

Influência do sistema de falhas da barra na ocorrência de movimentos de massa na região metropolitana da Cidade de Salvador, Bahia

Influence of the barra fault system on the occurrence of mass movements in the metropolitan region of Salvador, Bahia

Isaias Leal dos Santos Fernandes¹ , Luiz César Corrêa-Gomes¹ , João Paulo Hora Carneiro¹ 

¹ Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Rua Barão de Jeremoabo, s/n, CEP: 40170-290, Ondina, Salvador, BA, BR. (isaiasfernandes99@gmail.com; lccgomes@gmail.com; jp_hora@hotmail.com)

Recebido em 09 de abril de 2025; aceito em 10 de setembro de 2025.

RESUMO

Os movimentos de massa são eventos recorrentes e preocupantes em Salvador, localizado no Nordeste do Brasil, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas e com infraestrutura precária. A cidade, cuja topografia é influenciada por sistemas de falhas transversais e longitudinais, incluindo o Sistema de Falhas da Barra (SFB), enfrenta desafios devido ao crescimento populacional desordenado e às condições climáticas. Essas características resultam em frequentes deslizamentos de massa, expondo a população e suas habitações a riscos. Embora estudos prévios tenham contribuído para a compreensão da estrutura, geologia e geomorfologia da cidade, ainda há uma lacuna específica quanto à influência direta do SFB na geração e controle de movimentos de massa em encostas. Este estudo analisou as características geométricas e cinemáticas do SFB, com foco na identificação de descontinuidades em taludes naturais e nos mecanismos de instabilidade, como deslizamento planar, deslizamento em cunha e tombamento. O método incluiu a análise de lineamentos estruturais com projeção estereográfica *Schmidt-Lambert* e levantamento de dados morfoestruturais para identificar áreas potencialmente instáveis. Os resultados destacaram que o SFB exerce influência na orientação de descontinuidades críticas, com maior suscetibilidade a deslizamentos planares e em cunha, especialmente em taludes com interseções de famílias estruturais compatíveis com a direção da falha. Observou-se também uma correlação entre áreas de alta densidade de lineamentos e maior incidência de deslizamentos reportados. Por outro lado, o mecanismo de tombamento não apresentou pontos críticos de instabilidade nos cenários analisados. Este estudo fornece subsídios técnicos para a gestão de infraestrutura urbana e habitacional, além de contribuir para a implementação de políticas públicas voltadas à segurança das populações mais vulneráveis de Salvador.

Palavras-chave: Análise cinemática; Falhas transversais; Instabilidade de taludes; Riscos.

ABSTRACT

Mass movements are recurring and concerning events in Salvador, located in Northeastern Brazil, especially in densely populated urban areas with precarious infrastructure. The city, whose topography is influenced by transverse and longitudinal fault systems, including the Barra Fault System (BFS), faces challenges due to disorganized population growth and climatic conditions. These characteristics result in frequent mass movements, exposing the population and their homes to hazard. Although previous studies have contributed to the understanding of the city's structure, geology, and geomorphology, there is still a specific gap regarding the direct influence of the BFS on the generation and control of mass movements on slopes. This study analyzed the geometric and kinematic characteristics of the BFS, focusing on identifying discontinuities in natural slopes and instability mechanisms, such as planar sliding, wedge sliding, and toppling. The method included the analysis of structural

lineaments using Schmidt-Lambert stereographic projection and a survey of morphostructural data to identify potentially unstable areas. The results highlighted that the BFS influences the orientation of critical discontinuities, with greater susceptibility to planar and wedge slides, especially on slopes with intersections of structural families compatible with the fault's direction. A correlation was also observed between areas with a high density of lineaments and a higher incidence of reported landslides. On the other hand, the toppling mechanism did not present critical points of instability in the analyzed scenarios. This study provides technical support for the management of urban and housing infrastructure, in addition to contributing to the implementation of public policies aimed at the safety of the most vulnerable populations in Salvador.

Keywords: Kinematic analysis; Transverse faults; Slope instability; Hazards.

INTRODUÇÃO

A cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, destaca-se no cenário urbano brasileiro não apenas por sua importância histórica e cultural, mas também pelos desafios geológicos e geomorfológicos que enfrenta. Com uma densidade populacional estimada em 3.486,49 habitantes/km², Salvador destaca-se como uma cidade altamente povoada. Esse índice é derivado de uma população de 2.417.678 habitantes distribuídos por uma área total de 693,44 km² (IBGE, 2022).

Um estudo divulgado pelo IBGE em 2018 revelou que, em 2010, Salvador tinha o maior contingente populacional vivendo em áreas de risco no Brasil, totalizando 1.217.527 habitantes, o que correspondia a 45,5% da população municipal. As características geomorfológicas de Salvador, como a presença de morros e vales, aliadas ao crescimento desordenado, fazem com que a capital baiana figure entre as cidades com maior população em risco de desastres naturais, como deslizamentos de terra e alagamentos. Segundo o IBGE (2018), as áreas mais suscetíveis a desastres naturais, como deslizamentos de terra e alagamentos, são geralmente ocupadas por populações em situação socioeconômica mais precária, o que contribui para o aumento da vulnerabilidade desses grupos.

Conforme o IPT (2007), ocupações urbanas desordenadas em encostas rochosas expõem blocos e maciços rochosos através de cortes antrópicos, criando condições ideais para instabilização progressiva. Nesses contextos, a combinação de:

- (i) descontinuidades pré-existentes (fraturas, falhas);
- (ii) ângulo de atrito do solo residual;
- (iii) ação antrópica (cortes em encostas para construção); e
- (iv) saturação por águas pluviais deflagra movimentos de massa.

Atualmente, o conhecimento sobre a influência das estruturas rúpteis nos movimentos de massa em Salvador é limitado, especialmente no que diz respeito ao Sistema

de Falhas da Barra (SFB). Embora já existam algumas contribuições relevantes, como os trabalhos de Milhomem et al. (2003), Souza (2008), Pinto et al. (2010), Rigaud et al. (2019) e Carneiro et al. (2023), a maior parte dessas pesquisas está voltada à caracterização tectônica regional e à compartimentação das bacias do Recôncavo e de Camamu. Há, portanto, uma lacuna importante no entendimento sobre como esse sistema de falhas atua na geração ou condicionamento de deslizamentos de terra em ambientes urbanos, principalmente em áreas como Ondina e Rio Vermelho, marcadas por relevo acidentado e densa ocupação urbana.

Além disso, poucos estudos buscaram integrar os dados estruturais regionais com análises geotécnicas e observações de campo voltadas especificamente à instabilidade de taludes em áreas urbanas sob influência direta do SFB. Trabalhos como os de Torre (2020) e Carneiro et al. (2023) já apontaram que a orientação e geometria das fraturas em taludes rochosos da cidade podem favorecer mecanismos de ruptura como tombamento, deslizamento planar e em cunha, mas ainda é necessária uma investigação mais aprofundada que relacione esses padrões às estruturas herdadas do SFB.

A abordagem metodológica adotada neste estudo priorizou técnicas para a análise de instabilidade em maciços rochosos. A extração manual de lineamentos estruturais no modelo digital de elevação (MDE) e na ortoimagem, associada à análise cinemática por meio de estereogramas, permite correlacionar padrões estruturais locais e regionais às direções e tipos de ruptura dos taludes. A escolha por essa metodologia justifica-se pela sua eficácia em terrenos com expressivo fraturamento e pela compatibilidade com estudos similares voltados à análise de taludes em ambientes urbanos (Torre, 2020; Carneiro et al., 2023; Menezes e Corrêa-Gomes, 2023). A integração entre dados de sensores remotos, observações de campo e análises geomecânicas possibilita avaliar o condicionamento estrutural das rupturas e identificar os mecanismos mais recorrentes de instabilidade

Diante disso, este estudo tem como objetivo investigar a influência do SFB no condicionamento de movimentos de massa em Salvador, por meio da integração de dados estruturais, geológicos e geotécnicos, focando em três mecanismos de ruptura em taludes rochosos: deslizamento planar, em cunha e tombamento. Este estudo pode orientar a adoção de políticas públicas que visam minimizar os riscos iminentes dos movimentos de massa, protegendo as comunidades mais vulneráveis que residem em áreas de instabilidade. Espera-se, assim, que os resultados aqui obtidos contribuam com a identificação de áreas prioritárias para ações preventivas e sirva de subsídio técnico para a gestão de infraestrutura urbana e habitacional, trazendo benefícios à segurança da população soteropolitana.

ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia Sedimentar do Recôncavo, localizada no estado da Bahia, representa uma das principais bacias do Brasil, com cerca de 11.500 km² e orientação predominantemente NE-SW. Geomorfologicamente, configura-se como um semi-gráben e está situada no contexto tectônico do Sistema de Rifte Recôncavo-Tucano-Jatobá (SRRTJ). Formada sob a influência dos esforços distensionais que promoveram a fragmentação do supercontinente Gondwana e a subsequente abertura do Oceano Atlântico durante o Eocretáceo, sua estrutura é controlada por falhas normais de borda a leste e extensões variáveis acomodadas por zonas de transferência orientadas a NW, permitindo diferentes taxas de deformação (Silva et al., 2007).

Suas delimitações estruturais incluem grandes falhas regionais (Figura 1) que influenciam sua tectônica: ao oeste, é limitada pela Falha de Maragogipe, e ao leste, pelo Sistema de Falhas de Salvador. A norte e noroeste, o limite da bacia ocorre no Alto de Aporá, que a separa da Bacia do Tucano Sul (Silva et al., 2007). Já no extremo sul, há divergências entre os autores quanto à extensão da bacia. Segundo Beisl (1996), o limite sul é definido pelo Sistema de Falhas da Barra, enquanto Figueiredo et al. (1994) sugerem que ele se estende até o Alto de Itacaré, abrangendo a Bacia de Camamu.

Na Bacia do Recôncavo, dois principais conjuntos de falhas estruturais se destacam:

- (i) falhas longitudinais, orientadas de norte a sul (Menezes e Corrêa-Gomes, 2023), englobando tanto a falha de borda flexural de Maragogipe (N000° – N010°) quanto a de borda de Salvador (N030° – N040°); e
- (ii) falhas transversais, que incluem o Sistema de Falhas da Barra (N090° – N100°) (Carneiro et al., 2023) e outras falhas de transferência (N120°). Esses padrões estruturais refletem a influência do embasamento cristalino, no qual as falhas longitudinais se alinham paralelamente às foliações principais, enquanto as falhas transversais assumem orientação ortogonal a essas foliações (Magnavita, 1992; Corrêa-Gomes e Destro, 2012).

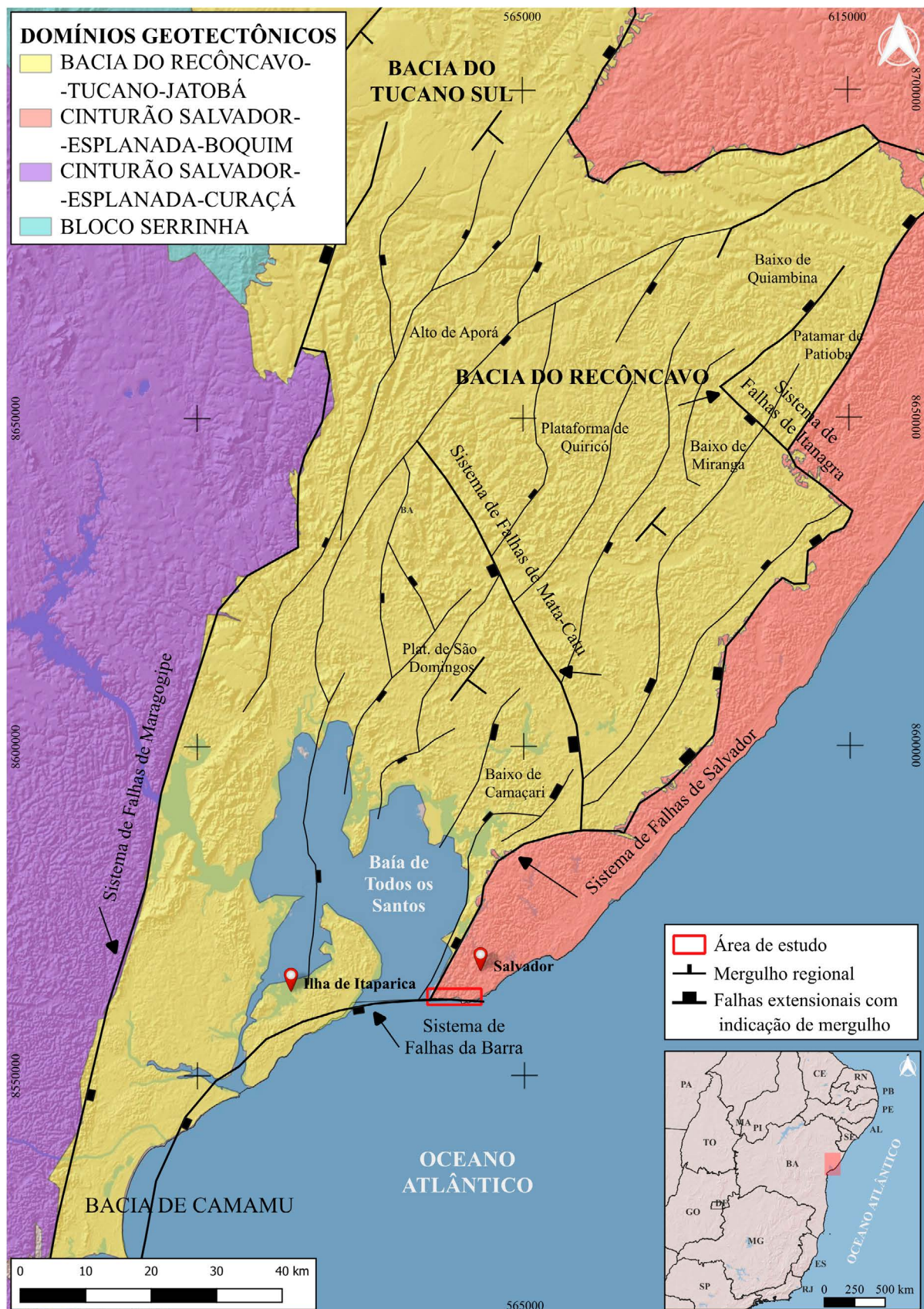
Na região de Salvador, segundo Barbosa et al. (2005), podem ser observados três domínios geológicos distintos. O primeiro é a Bacia Sedimentar do Recôncavo (cidade baixa), já descrita anteriormente. O segundo é o Alto de Salvador (cidade alta), uma estrutura arqueana paleoproterozoica composta por rochas metamórficas de alto grau, que separa a Bacia do Recôncavo do Oceano Atlântico. O terceiro é a Margem Costeira Atlântica (cidade média), de idade cenozoica, caracterizada pela presença de depósitos relativamente finos de sedimentos argilosos, arenosos e areno-argilosos, associados a afloramentos de rochas arqueanas/paleoproterozoicas do embasamento cristalino. Esses domínios, como ilustrado na Figura 2, possuem características geológicas e geomorfológicas específicas, que afetam diretamente a estabilidade geomecânica da área.

Sistema de falhas da Barra (SFB)

Esta seção tem como objetivo contextualizar o papel do SFB na gênese de discontinuidades geológicas que influenciam diretamente os mecanismos de instabilidade de taludes rochosos em Salvador. Compreender sua geometria, cinemática e expressividade estrutural é importante para interpretar os dados estruturais obtidos em campo, bem como daqueles analisados por meio de imagens de satélite e ortofoto aérea.

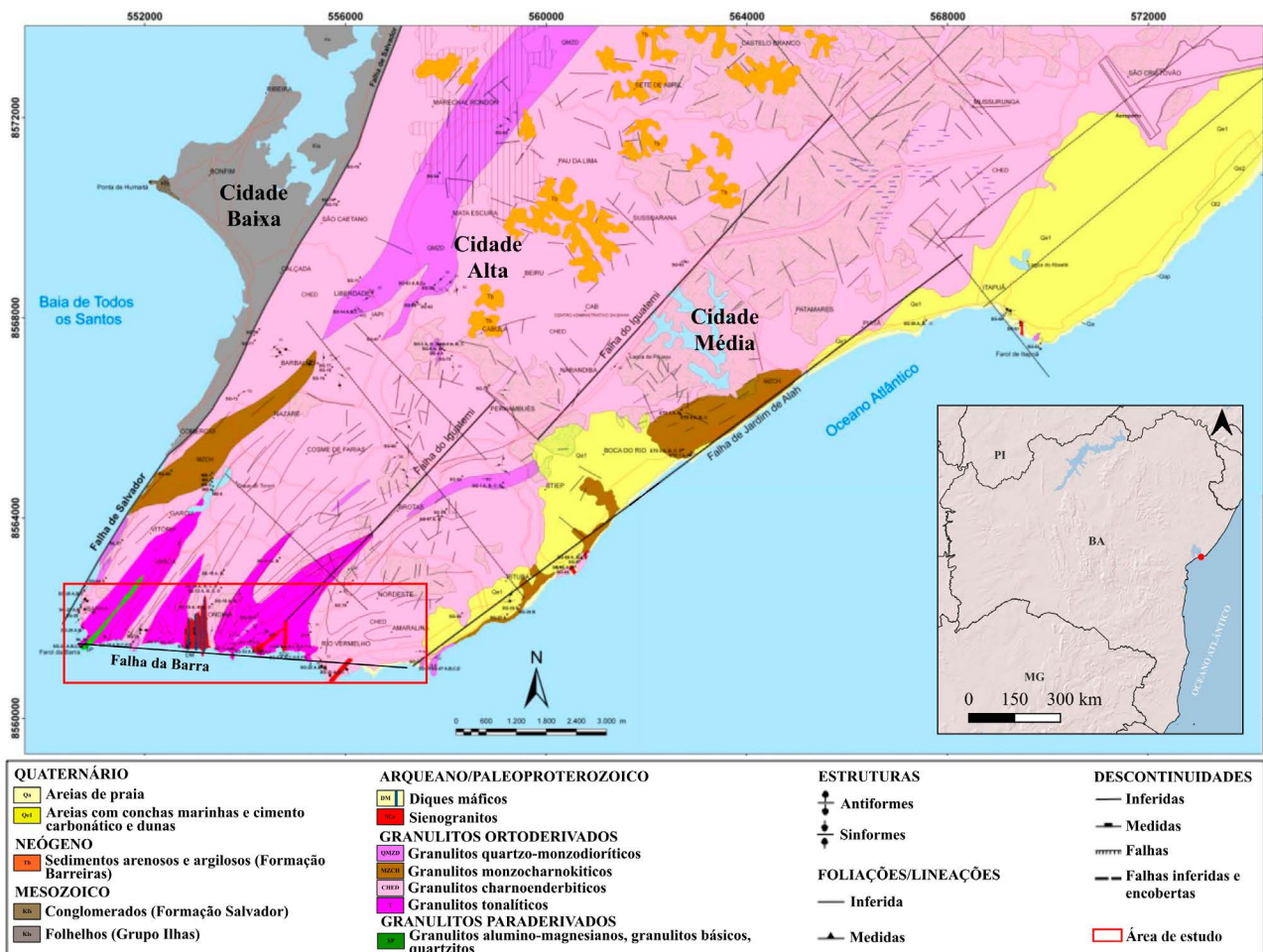
Localizado no setor sudoeste da região de Salvador, atua como um divisor estrutural e caracteriza-se por falhas e fraturas com orientações que variam entre N080° – N090°. Com mergulho em sua maioria para noroeste e cinemática predominantemente dextral a dextral-normal, refletindo movimentos transcorrentes que elevam os riscos geológicos na área (Souza, 2008). Esse sistema de falhas originou-se no contexto de rifteamento associado à separação do Gondwana, formando falhas normais de alto ângulo que influenciaram na disposição das unidades estratigráficas ao longo das bacias do Recôncavo e de Camamu (Milhomem et al., 2003).

Para caracterizar o SFB, Rigaud et al. (2019) empregaram modelos gravimétricos associados a dados sísmicos para analisar a arquitetura das sequências sedimentares e a geometria do embasamento. De acordo com os autores, o uso de modelos gravimétricos foi essencial para complementar a interpretação sísmica nas regiões de baixa resolução, permitindo a identificação mais precisa de altos e baixos estruturais ao longo da falha. Rigaud et al. (2019) destacam que o modelo gravimétrico revelou altos correspondentes a elevações no embasamento, particularmente a norte do SFB, enquanto baixos gravimétricos, localizados ao sul, indicam áreas de subsidência com maior acúmulo sedimentar, como observado na região ao sul da Ilha de Itaparica. Pinto et al. (2010) também destacaram esse comportamento em seu trabalho ao identificarem padrões de fraturamento N080° – N090° e N020° – N030° que concordam com o SFB e o Sistema de Falhas de Salvador, respectivamente. Além disso, ressaltaram a atuação do SFB como



Modificado de: Milhomem et al. (2003), com adaptações de Corrêa-Gomes e Barbosa (2018).

Figura 1. Delimitação geográfica e estrutura tectônica da Bacia do Recôncavo, destacando seus principais sistemas de falhas limitantes e domínios geológicos.



Adaptado de: Souza et al., 2010.

Figura 2. Mapa geológico de Salvador, Bahia. O mapa destaca as principais falhas geológicas, além da compartimentação entre Cidade Alta, Média e Baixa, conforme Corrêa-Gomes (2018).

uma zona limítrofe importante para a compartimentação tectônica e sedimentar entre as bacias do Recôncavo e de Camamu.

Os estudos de Rigaud et al. (2019) apontam a presença de quatro grupos principais de lineamentos estruturais, sendo dois associados ao SFB, com orientações NE-SW e ENE-WSW. No entanto, em Salvador, o padrão dominante de orientação corresponde ao intervalo N080° – N090°. A consideração das outras orientações identificadas no trabalho de Rigaud et al. (2019) permite uma visão ampliada da estrutura do SFB, reconhecendo que essas outras direções também contribuem para a configuração geral do sistema ao longo de sua extensão, ampliando a influência do SFB na ocorrência de movimentos de massa.

Parâmetros geomecânicos

O conhecimento dos parâmetros geomecânicos dos solos residuais da região é importante na avaliação da estabilidade de taludes rochosos, especialmente ao se aplicar métodos de análise cinemática que exigem dados como o ângulo

de atrito interno. Nesse contexto, na área de influência do SFB, Barbosa et al. (2005) identificaram uma variedade de granulitos ortoderivados, além de rochas metamórficas paraderivadas, diques máficos metamórficos e metamonzon-sienogranitos.

De acordo com Jesus (2008), os taludes da região são amplamente cobertos por um manto de solo residual, predominantemente latossolo vermelho-escuro, formado pelo intemperismo das rochas do embasamento cristalino. Esse solo, caracterizado por sua elevada espessura em algumas áreas, apresenta propriedades geomecânicas variáveis, influenciadas por sua heterogeneidade e anisotropia. Estudos realizados por Jesus et al. (2005) indicaram que solos residuais da região apresentam ângulos de atrito interno médios de 32,82° em ensaios realizados na umidade natural e de 27,6° em condições saturadas. Posteriormente, Jesus (2008) apontou um valor médio de 34° em ensaios conduzidos em condições não saturadas.

De forma semelhante, Maia (2018) constatou que o ângulo de atrito (ϕ) apresentou variação discreta entre as condições natural e saturada, mantendo-se entre 30,49° e

34,68°. Resultados próximos foram observados por Souza et al. (2019), que encontraram ângulos de atrito de 39° em amostras na umidade natural e de 36° em amostras saturadas, na análise de estabilidade de taludes, utilizou-se parâmetros geotécnicos similares aos encontrados na região, com ângulos de atrito de 30° e 36°, valores estes consistentes com os apresentados em estudos anteriores, e dos quais também foram adotados para a análise cinemática deste estudo.

Embora os estudos citados tenham sido realizados em solos residuais, Mello (1972) destaca que tais solos podem conservar estruturas reliquiares herdadas do maciço rochoso original, como falhas, fraturas, contatos, conferindo-lhes características geomecânicas que se assemelham às da rocha sã. Assim, a preservação dessas discontinuidades nesses solos pode justificar o uso de seus ângulos de atrito interno em modelagens cinemáticas para maciços rochosos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método empregado para a condução deste trabalho foi segmentado em três fases fundamentais: a etapa de preparação, a etapa de coleta de dados em campo e a etapa de análise pós-coleta representada na figura 3.

Etapa 1: Pré-campo

Na fase de laboratório (pré-campo), a extração manual de lineamentos morfoestruturais foi realizada no modelo digital de elevação (MDE), disponibilizado pelo *Alaska Satellite Facility (ASF)* e com espaçamento entre *pixels* de 12,5 metros, a partir de sombreamentos gerados em oito direções de iluminação diferentes (N000°, N045°, N090°, N135°, N180°, N225°, N270°, N315°). Adicionalmente, foram traçados lineamentos sobre a ortoimagem (resolução de 0,10 m) da cidade de Salvador. Esse processo foi conduzido com o auxílio do *software* QGIS 3.34.1. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *AzimuthFinder*, um *plugin* desenvolvido por Queiroz et al. (2014) para calcular informações azimutais dos lineamentos estruturais identificados previamente.

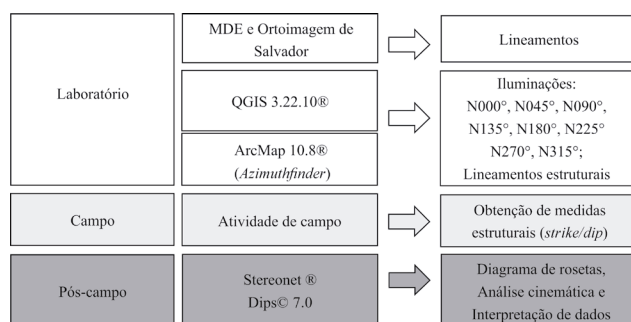


Figura 3. Representação esquemática das etapas de materiais e métodos.

Foram elaborados diagramas de rosetas para visualizar as direções, frequência e extensão dos lineamentos morfoestruturais identificados anteriormente que permitem mapear feições tectônicas e geomorfológicas, como falhas, juntas e zonas de cisalhamento, que atuam como zonas de fraqueza controlando movimentos de massa em encostas. Essas discontinuidades estruturais favorecem a concentração de instabilidades em áreas próximas a grandes lineamentos tectônicos (Crosta e Zanchi, 2000; Agliardi et al., 2001). Por fim, foram selecionados os afloramentos a serem visitados com base na proximidade com o SFB, onde a exposição de maciços rochosos é escassa devido à densa urbanização.

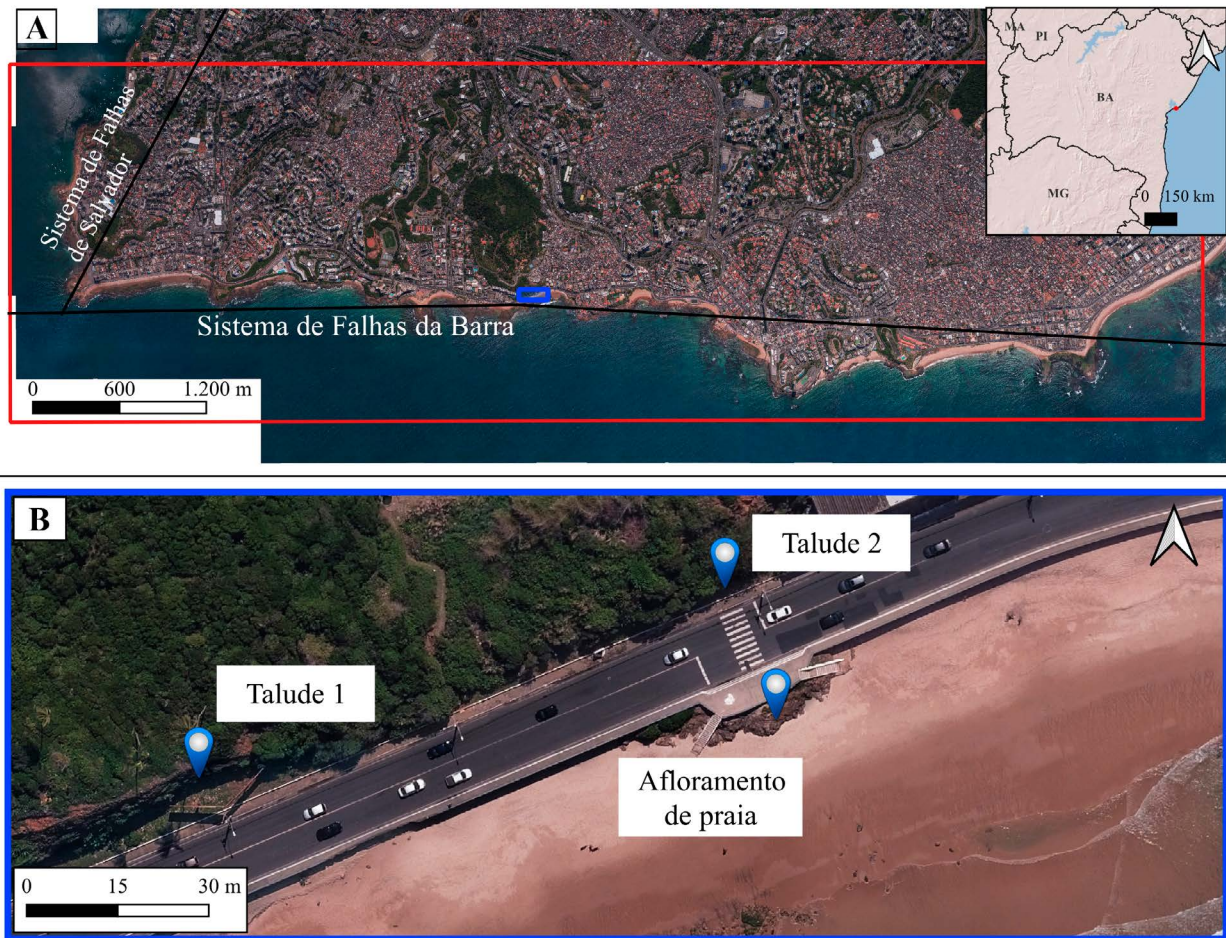
Etapa 2: Campo

Na fase de campo, foram realizadas aquisições de medidas planares (*strike/dip*) nos taludes (1 e 2) próximo ao Condomínio Vila do Mar, na Avenida Oceânica, e no afloramento costeiro da praia de Ondina (Figura 4). A orientação dos afloramentos foi medida em campo como a direção da face exposta (N070°) mas para a análise cinemática, adotou-se a convenção geológica padrão da regra da mão direita, convertendo a direção do talude no *strike* do plano estrutural (160°). O mergulho utilizado, também medido em campo, foi de 80°.

Segundo Wyllie e Mah (2004), o deslizamento planar ocorre em uma única superfície de discontinuidade inclinada para dentro da escavação, cuja orientação é aproximadamente paralela à face do talude, variando dentro de um limite lateral de $\pm 20^\circ$ em relação ao rumo do talude. Este intervalo angular, proposto inicialmente por Hoek e Bray (1981), considera que, dentro dessa faixa, há uma maior probabilidade de formação de blocos instáveis ao longo de planos de liberação, ou seja, discontinuidades que permitem a separação do bloco rochoso da encosta. Estudos mais recentes, como o de Yang et al. (2024), reforçam esse critério ao demonstrar que o ângulo limite lateral está diretamente relacionado à probabilidade de formação de um bloco de ruptura planar, sendo um importante parâmetro na análise cinemática baseada em planos de liberação.

O mecanismo de tombamento é caracterizado pela rotação de blocos de rocha em torno de uma base fixa e ocorre em encostas ou taludes íngremes com discontinuidades verticais ou subverticais. Esse mecanismo é desencadeado pelo desconfinamento dessas discontinuidades, geralmente causado por cortes ou mudanças na geometria do talude, levando à inclinação e ao deslocamento dos blocos rochosos (Wyllie e Mah, 2004). Para a análise do tombamento, adotou-se um limite lateral de 10° (Glastonbury e Fell, 2000), uma escolha que, embora considerada mais conservadora, limita a abrangência da avaliação.

Ainda segundo Yang et al. (2024), esse ângulo limite lateral também é aplicável à análise de tombamento, que depende da existência de discontinuidades subverticais



Fonte da ortoimagem: Prefeitura Municipal de Salvador (resolução de 0,10 m).

Figura 4. (A) Mapa de localização da área de estudo, destacando os Sistemas de Falhas de Salvador e da Barra, com foco nos afloramentos, em (B), utilizados para aquisição das medidas estruturais no retângulo azul.

que atuam como planos de liberação. Por outro lado, para rupturas em cunha, que envolvem a interseção de dois planos de fraqueza, esse ângulo limite não se aplica, pois não há pressuposição de planos de liberação, e a instabilidade ocorre ao longo da linha de interseção que se projeta para fora da face do talude (Goodman, 1989; Zheng et al., 2016).

Para que a ruptura planar seja cinematicamente admissível, o plano de descontinuidade deve estar voltado para o talude, com direção próxima e inclinação inferior à do próprio talude, mas superior ao ângulo de atrito da descontinuidade. Já na ruptura em cunha, é necessário que a linha de interseção entre as duas descontinuidades tenha direção semelhante à do talude e um mergulho superior ao ângulo de atrito para permitir o escorregamento.

Embora a faixa angular de $\pm 20^\circ$ seja amplamente aceita na literatura clássica e ainda adotada em estudos no contexto brasileiro (Torre, 2020), Yang et al. (2024) apontam que esse valor pode ser ajustado conforme a classe de importância do talude. Taludes de maior relevância geotécnica, por exemplo, podem utilizar um valor menor e mais conservador, enquanto estruturas secundárias podem adotar limites mais amplos, desde que justificados.

Etapas 3: Pós-campo

Por fim, na etapa de pós-campo, os dados coletados foram utilizados para a análise cinemática segundo os seguintes mecanismos de ruptura: deslizamento planar, mecanismo de tombamento e deslizamento em cunha. Foi utilizado o *software* Dips versão 7.0 para interpretação dos resultados, de modo que importou-se os dados, incluindo a orientação do afloramento e os ângulos de atrito (ϕ) utilizados (30° e 36°), os quais foram obtidos a partir da literatura e também estimados em campo. Para isso, realizou-se um ensaio simples, no qual duas amostras de rocha do próprio afloramento com superfícies relativamente regulares foram posicionadas uma sobre a outra e inclinadas gradativamente até que a amostra superior iniciasse seu movimento, registrando-se o ângulo no qual ocorreu o deslocamento.

Por fim, especificou-se o tipo de movimento de massa a ser investigado (deslizamento planar, deslizamento em cunha e mecanismo de tombamento), com base na classificação tradicional proposta por Hoek e Bray (1981), que reconhece essa tríade como fundamental na análise de taludes rochosos. Além disso, segundo Torre (2020), a maioria

das rupturas em taludes rochosos pode ser classificada em quatro modos principais: planar, em cunha, por tombamento e rupturas sem padrão estrutural. Neste estudo, optou-se por focar nos três primeiros tipos por estarem diretamente associados à presença e orientação de descontinuidades, que foram devidamente mapeadas e analisadas no campo. Esses mecanismos são os mais relevantes do ponto de vista cinemático quando se consideram instabilidades estruturais em maciços rochosos com expressivo fraturamento, como os observados na área de estudo.

A análise cinemática foi conduzida de forma individual para cada afloramento, permitindo uma avaliação mais precisa das condições locais, posteriormente, os dados foram integrados para uma análise conjunta e através do programa foi possível identificar os planos que podem causar instabilidade nos taludes. Apesar de um dos afloramentos estar localizado em uma área de praia, sua proximidade com um dos taludes investigados justificou a coleta de medidas, considerando que algumas estruturas poderiam ser mais difíceis de identificar diretamente no talude devido à sua orientação aproximadamente paralela ao SFB. Os dados de entrada estão dispostos na tabela 1.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Lineamentos estruturais

Foram delineados lineamentos estruturais em oito direções de iluminação distintas no MDE. Os diagramas de rosetas gerados apresentam as distribuições de frequência e comprimento dos lineamentos, com destaque para as orientações predominantes. Na Figura 5A, observa-se a junção dos lineamentos mapeados a partir das diferentes direções de iluminação, refinados para evitar a repetição de feições redundantes, proporcionando uma representação mais precisa da organização estrutural. Os diagramas de roseta de frequência e de comprimento indicam uma predominância

de lineamentos na direção N090° – N100°, evidenciada pelos 343 lineamentos traçados na área de estudo.

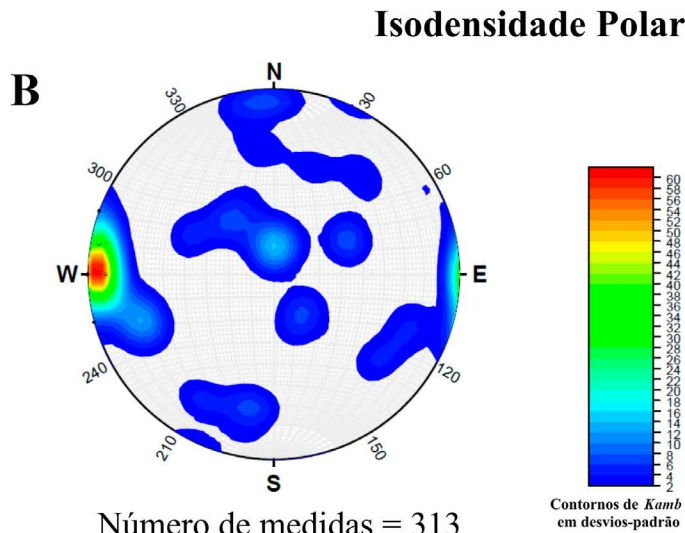
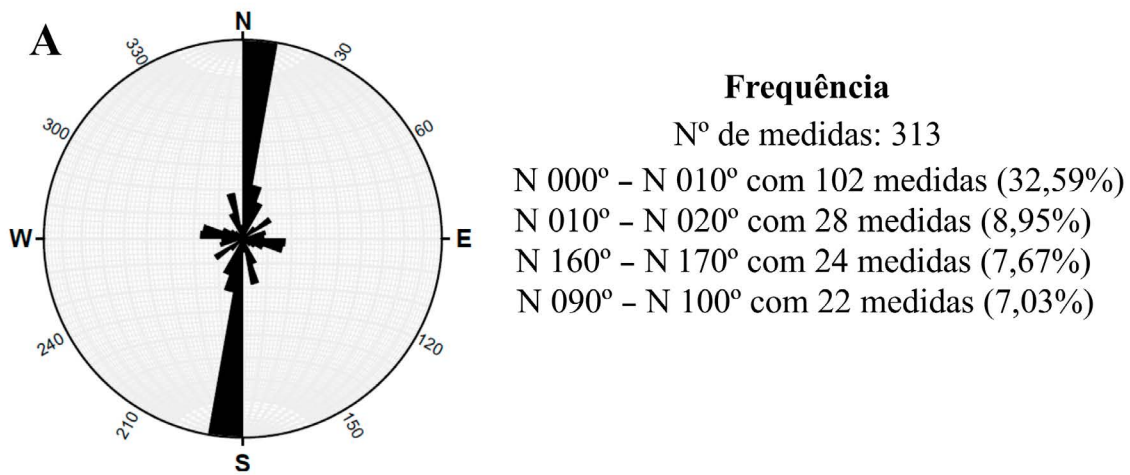
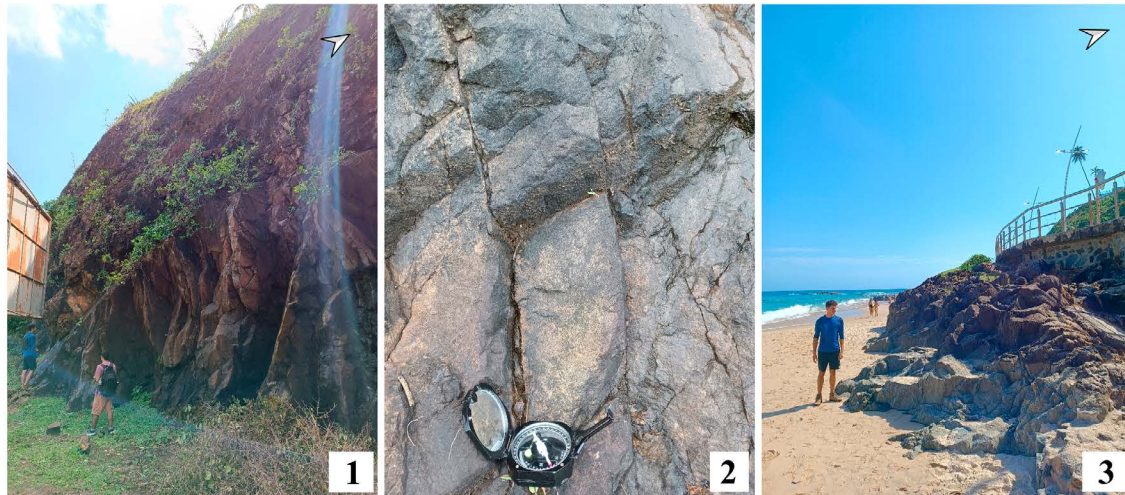
Lineamentos foram traçados manualmente sobre a ortoimagem da cidade de Salvador, datada de 2017, inseridos na área de estudo. Esses traçados, apresentados em azul (Figura 5B), são acompanhados por diagramas de roseta que sintetizam os dados obtidos, incluindo frequência, número de medidas e comprimento total. A análise revelou que a direção predominante em frequência é N160°, enquanto em comprimento a maior expressividade ocorre em N070°, evidenciado pelos 313 lineamentos traçados. A predominância da direção N160° pode estar relacionada à intrusão de diques tabulares metamorfizados com a mesma orientação, conforme descrito por Moraes Brito (1992). Esses diques, subverticais a verticais, possuem foliação marcada por biotita e hornblenda e são interpretados como resultado de eventos tectônicos paleoproterozoicos (1,5 Ga) (Mascarenhas et al., 1986), reforçando a influência da herança estrutural na organização dos lineamentos mapeados.

Os mapas resultantes, apresentados na figura 6, integram os lineamentos estruturais totais traçados manualmente com os dados de ameaças e ocorrências de deslizamentos de terra, dos tipos translacionais (planares) e rotacionais (circulares), fornecidos pela CODESAL. Foram elaborados dois mapas distintos: um mapeando os pontos de ameaças de deslizamentos e outro representando as ocorrências propriamente ditas. Ambos os mapas classificam os pontos conforme o grau de risco atribuído pela CODESAL, categorizando-os em "sem risco", "baixo", "médio", "alto" e "muito alto", permitindo assim uma análise espacial detalhada, associando padrões estruturais às áreas com maior suscetibilidade a deslizamentos de terra.

Pode-se observar que a maioria dos deslizamentos e ameaças de terra identificados pela CODESAL ocorrem em áreas com maior índice de lineamentos. Esses eventos são mais frequentes nos bairros de Engenho Velho da Federação, Federação e Rio Vermelho. Como exemplo

Tabela 1. Parâmetros e referências utilizados na análise cinemática dos afloramentos, incluindo tipos de mecanismos de ruptura, ângulos de atrito, limites laterais, rede estereográfica e hemisfério adotado.

| Dados | Origem/Descrição | Referências |
|--------------------------------|--|--|
| Tipos de mecanismos de ruptura | Deslizamento planar, deslizamento em cunha e mecanismo de tombamento | Wyllie e Mah (2004) |
| Ângulo de atrito (ϕ) | 30° e 36° | Souza et al. (2019) Maia (2018) |
| Limite lateral | Deslizamento planar: 20° Mecanismo de tombamento: 10° | Wyllie e Mah (2004) Glastonbury e Fell (2000) Yang et al. (2024) |
| Rede estereográfica | Igual-área ou <i>Schmidt-Lambert</i> | Wyllie e Mah (2004) |
| Hemisfério | Inferior | Wyllie e Mah (2004) |



Fonte das imagens: MDE ALOS PALSAR com espaçamento entre *pixels* de 12,5 m (*Alaska Satellite Facility – ASF*); ortoimagem com resolução de 0,10 m (Prefeitura Municipal de Salvador).

Figura 5. Em (A) lineamentos estruturais totais traçados e refinados manualmente no MDE, acompanhados pelos diagramas de roseta que apresentam as distribuições de frequência e comprimento, além do número de medidas e comprimento total. Em (B) lineamentos traçados sobre a ortoimagem da cidade de Salvador, 2017. Para melhor compreensão da distribuição dos lineamentos, são apresentados quatro recortes aproximados: 1) Museu Náutico da Bahia - Farol da Barra, 2) Morro do Cristo, 3) Praia da Paciência e 4) Monte Conselheiro - Rio Vermelho.

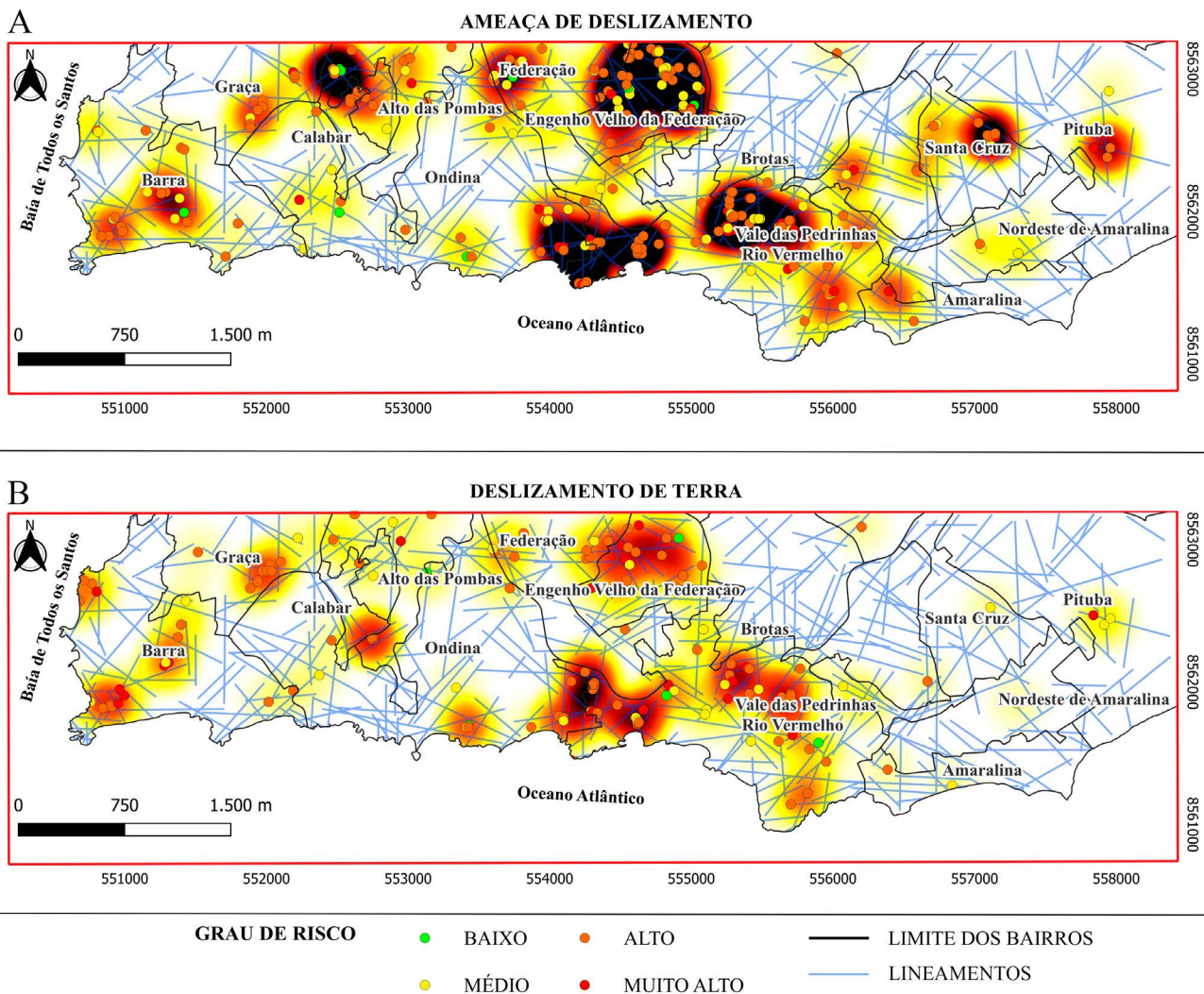


Figura 6. Mapas de calor das ameaças e ocorrências de deslizamentos de terra, dos tipos translacional e rotacional, elaborados com dados disponibilizados pela CODESAL integrados com os lineamentos estruturais totais.

prático, na visita de campo encontramos evidências de deslocamentos de rocha no talude, que indicam sinais de instabilidade ativa.

Análise cinemática

Foram realizadas 313 medições nos planos de fratura em dois taludes com orientação N070° (Figura 7) e num afloramento de praia, localizados na região de Ondina. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 8, composta por: a) Diagrama de roseta e b) Diagrama de isodensidade polar.

A análise estrutural realizada aponta para a predominância de lineamentos longitudinais orientados na direção norte-sul, refletindo as características gerais das descontinuidades estruturais observadas em campo. No entanto, o modelo digital de elevação (MDE) destaca uma significativa contribuição de lineamentos com orientação leste-oeste, sugerindo a influência de falhas transversais, como a Falha da Barra, associadas ao Sistema de Falhas da Barra Recôncavo (SFBR). De acordo

com Carneiro et al. (2023), descontinuidades com orientações leste-oeste, como N090°/70°N e N090°/70°S, são particularmente suscetíveis a mecanismos de instabilidade em taludes rochosos na cidade de Salvador. Desse modo, a interação entre lineamentos longitudinais e transversais ressalta a consideração de ambas as famílias estruturais na avaliação de riscos geotécnicos na região de estudo.

Taludes com orientação aproximada de N090° – N100°, como os observados nos afloramentos deste estudo, podem apresentar maior suscetibilidade a escorregamentos planares, sobretudo quando há descontinuidades paralelas à face do talude, como o plano N090°/75°S, cujo mergulho é favorável ao deslizamento.

Os riscos de movimentos analisados incluíram deslizamento planar, mecanismo de tombamento e deslizamento em cunha. No caso do deslizamento em cunha, os pontos críticos foram identificados na intersecção dos planos dentro da área de instabilidade.

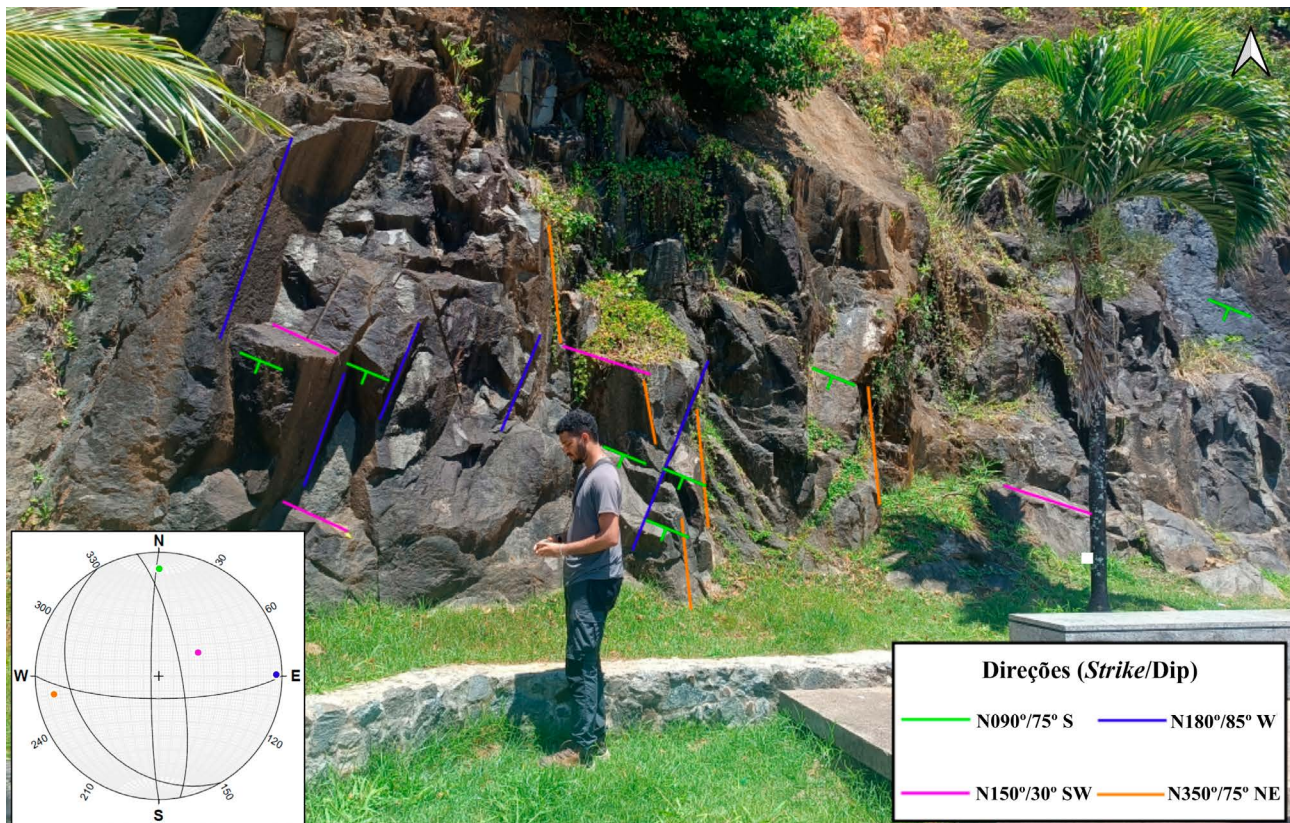


Figura 7. Fotografia do Talude 2 destacando os principais planos de fraturas medidos no afloramento (N090°/75° S, N180°/85° W, N150°/30° SW e N350°/75° NE) e suas representações na rede estereográfica com seus respectivos polos.

Deslizamento planar

A análise cinemática total de deslizamento planar para o ângulo de atrito de 30° (Figura 9A) revelou que, dos 313 planos de fraturas analisados, 19 (6,07%) foram classificados como críticos, indicando uma baixa proporção de descontinuidades com potencial instabilidade geral. No entanto, o conjunto específico de descontinuidades da família 9m (N055°/31°SE) apresentou criticidade total, com todas as 12 descontinuidades analisadas classificadas como instáveis (100%).

A análise cinemática de deslizamento planar para o ângulo de atrito de 36° (Figura 9B) indicou que apenas 7 dos 313 planos analisados (2,24%) foram classificados como críticos, evidenciando uma redução no número de descontinuidades potencialmente instáveis em comparação com o ângulo de 30°. Esses resultados sugerem que, com um maior ângulo de atrito, a estabilidade geral do talude aumenta.

No caso do talude 1 (Figuras 9C, 9D), a análise cinemática realizada demonstrou que a variação do ângulo de atrito (30° e 36°) para o mecanismo de deslizamento planar, não influenciou os resultados, permanecendo idênticos para ambos os valores. Foram identificados 7 pontos críticos, correspondendo a 5,19% do total de 135 planos de fraturas analisados. Dentro do conjunto específico correspondente a família 7 (N085°/55°S), 5 pontos foram classi-

ficados como críticos, representando 100% das ocorrências críticas desse conjunto.

Para o talude 2 (Figuras 9E, 9F), a análise dos 119 planos de fraturas não revelou pontos críticos para nenhum dos ângulos de atrito considerados (30° e 36°). No entanto, a família 2m (N086°/80°S) apresentou parte de seus polos dentro da região de instabilidade do diagrama de estereograma. Ainda assim, o *software* Dips© não classificou essa família como crítica nos critérios adotados, sugerindo que sua geometria pode estar ligeiramente fora dos limites estabelecidos para o deslizamento planar ou que o critério de ângulo de atrito influencia sua estabilidade. De todo modo, sua posição no diagrama indica que essa família merece uma atenção especial.

No caso do afloramento da praia, com um ângulo de atrito de 30° (Figura 9G), foram identificados 12 pontos críticos, correspondendo a 19,67% do total de 61 planos de fraturas, sendo todos associados à família 2 (N055°/31°SE). No entanto, ao aumentar o ângulo de atrito para 36° (Figura 9H), nenhum ponto crítico foi identificado.

Mecanismo de tombamento

A análise de cada afloramento não identificou descontinuidades que pudessem gerar pontos críticos de instabilidade nos taludes, resultado que se manteve para ângulos de atrito de 30° e 36°. A integração dos dados confirmou essa

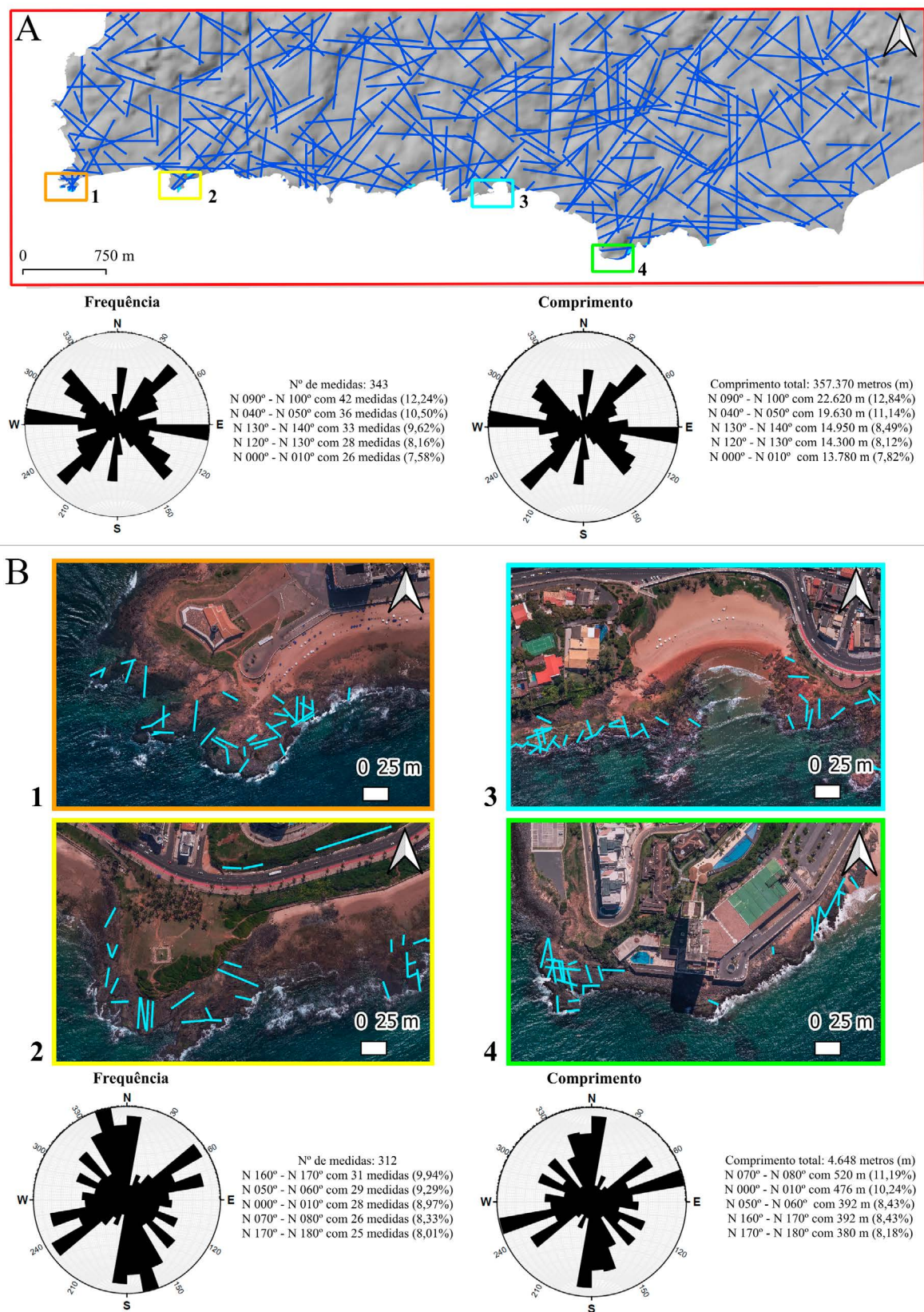


Figura 8. Fotografias e análises estruturais realizadas durante as atividades de campo. (1) Visão geral do Talude 1 com orientação aproximada N070°; (2) Detalhe das fraturas com direção predominante N000° do Talude 1; (3) Afloramento rochoso na praia de Ondina com orientação aproximada N-S. (A) Diagrama de roseta representando a frequência das fraturas medidas em campo. (B) Diagrama de isodensidade de frequência polar utilizando contornos *Kamb*, com densidades contornadas em intervalos de desvio padrão e suavização de irregularidades estatisticamente insignificantes (Marshak e Mitra, 1988). Nota-se que a maior densidade dos pólos está localizada a Oeste, logo as fraturas mais frequentes medidas em campo mergulham para Leste.

conclusão, indicando que o mecanismo de tombamento não ocorre devido à ausência de descontinuidades verticais, como ilustrado na figura 10.

Deslizamento em cunha

A análise cinemática total para deslizamento em cunha com ângulo de atrito de 30° (Figura 11A) indicou que, dentre as 45 interseções avaliadas no total, 11 foram classificadas como críticas, representando 24,44% do total. Considerando a interseção de planos em diferentes conjuntos, 16,74% das interseções totais foram classificadas como críticas em relação a ambos os planos (Crítico 1), enquanto 4,96% apresentaram criticidade em relação a um único plano (Crítico 2), em um total de 45.088 interseções analisadas. O destaque recai sobre algumas combinações específicas de conjuntos de planos, como a 2m x 4m e 3m x 4m, que mostraram maior proporção de interseções críticas, atingindo 76,15% e 100%, respectivamente, para o parâmetro Crítico 1.

A análise cinemática total para deslizamento em cunha com ângulo de atrito de 36° (Figura 11B) revelou que, das 45 interseções avaliadas, 7 foram consideradas críticas, correspondendo a 15,56% do total. Esses valores indicam

uma redução na suscetibilidade à instabilidade em comparação com o ângulo de 30° , refletindo o papel do ângulo de atrito no aumento da estabilidade do talude.

No talude 1, a análise cinemática utilizando um ângulo de atrito de 30° revelou que, dentre as 21 interseções avaliadas, 10 foram classificadas como críticas, correspondendo a 47,62% do total (Figura 11C). Essas interseções críticas foram formadas pelas seguintes combinações de famílias de descontinuidades: 1m x 5m, 1m x 6m, 1m x 7m, 3m x 5m, 3m x 6m, 3m x 7m, 5m x 6m, 5m x 7m, 6m x 7m e 4m x 7m. Quando aplicado o ângulo de atrito de 36° , 9 interseções foram identificadas como críticas, representando 42,86% do total (Figura 11D). Nesse caso, as interseções críticas correspondem às mesmas famílias identificadas no ângulo de 30° , com exceção da combinação 5m x 3m, que deixou de ser classificada como crítica, e da 4m x 7m, que passou para a zona secundária de instabilidade.

No talude 2, quando aplicado o ângulo de 30° (Figura 11E), 5 interseções foram classificadas como críticas dentre o total de 36 (13,89%). Essas interseções críticas foram formadas pelas seguintes combinações de famílias de descontinuidades: 3m x 8m, 5m x 7m, 5m x 2m, 6m x 2m e 7m x 2m. Com ângulo de atrito de 36° , 4 interseções foram

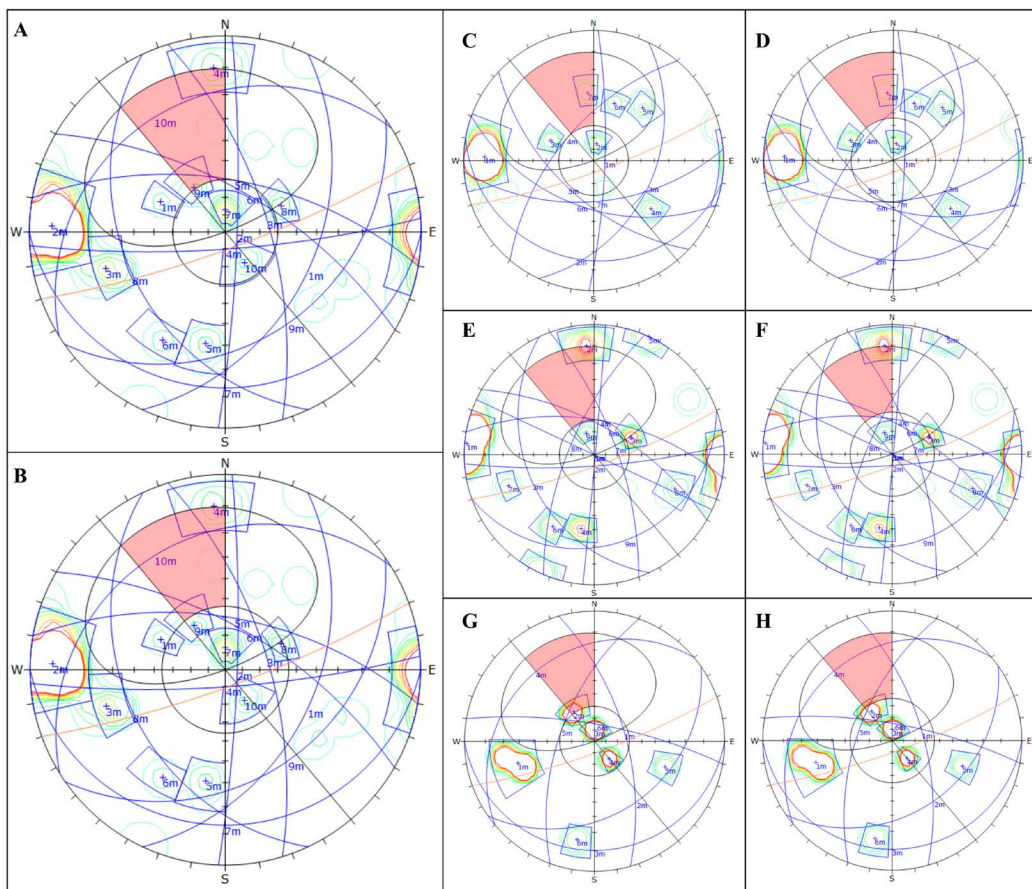


Figura 9. Redes estereográficas utilizadas para análise cinemática total de deslizamento planar. (A) com $\phi = 30^\circ$; (B) com $\phi = 36^\circ$. Diagramas estereográficos das principais descontinuidades encontradas para análise de deslizamento planar. (C) Talude 1 com $\phi = 30^\circ$; (D) Talude 1 com $\phi = 36^\circ$; (E) Talude 2 com $\phi = 30^\circ$; (F) Talude 2 com $\phi = 36^\circ$; (G) Afloramento costeiro com $\phi = 30^\circ$; (H) Afloramento costeiro com $\phi = 36^\circ$.

identificadas como críticas, representando 11,11% do total (Figura 11F). Nesse caso, as interseções críticas correspondem às mesmas famílias identificadas no ângulo de 30° , com exceção da combinação 3m x 8m, que deixou de ser classificada como crítica.

Por fim, para o afloramento de praia, quando aplicado o ângulo de 30° , temos 2 interseções críticas de 15 (13,33%) do total, sendo as combinações de famílias 1m x 2m na zona primária de instabilidade e 6m x 2m na secundária (Figura 11G). Quando utilizado o ângulo de atrito de 36° , não foram observados pontos críticos (Figura 11H).

A análise cinemática realizada demonstrou que os mecanismos de instabilidade variam significativamente entre os taludes e afloramentos avaliados, sendo fortemente influenciados pela orientação das descontinuidades, o ângulo de atrito adotado e a interação entre diferentes famílias estruturais. Embora o afloramento costeiro tenha sido incluído na análise cinemática, ele não representa um cenário típico de instabilidade em taludes. Sua inclusão visou facilitar a caracterização de famílias de descontinuidades que, no caso dos taludes, apresentaram maior dificuldade de acesso para coleta direta de dados.

Para o deslizamento planar, observou-se que no talude 1, as interseções críticas estavam concentradas na família 7 (N085°/55°S), que apresenta orientação semelhante à da falha da barra (E-W), sugerindo uma possível relação entre a estrutura geológica e a instabilidade. Essa correspondência reforça a interpretação de que o SFB condiciona descontinuidades críticas que favorecem deslizamentos planares. As descontinuidades presentes no afloramento costeiro (especialmente a família 2m, com direção N055°/31°SE) podem ser vistas como um reflexo das condições regionais, servindo como referência adicional para identificar possíveis descontinuidades críticas que seriam menos acessíveis ou observáveis diretamente nos taludes.

A análise dos deslizamentos em cunha nos taludes estudados revela interseções críticas observadas, especialmente no talude 1, onde as famílias 7m (N085°/55°S) e 6m (N110°/50°SW) representaram 80% das interseções críticas em relação ao total de combinações avaliadas que interagem com outras famílias. Da mesma forma, com a notável presença da família 2m (N086°/80°S) que apresentou 60% das interseções críticas no talude 2, indicam que planos de fraqueza com orientações próximas ao SFB são determinantes na suscetibilidade a movimentos de mas-

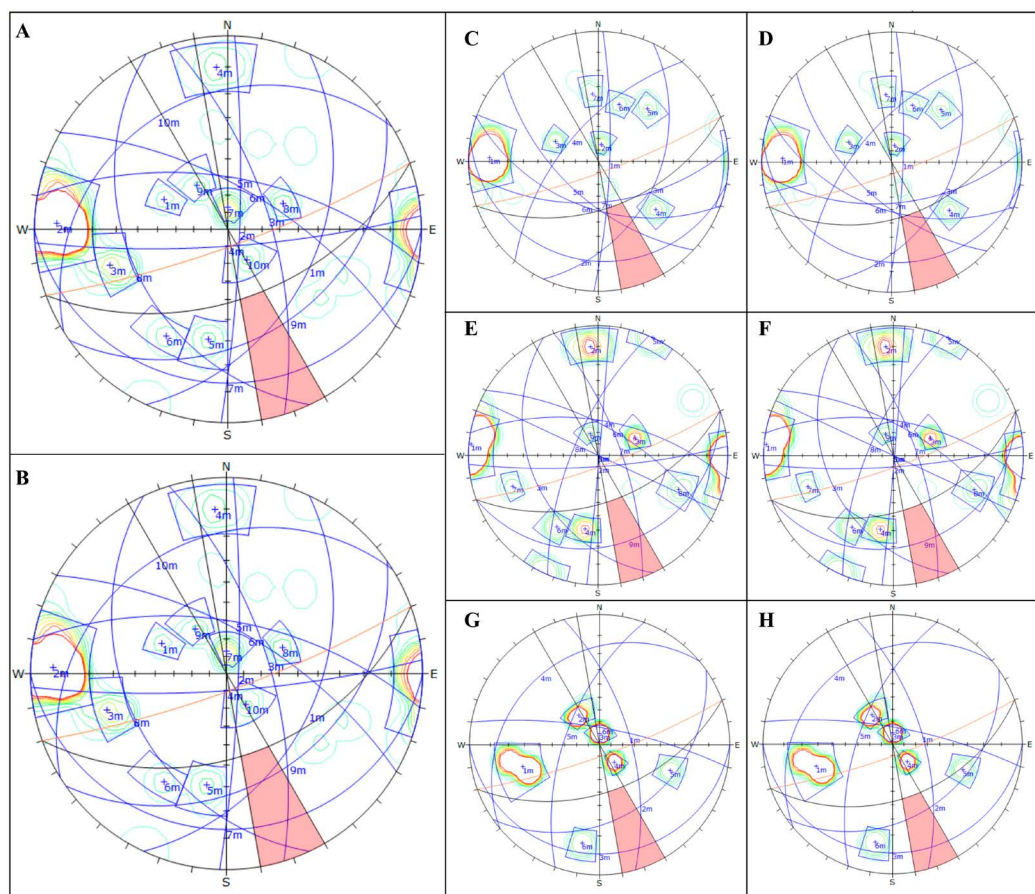


Figura 10. Redes estereográficas utilizadas para análise cinemática total do mecanismo de tombamento. (A) com $\phi = 30^\circ$; (B) com $\phi = 36^\circ$. Diagramas estereográficos das principais descontinuidades encontradas para análise de mecanismo de tombamento. (A) Talude 1 com $\phi = 30^\circ$; (B) Talude 1 com $\phi = 36^\circ$; (C) Talude 2 com $\phi = 30^\circ$; (D) Talude 2 com $\phi = 36^\circ$; (E) Afloramento costeiro com $\phi = 30^\circ$; (F) Afloramento costeiro com $\phi = 36^\circ$.

sa. Essa configuração sugere que a orientação e interação dessas descontinuidades não apenas aumentam o risco de deslizamento, mas também ressaltam a importância de considerar a tectônica local na avaliação de estabilidade dos taludes.

Por outro lado, o mecanismo de tombamento não apresentou pontos críticos de instabilidade em nenhum dos taludes ou afloramentos analisados, tanto nos ângulos de atrito de 30° quanto de 36°. Esse resultado reflete a ausência de descontinuidades verticais ou subverticais que promovam a rotação de blocos rochosos em torno de uma base fixa.

Os resultados obtidos neste estudo dialogam com trabalhos anteriores que investigaram a instabilidade de taludes rochosos na região de Salvador sob a influência do SFB. Torre (2020) analisou taludes nas regiões de Rio Vermelho e Ondina e identificou instabilidades associadas a rupturas do tipo tombamento, planar e cunha, controladas por fraturas nas direções N-S e E-W. Esses padrões estruturais, atribuídos à tectônica rúptil relacionada à abertura da Bacia do Recôncavo, coincidem com os lineamentos extraídos neste trabalho a partir do MDE e da ortoimagem, principalmente nas direções N090° – N100° e N160° – N170°. Desse modo, podemos notar que tais

estruturas exercem forte controle sobre o relevo e a orientação dos taludes, potencializando mecanismos de ruptura em áreas urbanizadas.

Além disso, Carneiro et al. (2023) destacaram a contribuição do SFB para o aumento da suscetibilidade a escorregamentos em taludes com determinadas inclinações e orientações de descontinuidades (e.g., N090°/70°S e N120°/70°SW), identificadas por esses autores como críticas para deslizamentos planares e em cunha, são compatíveis com as estruturas identificadas nos afloramentos deste estudo, como o plano N090°/75°S. A semelhança entre os padrões estruturais identificados e os resultados de análises cinemáticas anteriores reforça a ideia de que taludes com orientação próxima à direção do SFB são mais suscetíveis a rupturas quando intersectados por planos de fratura paralelos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados previamente apresentados, observa-se que a área de pesquisa é significativamente influenciada pelo Sistema de Falhas da Barra (SFB). Os lineamentos extraídos do modelo digital de elevação (MDE)

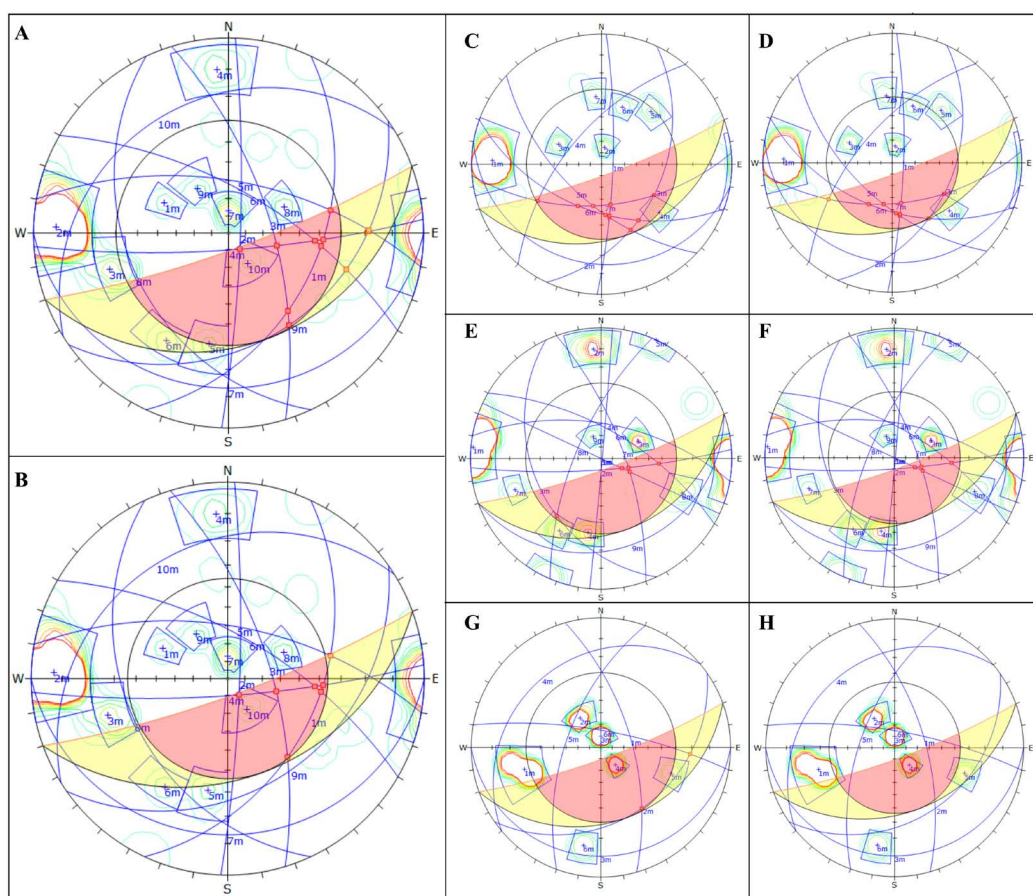


Figura 11. Redes estereográficas utilizadas para análise cinemática total de deslizamento em cunha. (A) com $\phi = 30^\circ$; (B) com $\phi = 36^\circ$. Diagramas estereográficos das principais descontinuidades encontradas para análise de deslizamento em cunha. (A) Talude 1 com $\phi = 30^\circ$; (B) Talude 1 com $\phi = 36^\circ$; (C) Talude 2 com $\phi = 30^\circ$; (D) Talude 2 com $\phi = 36^\circ$; (E) Afloramento costeiro com $\phi = 30^\circ$; (F) Afloramento costeiro com $\phi = 36^\circ$.

destacam majoritariamente orientações na direção Leste-Oeste, consistente com a influência das falhas transversais regionais, próximas à direção do Sistema de Falhas da Barra (N090° – N100°).

Por outro lado, os dados de campo mostram uma predominância de estruturas com orientação Norte-Sul (e.g., N180°/85°W e N350°/75°NE), possivelmente associadas a falhas longitudinais como os Sistemas do Iguatemi e Salvador. Na análise da ortoimagem, foram observados diversos alinhamentos que podem estar associados aos diques presentes na região com direção N160° – N170°. Essa discrepância entre os dados de sensores remotos e as observações de campo é atribuída às diferenças entre as escalas de observação MDE e as características estruturais locais.

Entretanto, este estudo apresenta limitações, como a restrita amostragem de taludes e afloramentos rochosos, devido a intensa urbanização e cobertura vegetal, que limita a extrapolação dos resultados para toda área de influência do SFB. Estudos futuros devem ampliar o número de pontos analisados, incluindo os dados de solos residuais disponibilizados pela CODESAL e aplicar modelos de estabilidade em 3D. Além disso, recomenda-se a incorporação de inventários de movimentos de massa previamente mapeados na cidade de Salvador, os quais podem contribuir para uma análise mais abrangente e representativa, especialmente no que se refere aos processos que ocorrem em solos.

Apesar dessas limitações, os resultados desse estudo de caso reforçam a importância da integração de dados de campo e análise cinemática para a compreensão dos mecanismos de instabilidade em taludes. O método aplicado permitiu identificar as famílias que contribuem para a instabilidade em diferentes movimentos de ruptura, oferecendo assim subsídios para o planejamento de medidas preventivas e corretivas voltadas à mitigação de riscos em áreas urbanas.

AGRADECIMENTOS

Este artigo foi desenvolvido no âmbito de uma pesquisa de Iniciação Científica financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB (Processo nº 4902/2022). Os autores agradecem ao Grupo de Geotecnica e ao Laboratório de Modelagem Física (LAMOD) do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (IGEO/UFBA), coordenados pelo Prof. Dr. Luiz César Corrêa-Gomes, pelo apoio técnico e científico. Agradecemos também aos revisores da *Geologia USP. Série Científica* pelas contribuições ao aperfeiçoamento deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Agliardi, F., Crosta, G. B., Zanchi, A. (2001). Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics. *Engineering Geology*, 59(1-2), 83-102. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00066-1)
- Barbosa J. S. F., Corrêa-Gomes L. C., Dominguez J. M. L., Cruz S. A. S., Souza J. S. (2005). Petrografia e Lito-geoquímica das Rochas da Parte Oeste do alto de Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(4-Suplemento), 9-22. Disponível em: <http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/2513>. Acessado em: 30 jun. 2025.
- Beisl, C. H. (1996). *Integração de dados de sensoriamento remoto, geologia, gravimetria e topografia para estudo do arcabouço estrutural em uma parte do compartimento nordeste da Bacia do Recôncavo*. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil.
- Carneiro, J. P. H., Corrêa-Gomes, L. C., Menezes, L. S. (2023). Modelagem geométrica e análise de risco geológico em taludes rochosos aplicada aos sistemas de falhas transversais (N090° e N120°) da cidade de Salvador, Bahia, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 23 (4), 44-63. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v23-200202>
- Corrêa-Gomes, L. C. (2018). Sistemas de Falhas de Salvador. *Seminário de Geologia de Salvador*, IGEO-UFBA, Palestra, 69 pp. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22599.10404>
- Corrêa-Gomes, L. C., Barbosa, J. S. F. (2018). *Projeto Rift Bahia II. Geodinâmica Evolutiva dos Riftes Recôncavo-Tucano-Jatobá e Araripe e Estrutura 3-D Profunda dos Embasamentos Cristalinos Associados*. Parte I: Da Bacia do Recôncavo até a Bacia de Tucano Central. Relatório Técnico Final. Termo de Cooperação Nº 0050.0093094.14.9, Nº ANP 18015-8. PETROBRAS/UFBA/FAPEX (429 pp.).
- Corrêa-Gomes, L. C., Destro, N. (2012). Tectônica das bacias Paleozoicas e Mesozoicas. In: Barbosa, J. S. F. (Coord.). *Geologia da Bahia, pesquisa e atualização. Salvador: CBPM*. (Série Publicações Especiais, 13). v. 2. p. 255-325. Disponível em: <http://www.cbpm.ba.gov.br/book/geologia-da-bahia-pesquisa-e-atualizacao/>. Acessado em: 03 jan. 2025.
- Crosta G. B., Zanchi A. (2000). Deep-seated slope deformation. Huge, extraordinary, enigmatic phenomena. In: Bromhead E, Dixon N, Ibsen M (eds) *Proceeding of the 8th International Symposium Landslides, Cardiff: Landslides in Research, Theory and Practice*. London: Thomas Telford, pp 351-358.
- Figueiredo, A. M. F., Braga, J. A. E., Zabalaga, J. C., Oliveira, J. J., Aguiar, G. A., Silva, O. B., Mato, L. F., Daniel, L. M. F., Magnavita, L. P. (1994). Recôncavo Basin, Brazil: A prolific intracontinental rift basin. In: Lando, S. M. (Ed.), *Interior rift basins* (pp. 157-203). *AAPG Memoir*, 59. <https://doi.org/10.1306/M59582C6>
- Glastonbury, J., Fell, R. (2000). *Report on the Analysis of "Rapid" Natural Rock Slope Failures*. Sydney: University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering.
- Goodman, R. E. (1989). *Introduction to rock mechanics*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons.

- Hoek, E., Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering*. 3. ed. Londres: Institution of Mining and Metallurgie & Elsevier Applied Science. <https://doi.org/10.1201/9781482267099>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo Demográfico 2022: Panorama Salvador/BA*. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acessado em: 26 jun. 2025.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *População em áreas de risco no Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2007). *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (Org.). Brasília: Ministério das Cidades. <http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185>. Acessado em: 25 abr. 2025.
- Jesus, A. C. (2008). *Retroanálise de escorregamentos em solos residuais não saturados*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP. <https://doi.org/10.11606/D.18.2008.tde-10102008-090913>
- Jesus, A. C., Miranda, S. B., Dias, L. S. O., Brito Junior, J. A., Burgos, P. C., Campos, L. E. P. (2005). Contribuição para o zoneamento das áreas com características geotécnicas semelhantes da cidade do Salvador visando a aplicação em mapeamento de risco. *IV Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas*. Salvador: ABMS, 1, p. 17-25.
- Maia, E. C. B. (2018). *Estudo geotécnico e análise da estabilidade da encosta localizada na Ladeira do Pilar - Comércio, Salvador-BA*. Dissertação (Mestrado). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32124>. Acessado em: 10 set. 2025.
- Magnavita, L. P. (1992). *Geometry and kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, NE Brazil*. Tese (Doutorado). Oxford: Wolfson College – University of Oxford.
- Marshak, S., Mitra, G. (1988). *Basic Methods of Structural Geology*. New Jersey: Prentice-Hall, p.446.
- Mascarenhas, J. F., Johildo, J. F., Cordani, U. G., Sato, K. (1986). *Mapa Geocronológico do Estado da Bahia. Escala 1:1.000.000*. Salvador: Governo do Estado da Bahia, SME/SGM.
- Mello, V. F. B. (1972). Thoughts on Soil Engineering Applicable to Residual Soils. *3rd Southeast Asian Conference on Soil Engineering*, 5-34. Hong-Kong: SEAGS. Disponível em: <https://victorfbdemello.com.br/arquivos/Publicacoes/044.1%20-%20THOUGHTS%20ON%20SOIL%20ENGINEERING%20APPLICABLE%20TO%20RESIDUAL%20SOILS.pdf>. Acessado em: 10 set. 2025.
- Menezes, L. S., Corrêa-Gomes, L. C. (2023). Modelagem cinemática dos sistemas de falhas e aplicação em casos de taludes naturais N030 e N040 da cidade do Salvador, Bahia, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 23(3), 3-17. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v23-190779>
- Milhomem, P. S., Maman, E. J., Oliveira, F. M., Carvalho, M. S. S., Lima, W. S. (2003). *Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia do Recôncavo*. Fundação Paleontológica Phoenix, ano 5, 51. Disponível em: <https://phoenix.org.br/produto/informativo-phoenix/>. Acessado em: 18 mar. 2024.
- Moraes Brito, C. (1992). *Caracterização geológica, geoquímica e petrográfica dos diques máficos proterozóicos da região de Salvador-BA*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: IAG-USP. 153p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000737265>. Acessado em: 26 jun. 2025.
- Pinto, M. V., Botelho, M. A. B., Corrêa-Gomes, L. C. (2010). Interpretação sísmica das principais feições estruturais da Ilha de Itaparica, Bacia do Recôncavo, Brasil. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica. *European Association of Geoscientists & Engineers*. https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.197.SBGF_2275
- Queiroz, G. L., Salamuni, E., Nascimento, E. R. (2014). Azimuthfinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. *Geologia USP. Série Científica*, 14 (1), 69-80. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400010005>
- Rigaud, R. A., Vilas-Boas, D. B. R., Batista, J. C. (2019). Gravimetric and seismic stratigraphy studies applied to Barra Fault System, limit region between Recôncavo and Camamu basins, Bahia, Brazil. *16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. Rio de Janeiro: SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica. Disponível em: https://sbgf.org.br/mysbgf/eventos/expanded_abstracts/16th_CISBGf/Gravimetric%20and%20seismic%20stratigraphy%20studies%20applied%20to%20Barra%20Fault%20System,%20limit%20region%20between%20Rec%C3%B4ncavo%20and%20Camamu%20basins,%20Bahia,%20Brazil.pdf. Acessado em: 10 set. 2025.
- Silva, O. B., Caixeta, J. M., Milhomem, P. S., Kosin, M. D. (2007). Bacia do Recôncavo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 15(2), 423-431, maio/nov. 2007. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/338>. Acessado em: 19 mar. 2024.
- Souza, J. S. (2008). *Mapeamento Geológico da área do Farol da Barra, Salvador-Bahia, Brasil*. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Salvador: Instituto de Geociências, UFBA.
- Souza, K. H. L., Aguiar, M.F.P., Rodrigues, L. F. V., Mendes, G. C. M. (2019). Proposta de contenção de talude em solo grampeado localizado na Falha de Salvador – BA. *IX Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/59181>. Acessado em: 20 nov. 2024.
- Souza, J. S., Barbosa, J. S. F., Corrêa-Gomes, L. C. (2010). Litogeoquímica dos granulitos ortoderivados da cidade do Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(3), 339-353. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/portal/wp-content/uploads/tainacan-items/15906/47671/7761-8950-1-PB.pdf>. Acessado em: 10 set. 2025.

- Torre, B. R. S. (2020). *A influência das estruturas dúcteis e rúpteis na estabilidade dos taludes rochosos do Rio Vermelho e Ondina, Salvador, Bahia*. Trabalho de Conclusão de Curso. Salvador: Instituto de Geociências, UFBA.
- Wyllie, D. C., Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining* (4th ed.) Nova York: Spon Press.
- Yang, X., Hu, J., Sun, H., Zheng, J. (2024). An approach for determination of lateral limit angle in kinematic planar sliding analysis for rock slopes. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 16(4), 1305-1314. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.09.013>
- Zheng, J., Kulatilake, P. H. S. W., Deng, J., Wei, J. (2016). Development of a probabilistic kinematic wedge sliding analysis procedure and application to a rock slope at a hydropower site in China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 1413-1428. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0764-3>