande, PB, Brasil, 2008.

COLAVITE, Alessandro Serrano; KONISHI, Fabio. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, v. 12, p. 28, 2015.

CORSI A. C., GRAMANI M. F., OGURA A. T., BITAR O. Y. 2015 (b). Corroboração de campo para o método de delimitação de bacias de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e enxurrada. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, Anais, Bento Gonçalves: ABGE (no prelo). SANTOS, A. R. dos. Enchentes e deslizamentos: causas e soluções. São Paulo: Pini, 2012. 136 p.

COUTINHO, R. Q., BANDEIRA, A.P.N., SANTANA, R.G. (2005). 2º Relatório – Volumes 1 ao 13: Municípios do Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Ilha de Itamaracá, Igarassu, Ipojuca, Itapissuma, Moreno e São Lourenço da Mata – OGU 2001 e 2003. **Relatório do Mapeamento de Obras de Contenção de Encostas em Assentamentos Precários**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife

COUTINHO, R. Q.; SILVA, M.M. (2006) **Conferência: Classificação e mecanismos de movimentos de massa**. IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Escola Politécnica da UFBA, Salvador – BA. Vol. Pós-congresso (no prelo).

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. **Landslide types and process**. 1996. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L., *Landslides Investigation and Mitigation (Special Report 247, pp. 36 – 75)* Transportation Research Board, Us National Research Council, Washinton, DC.

DA CRUZ, Lucilene Boniolo; BRAGHIN, Maíra Ferreira Lima. Estudo da utilização da estrutura de contenção tipo Gabião. In: **Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332**. 2016. p. 33-39.

DA SILVA, C. A. C.; RIEDEL, P. S. *Comparação entre as análises integrada e paramétrica na suscetibilidade a escorregamentos no entorno de dutos: faixa de dutos Orbel*, Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, n. 1, p. 0580, 2018.

DA SILVA, L. R.; MIRANDA, T. C. Análise e projeto de estrutura de contenção em ruptura de talude por erosão: estudo de caso. **Engineering Sciences**, v. 6, n. 2, p. 12-22, 2018.

DANTAS, B. T. Análise do comportamento de estruturas de solo reforçado sob condições de trabalho. UFRJ. Rio de Janeiro, p. 30. 2004.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 1, p. 29-77, 2012.

Eduardo Santos Neiva Filipe Eliel de Faria Gabriel Torino Nogueira Rafael Peixoto Jorge

ENDLICH, A.O.; DA SILVA, M.A. Utilização de muro de gabião para contenção de encostas. **Episteme Transversalis**, [S.l.], v. 10, n. 3, dez. 2019. ISSN 2236-2649.

FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **CATENA**, v.55, n.2, p.163-181, 2004.

FIDEM (2008), Guia para o Curso de Capacitação em Mapeamento e Gestão de Risco em Assentamentos Precários

FILIZOLA, H. F., ALMEIDA FILHO, G. S., de SOUZA, M. D., GOMES, M. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. **Embrapa Meio Ambiente-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2011.

FREITAS, M.A.C. Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Morgenstern-Price e Correia. Dissertação de Mestrado, Universidade de Porto, Porto, 2011. 178p

García-Vega, A., Sanz-Ronda, F. J., Fuentes-Pérez, J. F., Navarro-Hevia, J., & Martínez-Rodríguez, A. (2014). Bases metodológicas para el cálculo de muros entramados de madera con vegetación o muros Krainer. *Informes de la Construcción*, 66(533), e012-e012.

GEO-RIO (2000). Manual Técnico de Encostas. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro – GEO-RIO – Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GEO-RIO, 2014 - Secretaria Municipal de Obras. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, Manual Técnico de Encostas: Volume I, Rio de Janeiro

GEOSSINTEC. O que é gabião. Publicado em 16 de outubro de 2019. Disponível em: <https://www.geossintec.com.br/o-que-e-gabiao/> [Consultado em 12/10/2021].

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes (2ª edição)**. Oficina de textos, 2016.

GERSCOVICH, D. M. S., SIEIRA, A. C. C. F., LIMA, A. P., SAYÃO, A. S. F. J. Técnicas de modelagem numérica de escavações de taludes em solo grampeado. In: **IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), Salvador**. 2005. p. 643-655.

GERSCOVICH, D.; SARAMAGO, R; DANZIGER, B. R. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. Oficina de Textos, 2019.

GÓES, L. S 2016. 54f. **Contenção como Muro de flexão**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2016.

GUERRA, A. J. T. *O início do processo erosivo*. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (organização). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 17-55p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2013*. Rio de Janeiro: IBGE. 2013.

IPT (2004). *Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações*.

LUIZ, Bruna Julianelli. *Projeto geotécnico de uma estrutura de contenção em concreto*. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Rio de Janeiro: **Escola Politécnica da UFRJ**, 2014.

MACCAFERRI. Produtos. Disponível em: https://www.maccaferri.com/br/produtos/gabioes/?gclid=CjwKCAiAvriMBhAuEiwA8Cs5IUxi2jZpeSvqjrM6V7N2kfzQcZWKAAdso-1ZAxbEWNCiof_PHKHeSxoC3joQAvD_BwE [Consultado em 12/10/2021].

MAFFRA, CRB; GAVASSONI, E.; SUTILI, F. J. *Aplicação de técnicas de engenharia natural em processos erosivos em travessia de dutos terrestres*. **Foz do Iguaçu**, 2014.

MALTEZ, J. S. *Estudo da análise de risco ambiental na operação de duto terrestre, considerando alterações geológico-geotécnicas na faixa de duto e áreas adjacentes*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. 52p

MARTINI, L. C. P., UBERTI, A. A. A., SCHEIBE, L. F., COMIN, J. J., DE OLIVEIRA, M. A. T. *Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas*. **Geologia USP. Série Científica**, v. 6, n. 1, p. 41-52, 2006.

MATTOS, K. C. A. *Processos de instabilização em taludes rodoviários em solos residuais arenosos: estudo na Rodovia Castello Branco (SP-280), Km 305 a 313*. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Mazzeo, N.E. *Manual Para La Sensibilización Comunitaria Y Educación Ambiental: Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos*. 1a Ed. San Martín: Inst. Nacional De Tecnología Industrial -Inti, 2012. E-Book.

MEDEIROS, G. F. *Susceptibilidade à erosão na alta bacia do ribeirão Barreiro – Alexânia-GO*. 2014. 172 f. *Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil)* - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MEIRINHOS, M.; OSÓRIO, A. *O estudo de caso como estratégia de investigação em educação*. **EduSer-Revista de educação**, v. 2, n. 2, 2016.

MENEZES, W. J. O. Riscos geotécnicos em taludes marinhos, associados à ocorrência de hidrato de gás, no traçado de dutovias. 2011. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.

MICHAELSEN, F. M. *Riscos geotécnicos em dutos: instrumentação para monitoramento de oleodutos e gasodutos em encostas instáveis*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul TCC 89 p 2011.

MIGUEL, P. A. C. *Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução*. Production, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MINÁ, A. J. S. Estudo de estacas de madeira para fundações de pontes de madeira. **São Carlos. Tese (Doutorado)–Escola de Engenharia de Estruturas-Universidade de São Paulo**, 2005.

NBR-9952

NEIVA, E.S.; DE FARIA, F.E.; NOGUEIRA, G.T; JORGE, R.P. Estruturas de contenção, escavações e escoramentos. TCC, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014 32p

NOGUEIRA, L. C. **Estabilidades de Taludes Utilizando Muros de Gabião**. 2016. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

OLIVEIRA, H. R. **Gerenciamento da integridade de dutos: proposta de abordagem aos riscos geotécnicos em gasodutos de transmissão**. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OLIVEIRA, M. A. T. *Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas*. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (organização). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 57-99p.

PEREIRA, A. C. de A. Sistemas de drenagens em obras de contenções de taludes. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017. 56f. il.

PEREIRA, M. V. G. Emprego de tirantes para diminuição dos deslocamentos em contenção executada em solo grampeado. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

PETROBRÁS: Imprensa. Publicado em 11 de junho de 2010. Disponível em: https://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=8576 [Consultado em: 11/10/2021].

Pinto, R.C; Passos, E.; Caneparo, S.C. Movimentos de massa como processos naturais de evolução das encostas, estudo de caso: bacia do Rio Jacareí, municípios de Morretes e Paranaguá –PR. Geoinf: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, v. 6, n. 1, p. 23-45, 2014|ISSN 2175-862X

PINTO, S. A. F. *Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: Contribuição Metodológica*. São José dos Campos, INPE, 1991.

POLIZEL, S. P. *Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a avaliação da expansão urbana no município de Duque de Caxias (RJ) como subsídio ao monitoramento de dutos: trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro-Belo Horizonte*. 2011.

PORTER, M.; LOGUE, C.; SAVIGNY, W.; ESFORD, F.; BRUCE, I. *Estimating the influence of natural hazards on pipeline risk and system reliability*. In: **INTERNATIONAL PIPELINE CONFERENCE**, 5th., 2004, Calgary. Proceedings... Calgary-CA: American Society of Mechanical Engineers, 2004. p. 1-9.

RIFFEL, Eduardo Samuel; GUASSELLI, Laurindo Antonio; BRESSANI, Luiz Antonio. Desastres associados a movimentos de massa: Uma revisão de literatura. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 285-305, 2016.

ROCHA, José Cláudio. *A Reinvenção Solidária e Participativa da Universidade: Um Estudo sobre Redes de Extensão Universitária*. EDUNEB: Salvador, 2008.

ROCKETT, G. C. Transformações na Paisagem Geográfica com a Implantação de Dutos: Analogia com Carrodutos para Sequestro Geológico de CO₂. **Monografia do curso de Geografia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**, 2008.

RUSSO, J. W. *Hidrologia Aplicada e Projeto de Drenagem para Faixas de Dutos*, Rio de Janeiro, 2011.

SANTANA, R. G. (2006), *Análise de soluções de engenharia para estabilização de encostas ocupadas na Região Metropolitana do Recife – PE, Estudo de caso: Ruptura ocorrida em encosta com ocupação desordenada na UR 2, Ibura*. (Dissertação de Mestrado) UFPE, Recife-PE.

SANTOS, F. M. *Estudo de Caso como Ferramenta Metodológica*. **Revista Meta: Avaliação**, [S.l.], v. 3, n. 9, p. 344 - 347, dec. 2011. ISSN 2175-2753.

SANTOS, Luana Maria dos. *Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização*. 2015.

SILVA, A. F. P. et al. *Desenvolvimento de um programa de cálculo automático de estabilidade de taludes pelo método de Correia*. 2010.

SILVA, Rúben Alberto Fernandes da. **Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes**. 2014. Tese de Doutorado.,

SOUTO, Alana Ribeiro et al. *Aplicação de material geossintético em drenagem vertical: estudo de caso em obra na cidade de Cuiabá, MT*. 2014.

SOUZA, A. P. L. **Estudos geotécnicos e de estabilidade de taludes da encosta do Alto do padre Cícero no município de Camaragibe-PE**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

TELLES, A.C. de M. Análise de estabilidade de um talude rompido na rodovia RJ130, Teresópolis, RJ. TCC, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. 63p

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. Balanço hídrico. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo**, 2005.

TOMINAGA, L. K., FERREIRA, C. J., VEDOVELLO, R., TAVARES, R., SANTORO, J., & SOUZA, C. D. G. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas. **Cartografia Geotécnica e Ambiental-Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade. São Paulo: ABGE**, p. 205-216, 2004.

TRANSPETRO: Notícias. Disponível em: <http://transpetro.com.br/transpetro-institucional/noticias/alcancamos-resultados-historicos-em-2020.html> [consultado em 05/11/2021].

TRANSPETRO: Quem somos. Disponível em: <http://transpetro.com.br/transpetro-institucional/quem-somos.html> [consultado em 05/10/2021].

VECTRA ENGENHARIA: Empresa. Disponível em: <https://www.vectraengenharia.com.br/index.php#empresa> [Consultado em: 12/10/2021].

WOLLE, C. M. (1972) Taludes naturais – mecanismos de estabilização e critérios de segurança. (Dissertação de Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

YIN, R. K. *Estudo de Caso - Planejamento e Método* 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

ZAIDAN, R. T., FERNANDES, N. F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência-Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, 2009.

ZANARDO, B. F. **Análise de Estabilidade de Taludes de Escavação em Mina de Bauxita**. 2014. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.