

A IMPORTÂNCIA DA MECÂNICA DOS SOLOS E DAS ROCHAS NO DESENVOLVIMENTO DAS INFRA-ESTRUTURAS EM ANGOLA: FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS, CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E APLICAÇÕES NA REGIÃO LESTE

*The Importance of Soil and Rock Mechanics for Infrastructure Development in Angola:
Scientific Foundations, Geotechnical Characterisation and Applications in the Eastern
Region*

Benedito Paulo Manuel

Doutor em Ciências Económicas

Instituto Politécnico de Saurimo, Universidade Lueji A'Nkonde

E-mail: beneditomanuel@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6709-4981>

DOI: <https://doi.org/10.46550/ilustracao.v1i3.832>

RESUMO

O presente artigo analisa a importância da Mecânica dos Solos e das Rochas enquanto base científica do planeamento, do projecto e da execução de infra-estruturas em Angola, com particular atenção à Região Leste (Lunda Sul, Lunda Norte e Moxico), onde predominam areias do Kalahari, solos lateríticos e residuais tropicais, maciços rochosos associados a actividade mineira e processos erosivos lineares de grande dimensão. Partindo dos fundamentos clássicos de Terzaghi (princípio das tensões efectivas e teoria da consolidação), de Skempton, de Roscoe, Schofield e Wroth (estado crítico) e dos sistemas de classificação de maciços rochosos de Deere, Bieniawski, Barton e Hoek-Brown, o estudo organiza o conhecimento disponível numa abordagem de seis eixos: conhecimento do terreno, comportamento mecânico, água e erosão, maciços rochosos e mineração, materiais geotécnicos locais e governação técnica.

A metodologia é qualitativa, de natureza teórico-conceitual e aplicada, apoiada em revisão sistematizada de literatura, análise documental de legislação angolana em vigor (Lei n.º 3/04, Lei n.º 31/11, Decreto Presidencial n.º 306/14 e Lei n.º 41/20) e simulação de quatro casos ilustrativos e anonimizados. Os resultados mostram que a subvalorização da investigação geotécnica é um dos factores mais determinantes de patologias estruturais, derrapagens de custos e degradação ambiental, e que o investimento na caracterização do terreno representa uma fracção reduzida do custo total da obra face aos custos de remediação. Propõe-se uma adaptação simplificada ao contexto angolano, centrada na capacitação laboratorial regional, na integração obrigatória de estudos geotécnicos nos projectos públicos e na formação de quadros nas instituições de ensino superior da Região Leste.

Palavras-chave: Mecânica dos Solos; Mecânica das Rochas; Solos Lateríticos; Areias do Kalahari; Erosão por Ravinas; Infra-estruturas; Angola.

ABSTRACT

This article examines the importance of Soil and Rock Mechanics as the scientific foundation for the planning, design and construction of infrastructure in Angola, with special reference to the Eastern Region (Lunda Sul, Lunda Norte and Moxico), dominated by Kalahari sands, lateritic and tropical residual soils, rock masses linked to mining and large gully erosion processes. Building on the classical contributions of Terzaghi, Skempton, critical state soil mechanics and rock mass classification systems (RQD, RMR, Q-system and Hoek-Brown), the study organises existing knowledge into a six-axis approach. The methodology is qualitative, theoretical-conceptual and applied, based on literature review, analysis of current Angolan legislation and four illustrative anonymised cases. Results show that underestimating geotechnical investigation is a key driver of structural pathologies, cost overruns and environmental degradation. A simplified adaptation to the Angolan context is proposed.

Keywords: Soil Mechanics; Rock Mechanics; Lateritic Soils; Kalahari Sands; Gully Erosion; Infrastructure; Angola.

1. Introdução

Toda a obra de engenharia, seja uma estrada, uma ponte, um edifício, uma barragem, uma escola ou uma cava mineira, apoia-se, em última instância, sobre o terreno. Esta evidência, aparentemente trivial, encerra uma das verdades mais exigentes da engenharia: o solo e a rocha não são materiais fabricados, com propriedades controladas e certificadas, mas materiais naturais, heterogêneos, formados ao longo de milhões de anos por processos geológicos, climáticos e biológicos que variam de um local para outro, por vezes em poucos metros. A Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas nasceram precisamente da necessidade de compreender, quantificar e prever o comportamento destes materiais quando sujeitos às acções impostas pelas obras humanas.

Em Angola, a relevância destas disciplinas tem vindo a crescer de forma acentuada. O país viveu, nas duas últimas décadas, um dos maiores ciclos de reconstrução e expansão de infra-estruturas da sua história, envolvendo milhares de quilómetros de estradas, novas centralidades habitacionais, aproveitamentos hidroeléctricos, caminhos-de-ferro, aeroportos e projectos mineiros de grande dimensão. Ao mesmo tempo, multiplicaram-se os sinais de que muitas destas obras foram concebidas ou executadas com um conhecimento insuficiente do terreno: pavimentos que se degradam poucos anos após a

inauguração, fissuras em edifícios públicos, taludes que colapsam na época das chuvas e ravinas que avançam sobre bairros inteiros.

A Região Leste de Angola, que integra as províncias da Lunda Sul, da Lunda Norte e do Moxico, apresenta um quadro geotécnico particularmente desafiante. Dominam extensas coberturas de areias do Kalahari, finas, pouco coesivas e altamente susceptíveis à erosão hídrica; ocorrem solos lateríticos e residuais tropicais, cujo comportamento difere significativamente dos solos sedimentares de clima temperado a partir dos quais se desenvolveu grande parte da teoria clássica; e existem maciços rochosos e chaminés kimberlíticas associadas à exploração diamantífera, como a de Catoca, nas imediações de Saurimo, que colocam problemas específicos de estabilidade de taludes e de escavação em rocha. Estudos anteriores sobre a cidade do Luena, no Moxico, já evidenciavam a relevância da erosão hídrica e da formação de ravinas em áreas urbanas da região (Ferreira & Diogo, 2015).

Apesar deste contexto, a Mecânica dos Solos e das Rochas continua a ser, em muitos processos de decisão, tratada como uma formalidade técnica secundária, quando não é pura e simplesmente omitida por razões de prazo ou de custo. Esta atitude revela uma compreensão incompleta da natureza económica do problema: a investigação geotécnica representa normalmente uma fracção muito pequena do custo total de uma obra, mas as consequências da sua ausência podem multiplicar esse custo várias vezes, sob a forma de reforços, reconstruções, litígios e perda de vidas e de património.

O problema de investigação que orienta este artigo pode formular-se da seguinte forma: de que modo a Mecânica dos Solos e das Rochas contribui para a segurança, a durabilidade e a eficiência económica das infra-estruturas em Angola, e que condições institucionais, técnicas e formativas são necessárias para que esse contributo se materialize efectivamente, em particular na Região Leste?

O objectivo geral consiste em analisar a importância científica, técnica e económica da Mecânica dos Solos e das Rochas no contexto angolano e propor uma abordagem estruturada para a sua integração sistemática no ciclo de vida das obras. Como **objectivos específicos**, pretende-se: (i) sistematizar os fundamentos teóricos clássicos e contemporâneos das duas disciplinas; (ii) caracterizar os principais tipos de terreno e problemas geotécnicos da Região Leste; (iii) identificar sinais de alerta, factores críticos e

boas práticas; (iv) simular a aplicação da abordagem a casos ilustrativos; e (v) propor uma adaptação simplificada ao contexto angolano.

A **justificativa** do estudo assenta em três razões. Em primeiro lugar, uma razão científica: a literatura sobre solos tropicais e residuais demonstra que os modelos desenvolvidos para solos sedimentares de clima temperado não podem ser transpostos sem adaptação (Wesley, 2010; Blight & Leong, 2012). Em segundo lugar, uma razão económica: o volume de investimento público e privado em infra-estruturas em Angola exige que cada kwana aplicado produza obras duráveis. Em terceiro lugar, uma razão social e ambiental: a erosão por ravinas, os deslizamentos e as patologias em edifícios afectam directamente as populações mais vulneráveis, sobretudo nas periferias urbanas em expansão.

Importa esclarecer, desde já, que o artigo é escrito a partir de uma perspectiva que cruza a engenharia com a economia do investimento em infra-estruturas. Esta opção não diminui o rigor técnico da análise; pelo contrário, procura torná-la útil a um público mais amplo de decisores, gestores de projectos e responsáveis pela afectação de recursos públicos, que frequentemente determinam, sem o saberem, o nível de risco geotécnico a que as obras ficam expostas.

O artigo encontra-se estruturado em treze secções. Após esta introdução, a Secção 2 apresenta a revisão da literatura; a Secção 3 descreve a metodologia; a Secção 4 expõe a abordagem em seis eixos; as Secções 5 a 8 tratam dos sinais de alerta, da simulação de casos, dos factores críticos de sucesso e do plano de acção; as Secções 9 a 12 desenvolvem a discussão, as implicações práticas, as limitações e a proposta de adaptação ao contexto angolano; e a Secção 13 apresenta as conclusões.

2. Revisão da Literatura

2.1 Origem e evolução da Mecânica dos Solos como disciplina científica

Antes do século XX, a construção sobre o terreno baseava-se sobretudo na experiência acumulada e em regras empíricas. Contributos pioneiros, como a teoria do impulso de terras de Coulomb (1776) ou os trabalhos de Rankine sobre o equilíbrio plástico, forneceram ferramentas parciais, mas não existia uma disciplina integrada capaz de explicar o comportamento do solo enquanto material. A Mecânica dos Solos moderna nasceu com Karl Terzaghi, cuja obra culminou na publicação de *Theoretical Soil Mechanics*

(Terzaghi, 1943), onde se sistematizam o princípio das tensões efectivas, a teoria da consolidação unidimensional e as bases da capacidade de carga de fundações.

O princípio das tensões efectivas é, sem exagero, o alicerce de toda a disciplina. Estabelece que o comportamento mecânico de um solo saturado (a sua resistência e a sua deformação) é controlado não pela tensão total aplicada, mas pela diferença entre esta e a pressão da água nos poros. Na forma mais conhecida, exprime-se como:

$$\sigma' = \sigma - u$$

em que σ' é a tensão efectiva, σ a tensão total e u a pressão intersticial. A consequência prática deste princípio é imensa: explica por que razão um talude estável na época seca pode romper após chuvas intensas, por que razão um aterro sobre argila mole assenta lentamente durante anos e por que razão a drenagem é, frequentemente, a medida de estabilização mais eficaz e económica. A obra posterior de Terzaghi, Peck e Mesri (1996) consolidou a ligação entre teoria e prática, sublinhando o papel do juízo do engenheiro e da observação do comportamento real das obras.

Nas décadas seguintes, a disciplina conheceu desenvolvimentos decisivos. Casagrande (1948) propôs um sistema de classificação e identificação de solos com base na granulometria e nos limites de consistência, que deu origem ao Sistema Unificado de Classificação de Solos ainda hoje amplamente utilizado. Skempton (1954) introduziu os coeficientes de pressão intersticial A e B, permitindo relacionar as variações de tensão total com as variações de pressão da água em condições não drenadas. A escola de Cambridge, com Roscoe, Schofield e Wroth (1958), formulou a teoria do estado crítico, que unificou numa única estrutura conceptual o comportamento de solos normalmente consolidados e sobreconsolidados.

2.2 Resistência ao corte, deformabilidade e consolidação

A resistência ao corte de um solo é tradicionalmente descrita pelo critério de Mohr-Coulomb, expresso em termos de tensões efectivas como $\tau = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$, em que c' representa a coesão efectiva e φ' o ângulo de atrito interno efectivo. Este critério, embora simplificado, continua a ser a base do dimensionamento de fundações, muros de suporte e taludes. A sua aplicação correcta exige, porém, que os parâmetros sejam obtidos em ensaios adequados ao tipo de solo e às condições de drenagem esperadas em obra, sob pena de conduzir a estimativas perigosamente optimistas.

A deformabilidade do solo, por sua vez, determina os assentamentos das fundações. Em solos arenosos, os assentamentos são essencialmente imediatos; em solos argilosos saturados, processam-se ao longo do tempo, à medida que a água é expulsa dos poros, fenómeno descrito pela teoria da consolidação de Terzaghi. A distinção é fundamental para o projecto: um edifício sobre areia densa pode assentar poucos milímetros durante a construção e estabilizar, enquanto um aterro rodoviário sobre argila mole pode continuar a assentar durante décadas, danificando pavimentos e obras de drenagem.

Das e Sobhan (2014) sublinham que o conhecimento da história de tensões do solo, expresso pela razão de sobreconsolidação, é determinante para prever tanto a resistência como a deformabilidade. Um solo que já esteve sujeito, no passado geológico, a tensões superiores às actuais comporta-se de forma mais rígida e menos compressível. Nos solos residuais tropicais, contudo, a noção clássica de sobreconsolidação perde parte do seu significado, porque a estrutura e a cimentação herdadas da rocha-mãe influenciam o comportamento de forma que não depende da história de carregamento (Wesley, 2010).

2.3 Solos não saturados e a relevância da sucção

Grande parte da teoria clássica foi desenvolvida para solos saturados. Em regiões tropicais com estações seca e chuvosa bem marcadas, como a Região Leste de Angola, uma parte significativa dos solos superficiais encontra-se, durante grande parte do ano, em condição não saturada. Fredlund e Rahardjo (1993) demonstraram que, nestas condições, a sucção matricial (diferença entre a pressão do ar e a pressão da água nos poros) funciona como uma variável de estado adicional, conferindo ao solo uma resistência aparente que desaparece quando este se satura.

Este fenómeno tem implicações práticas directas. Taludes escavados em solos arenosos ou residuais podem manter-se verticais durante meses na estação seca, criando uma falsa sensação de segurança, e colapsar subitamente nas primeiras chuvas intensas. De modo semelhante, certos solos de estrutura aberta, ditos colapsíveis, sofrem reduções bruscas de volume quando molhados sob carga, danificando fundações superficiais. Jennings e Knight (1975) propuseram, a partir da experiência sul-africana, procedimentos de identificação e dimensionamento para estes solos que continuam a ser referência na África Austral.

2.4 Solos tropicais, lateríticos e residuais

Os solos lateríticos resultam de processos intensos de meteorização química em climas quentes e húmidos, que lixiviam a sílica e as bases e concentram óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Gidigas (1976) sistematizou os princípios pedogenéticos e de engenharia destes solos, mostrando que as suas propriedades dependem fortemente do grau de laterização, da rocha-mãe e das condições de drenagem. Muitos solos lateríticos apresentam excelente comportamento como materiais de pavimentação quando devidamente compactados, mas podem perder resistência quando remexidos e expostos à água.

Os solos residuais, formados *in situ* pela meteorização da rocha, conservam frequentemente a estrutura, as descontinuidades e a cimentação do material original. Wesley (2010) e Blight e Leong (2012) alertam para o facto de os ensaios e correlações concebidos para solos sedimentares poderem conduzir a interpretações erradas quando aplicados a estes materiais. A classificação baseada apenas na granulometria e nos limites de Atterberg, por exemplo, pode não captar o efeito da estrutura e da mineralogia, conduzindo a subestimar ou sobrestimar a resistência.

Na experiência brasileira, Nogami e Villibor (1995) desenvolveram a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), especificamente para classificar solos tropicais segundo o seu comportamento laterítico ou não laterítico, com vista à pavimentação de baixo custo. Esta abordagem é particularmente relevante para Angola, que partilha com o Brasil condições climáticas e pedológicas comparáveis e uma língua técnica comum, e cuja rede de estradas secundárias e terciárias depende largamente de materiais locais. Fookes (1997) reuniu, por seu lado, a experiência internacional sobre solos residuais tropicais, oferecendo uma base de descrição e classificação de campo adaptada a estes terrenos.

Um aspecto frequentemente subestimado é a heterogeneidade vertical dos perfis lateríticos. Um perfil típico pode apresentar, de cima para baixo, um horizonte superficial orgânico, uma camada de solo laterítico argilo-arenoso, um horizonte de concreções ou couraça ferruginosa, uma zona mosqueada e, por fim, a saprolite de transição para a rocha. Cada um destes horizontes tem comportamento mecânico distinto: a couraça pode ser suficientemente resistente para exigir equipamento de desmonte, enquanto a zona mosqueada subjacente pode ser compressível e sensível à água. Uma sondagem que

atravesse apenas o horizonte superior pode, por isso, conduzir a conclusões gravemente enganadoras sobre a capacidade de suporte em profundidade.

Acresce que a mineralogia das argilas presentes nos solos tropicais condiciona fortemente a sua sensibilidade à água. Solos dominados por caulinite e óxidos de ferro tendem a apresentar baixa expansibilidade e comportamento estável, enquanto a presença de argilas expansivas, como as esmectites, em zonas de drenagem deficiente, pode provocar variações volumétricas sazonais capazes de fissurar pavimentos e edifícios ligeiros. A identificação mineralógica, ainda que expedita, é por isso uma componente útil da caracterização em projectos de maior responsabilidade.

2.5 Areias do Kalahari e erosão por ravinas

As areias do Kalahari constituem uma das mais extensas coberturas arenosas do mundo, estendendo-se por vastas áreas da África Austral e Central, incluindo grande parte do Leste de Angola. Trata-se, em geral, de areias finas a médias, bem calibradas, com teor reduzido de finos e baixa coesão. Do ponto de vista geotécnico, oferecem capacidade de carga razoável quando confinadas e compactadas, mas são altamente vulneráveis à erosão hídrica quando a vegetação é removida e as águas pluviais se concentram.

A erosão linear, que evolui de sulcos para ravinas e, nos casos mais graves, para grandes cárcavas (voçorocas), é um dos problemas geotécnicos e ambientais mais graves da Região Leste. Ferreira e Diogo (2015) analisaram a erosão hídrica na cidade do Luena, no Moxico, associando-a às chuvas frequentes e propondo medidas de contenção de ravinas e gestão sustentável dos solos. A literatura sobre solos arenosos converge na conclusão de que as ravinas estão associadas à concentração do escoamento superficial, à remoção da vegetação e à ausência ou falha de sistemas de drenagem urbana e rodoviária.

Do ponto de vista da Mecânica dos Solos, a ravina é um problema simultaneamente hidráulico e geotécnico. A erosão remontante na cabeceira, o descalçamento dos taludes laterais e a erosão interna (piping) por percolação de água subterrânea combinam-se para produzir um recuo progressivo que pode atingir dezenas de metros por ano em episódios extremos. O controlo eficaz exige, por isso, compreender as propriedades de erodibilidade do solo, o regime de escoamento e os mecanismos de rotura dos taludes, e não apenas executar obras de contenção pontuais.

2.6 Fundamentos da Mecânica das Rochas

A Mecânica das Rochas desenvolveu-se como disciplina autónoma a partir da década de 1960, impulsionada pela construção de grandes barragens, túneis e explorações mineiras profundas. Ao contrário do solo, a rocha intacta possui geralmente resistência elevada; o comportamento do maciço rochoso é, porém, dominado pelas descontinuidades (diáclases, falhas, planos de estratificação e xistosidade), que o dividem em blocos e controlam a sua resistência, deformabilidade e permeabilidade globais.

Deere (1964) introduziu o índice RQD (Rock Quality Designation), que mede a percentagem de fragmentos de testemunho de sondagem com comprimento igual ou superior a 10 cm, constituindo um indicador simples e expedito do grau de fracturação do maciço. A Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) padronizou, ao longo de décadas, os métodos de ensaio e descrição, reunidos em Ulusay e Hudson (2007), que constituem a referência internacional para ensaios de compressão uniaxial, carga pontual, caracterização de descontinuidades e outros.

O comportamento dos maciços rochosos depende também do estado de tensão *in situ*, resultante do peso dos terrenos sobrejacentes e da história tectónica, e do grau de alteração da rocha. Em regiões tropicais, a meteorização pode penetrar a profundidades consideráveis, transformando progressivamente a rocha sã em rocha alterada, saprolite e solo residual. Esta transição gradual dificulta a definição de fronteiras nítidas entre o domínio da Mecânica dos Solos e o da Mecânica das Rochas, exigindo do engenheiro uma visão integrada dos dois campos, que é, aliás, uma das justificações para os tratar conjuntamente neste artigo.

2.7 Classificações geomecânicas e critérios de rotura

Bieniawski (1989) consolidou o sistema RMR (Rock Mass Rating), que atribui pontuações a seis parâmetros: resistência da rocha intacta, RQD, espaçamento das descontinuidades, condição das descontinuidades, condições de água subterrânea e orientação das descontinuidades relativamente à obra. A soma das pontuações permite classificar o maciço em cinco classes, da muito boa à muito fraca, e estimar parâmetros de resistência e requisitos de suporte. Barton, Lien e Lunde (1974) propuseram o sistema Q, baseado em seis parâmetros combinados em três quocientes que representam o tamanho

dos blocos, a resistência ao corte entre blocos e o estado de tensão activo, amplamente utilizado no dimensionamento do suporte de túneis.

Hoek e Brown (1980) formularam um critério empírico de rotura para maciços rochosos, posteriormente generalizado e ligado ao índice GSI (Geological Strength Index), que permite estimar a resistência do maciço a partir da resistência da rocha intacta e de uma avaliação qualitativa da estrutura e da condição das descontinuidades (Hoek & Brown, 1997). Na sua forma generalizada, o critério exprime-se como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \cdot (mb \cdot \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^a$$

em que σ_{ci} é a resistência à compressão uniaxial da rocha intacta e mb , s e a são constantes do maciço, dependentes do GSI e do grau de perturbação. Este critério tornou-se o padrão internacional para a análise de estabilidade de taludes de mineração a céu aberto e de escavações subterrâneas, sendo directamente relevante para as explorações diamantíferas da Região Leste.

Tabela 1 – Principais sistemas de classificação e critérios em Mecânica dos Solos e das Rochas

Sistema / critério	Autor(es) de referência	Parâmetros principais	Aplicação típica em Angola
Classificação unificada de solos	Casagrande (1948)	Granulometria, limites de liquidez e plasticidade	Caracterização expedita de solos de fundação e aterros
Metodologia MCT	Nogami e Villibor (1995)	Comportamento laterítico/não laterítico em miniatura compactada	Seleção de solos lateríticos para estradas secundárias
Critério de Mohr-Coulomb	Terzaghi (1943); Terzaghi et al. (1996)	c' e ϕ' em tensões efectivas	Fundações, muros de suporte, taludes em solo
RQD	Deere (1964)	Percentagem de testemunho ≥ 10 cm	Avaliação inicial de maciços em sondagens mineiras
RMR	Bieniawski (1989)	Seis parâmetros pontuados (0–100)	Escavações, túneis e fundações em rocha
Sistema Q	Barton et al. (1974)	RQD, J_n , J_r , J_a , J_w , SRF	Suporte de galerias e túneis
Hoek-Brown / GSI	Hoek e Brown (1980, 1997)	σ_{ci} , m_i , GSI, factor D	Taludes de minas a céu aberto e cavas kimberlíticas

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Casagrande (1948), Deere (1964), Barton et al. (1974), Bieniawski (1989), Nogami e Villibor (1995) e Hoek e Brown (1997).

2.8 Investigação geotécnica e caracterização do terreno

A investigação geotécnica consiste no conjunto de actividades destinadas a conhecer o terreno de um local de obra: reconhecimento geológico de superfície, sondagens mecânicas, ensaios in situ (como o SPT, o CPT, o ensaio de placa ou os ensaios pressiométricos), recolha de amostras e ensaios laboratoriais. A norma europeia EN 1997 (Eurocódigo 7), amplamente utilizada como referência nos países de língua portuguesa, estabelece que a extensão da investigação deve ser proporcional à complexidade geotécnica do local e à importância da obra, classificando as estruturas em categorias geotécnicas (CEN, 2004).

A literatura é consistente quanto ao facto de a investigação do terreno ser uma das actividades com maior retorno económico em todo o ciclo de projecto. Uma investigação insuficiente não elimina a incerteza, apenas a transfere para a fase de construção, onde o seu custo é muito mais elevado. Em contextos de solos tropicais, esta regra ganha ainda mais força, dada a variabilidade espacial dos perfis de meteorização e a presença frequente de blocos, concreções lateríticas e horizontes de rocha alterada que não seguem padrões previsíveis.

Entre os ensaios in situ mais utilizados, o ensaio de penetração dinâmica normalizado (SPT) continua a ser a base da prática corrente em Angola, pela sua simplicidade e pelo vasto conjunto de correlações disponíveis. O ensaio de penetração estática com cone (CPT), mais preciso e contínuo, fornece perfis detalhados de resistência de ponta e atrito lateral, mas exige equipamento menos disponível no país. Os penetrómetros dinâmicos ligeiros, de baixo custo e fácil transporte, são particularmente adequados para a investigação de obras de pequena e média dimensão em zonas remotas, desde que calibrados localmente. A escolha dos ensaios deve atender não apenas à qualidade da informação, mas também à logística e ao custo, o que na Região Leste constitui um factor decisivo.

Tabela 2 – Ensaios geotécnicos principais e adequação ao contexto da Região Leste

Ensaio	Informação obtida	Vantagens	Limitações no contexto regional
Poço de reconhecimento	Observação directa do perfil e recolha de amostras	Baixo custo; visualização dos horizontes	Profundidade limitada; instável em areias soltas
Penetrómetro dinâmico ligeiro	Perfil de resistência à penetração	Portátil e rápido	Exige calibração local; alcance limitado

Ensaio	Informação obtida	Vantagens	Limitações no contexto regional
SPT em sondagem	Índice N e amostras remexidas	Correlações abundantes	Sensível à execução; equipamento pesado
CPT	Perfil contínuo de ponta e atrito	Elevada resolução	Equipamento escasso; recusa em couraças
Ensaio de placa	Módulo de deformabilidade e capacidade de carga	Mede o comportamento real à escala	Dispendioso; representa só a zona carregada
Ensaios laboratoriais básicos	Granulometria, limites, teor em água, compactação	Normalizados e acessíveis	Dependem da representatividade das amostras

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Terzaghi et al. (1996), CEN (2004) e Das e Sobhan (2014).

2.9 Enquadramento institucional e normativo angolano

Em Angola, o Laboratório de Engenharia de Angola (LEA) é o instituto público de investigação aplicada e controlo de qualidade nos domínios da engenharia civil, dos materiais de construção e do ambiente, cujo Estatuto Orgânico foi aprovado pelo Decreto Presidencial n.º 306/14, de 21 de Novembro. Entre as suas atribuições contam-se a investigação experimental, o ensaio de materiais, o estudo do comportamento de obras e a assistência técnica. O LEA dispõe de pavilhões dedicados à geotecnia, às estradas e aeródromos e aos edifícios e estruturas, tendo beneficiado de um programa de reequipamento aprovado pelo Decreto Presidencial n.º 71/19, de 15 de Maio.

No domínio do ordenamento, a Lei n.º 3/04, de 25 de Junho (Lei do Ordenamento do Território e do Urbanismo), estabelece o sistema de planeamento territorial, no qual a aptidão dos solos e os riscos naturais devem ser considerados. No sector mineiro, a Lei n.º 31/11, de 23 de Setembro (Código Mineiro), regula a actividade de prospecção, exploração e fecho de minas, com implicações directas na estabilidade de escavações, na gestão de escombrelas e na reabilitação ambiental. Na contratação pública de obras, a Lei n.º 41/20, de 23 de Dezembro (Lei dos Contratos Públicos), aprovada no final de 2020, estabelece o quadro aplicável aos procedimentos de formação e execução de contratos de empreitada, no âmbito dos quais a qualidade dos estudos prévios condiciona a exactidão dos cadernos de encargos e a redução de trabalhos a mais.

Uma lacuna relevante do quadro nacional reside na ausência de um corpo próprio de normas técnicas de geotecnia amplamente difundido e aplicado, o que conduz à utilização de normas estrangeiras de proveniências diversas (europeias, norte-americanas, brasileiras ou portuguesas), por vezes combinadas de forma pouco coerente

no mesmo projecto. A elaboração de documentos técnicos de referência nacionais, adaptados aos solos do país, constitui uma das atribuições em que o LEA, pelo seu mandato de estudos no âmbito da normalização e regulamentação técnica, pode desempenhar papel determinante, em articulação com as instituições de ensino superior e as associações profissionais.

2.10 Síntese crítica da literatura

A revisão permite retirar quatro conclusões. Primeira: os fundamentos clássicos (tensões efectivas, consolidação, estado crítico, classificações geomecânicas) mantêm plena validade, mas a sua aplicação a solos tropicais e residuais exige adaptação. Segunda: a água é o factor que mais frequentemente desencadeia roturas em solos e rochas, seja por aumento da pressão intersticial, perda de sucção ou erosão. Terceira: a investigação geotécnica é uma actividade de elevado retorno económico, cuja omissão transfere o risco para fases posteriores. Quarta: em Angola, existe uma base institucional e normativa relevante, mas a articulação entre estes instrumentos e a prática corrente de projecto e fiscalização permanece incompleta, sobretudo fora de Luanda. Estas conclusões fundamentam a abordagem proposta na Secção 4.

Importa ainda sublinhar que a literatura internacional tende a tratar separadamente a Mecânica dos Solos, a Mecânica das Rochas, a hidrologia e a gestão de projectos. Na prática angolana, porém, estas dimensões encontram-se na mesma obra e nas mesmas decisões: a estrada que atravessa areias do Kalahari, contorna uma cabeceira de ravina e se apoia, mais adiante, numa couraça laterítica ou em rocha alterada exige uma leitura integrada. É esta integração que a abordagem proposta procura oferecer.

3. Metodologia

O estudo adopta uma abordagem qualitativa, de natureza teórico-conceitual e aplicada. Optou-se por este desenho porque o objectivo não consiste em medir parâmetros geotécnicos de um local específico, o que exigiria campanhas de campo e laboratório fora do âmbito deste trabalho, mas em organizar, interpretar e transferir o conhecimento científico existente para o contexto angolano, produzindo uma abordagem utilizável por decisores, projectistas, fiscais de obra e docentes.

Foram mobilizadas três técnicas. A primeira foi a revisão sistematizada da literatura, centrada em obras de referência (Terzaghi, Skempton, Casagrande, Bieniawski, Barton,

Hoek e Brown), em literatura especializada sobre solos tropicais, residuais e não saturados (Gidigas, Fookes, Fredlund e Rahardjo, Wesley, Blight e Leong, Nogami e Villibor) e em estudos regionais disponíveis sobre a Região Leste de Angola. A segunda foi a análise documental de legislação angolana em vigor, verificada em repositórios oficiais e jurídicos, designadamente a Lei n.º 3/04, a Lei n.º 31/11, o Decreto Presidencial n.º 306/14 e a Lei n.º 41/20. A terceira foi a simulação de casos ilustrativos, construídos a partir de situações típicas descritas na literatura e na experiência regional, anonimizados e sem pretensão de representar obras concretas.

A análise seguiu uma lógica de categorização temática: os conteúdos foram agrupados em seis eixos analíticos, definidos a partir da síntese crítica da literatura, e em cada eixo identificaram-se fundamentos, problemas típicos em Angola e respostas técnicas. Os parâmetros numéricos apresentados têm carácter indicativo, com base na literatura, e não substituem a caracterização específica de cada local. Esta limitação é assumida expressamente na Secção 11.

Tabela 3 – Desenho metodológico do estudo

Etapa	Técnica	Fontes / instrumentos	Produto
1	Revisão sistematizada	Obras clássicas e literatura sobre solos tropicais e rochas	Quadro teórico (Secção 2)
2	Análise documental	Lei n.º 3/04; Lei n.º 31/11; DP n.º 306/14; Lei n.º 41/20	Enquadramento institucional (§ 2.9)
3	Estudos regionais	Ferreira e Diogo (2015)	Caracterização da Região Leste
4	Categorização temática	Matriz de seis eixos analíticos	Abordagem (Secção 4)
5	Simulação de casos	Três casos ilustrativos anonimizados	Aplicação (Secção 6)
6	Síntese propositiva	Triangulação dos resultados anteriores	Plano de acção e adaptação (Secções 8 e 12)

Fonte: *Elaborado pelo autor.*

Os critérios de selecção das fontes privilegiaram obras de referência reconhecidas internacionalmente, artigos em revistas com arbitragem científica e identificador DOI sempre que disponível, e legislação angolana confirmada como vigente em repositórios oficiais. Foram excluídas fontes sem autoria identificável ou sem possibilidade de verificação. O estudo regional sobre o Luena foi seleccionado por constituir evidência publicada e directamente relacionada com o problema da erosão na Região Leste, conferindo ancoragem territorial à análise teórica.

4. Abordagem da Mecânica dos Solos e das Rochas em Seis Eixos

Com base na revisão da literatura, propõe-se uma abordagem organizada em seis eixos complementares. Não se trata de um modelo fechado, mas de uma grelha de leitura que permite a decisores e técnicos verificar se as dimensões essenciais do comportamento do terreno foram consideradas em cada fase de uma obra.

4.1 Eixo 1 – Conhecimento do terreno

O primeiro eixo afirma um princípio simples: não se projecta bem sobre um terreno que não se conhece. O conhecimento do terreno começa pelo estudo da geologia regional e da geomorfologia, prossegue com o reconhecimento de superfície e culmina com um programa de sondagens e ensaios dimensionado para a importância da obra. Em Angola, este eixo é frequentemente o mais negligenciado, sobretudo em obras de pequena e média dimensão, onde se adoptam soluções-tipo de fundação sem verificação local.

Na Região Leste, o conhecimento do terreno deve atender a particularidades específicas: a espessura e a compacidade da cobertura arenosa, a presença de horizontes lateríticos endurecidos (couraças) ou de concreções, a profundidade do nível freático e a sua variação sazonal, a proximidade de cabeceiras de ravinas e, em zonas mineiras, a existência de escavações antigas, aterros de estéreis ou chaminés kimberlíticas. Um programa mínimo razoável para obras correntes inclui poços de reconhecimento, ensaios de penetração dinâmica e a determinação laboratorial da granulometria, dos limites de consistência, do teor em água e da massa volúmica.

Este eixo tem ainda uma dimensão de memória institucional. Os dados geotécnicos recolhidos em cada obra constituem um património de conhecimento que, se registado e partilhado, reduz o custo e melhora a qualidade das investigações futuras na mesma região. A criação de bases de dados geotécnicas provinciais, alimentadas por obras públicas, é uma medida de baixo custo e de elevado valor acrescentado.

Importa ainda distinguir entre incerteza e variabilidade. A variabilidade é uma propriedade do terreno, que muda de ponto para ponto; a incerteza é uma propriedade do nosso conhecimento, que diminui à medida que investigamos. Um bom programa de investigação não elimina a variabilidade, mas reduz a incerteza até um nível compatível com a segurança exigida. Em termos práticos, isto significa que o número e a localização das sondagens devem ser definidos em função da variabilidade esperada: num terreno de

cobertura arenosa homogénea bastam menos pontos do que numa zona de transição entre areia, laterite e rocha alterada.

4.2 Eixo 2 – Comportamento mecânico e dimensionamento

O segundo eixo trata da tradução do conhecimento do terreno em parâmetros de projecto e da verificação de segurança das obras. Inclui a selecção de parâmetros de resistência (c' , φ' , ou resistência não drenada), de deformabilidade (módulos, coeficientes de compressibilidade) e de permeabilidade, bem como a verificação dos estados limites últimos (rotura) e de utilização (deformações excessivas). O Eurocódigo 7 oferece uma estrutura coerente de coeficientes parciais que pode ser utilizada como referência na ausência de normas nacionais específicas.

O ponto crítico deste eixo é a adequação entre modelo e material. Aplicar correlações desenvolvidas para argilas sedimentares a solos residuais lateríticos, ou utilizar parâmetros de catálogo para areias do Kalahari sem ensaios, pode conduzir a erros significativos em ambos os sentidos: sobredimensionamento, com desperdício de recursos, ou subdimensionamento, com risco de rotura. O juízo de engenharia, enfatizado por Terzaghi et al. (1996), é aqui insubstituível.

O dimensionamento deve também considerar o horizonte temporal do comportamento. Uma fundação pode ser segura no dia da conclusão da obra e tornar-se insegura anos depois, por subida do nível freático, alteração da drenagem envolvente, erosão ou degradação dos materiais. A verificação dos estados limites em condições futuras plausíveis, e não apenas nas condições presentes, é uma exigência de boa prática que ganha particular relevo em áreas urbanas em rápida transformação, onde a impermeabilização crescente do solo altera profundamente o regime hidrológico.

4.3 Eixo 3 – Água, drenagem e erosão

O terceiro eixo reconhece que a água é, na generalidade dos casos, o agente desencadeador das roturas. A sua acção manifesta-se por várias vias: aumento da pressão intersticial e redução das tensões efectivas, perda da sucção em solos não saturados, colapso estrutural de solos de estrutura aberta, erosão superficial e interna, e degradação de materiais sensíveis à água. Na Região Leste, com precipitações intensas concentradas na estação chuvosa e solos arenosos de elevada erodibilidade, este eixo assume importância central.

A gestão da água deve ser pensada à escala da obra e à escala da bacia. À escala da obra, envolve drenagem superficial e profunda, protecção de taludes, dimensionamento de valetas e passagens hidráulicas e dissipação de energia nas descargas. À escala da bacia, exige que o crescimento urbano e a abertura de estradas não concentrem o escoamento em linhas de água sem capacidade de o receber. Muitas ravinas urbanas têm origem precisamente numa descarga de valeta ou num arruamento sem pavimentação que funciona como canal.

As soluções de controlo de ravinas combinam, em regra, três tipos de intervenção: a redução do escoamento que chega à cabeceira, através de infiltração e desvio das águas a montante; a estabilização da própria cabeceira e dos taludes, por reperfilamento, gabiões, estruturas de queda e revestimento vegetal; e a protecção do leito a jusante contra o aprofundamento. A experiência mostra que intervenções limitadas à contenção física da ravina, sem tratar o escoamento a montante, tendem a ser destruídas nas estações chuvosas seguintes. A engenharia natural, com recurso a espécies vegetais locais de enraizamento profundo, é uma componente de baixo custo e elevada eficácia, sobretudo em areias.

4.4 Eixo 4 – Maciços rochosos e mineração

O quarto eixo aplica a Mecânica das Rochas às escavações, túneis, fundações em rocha e, com especial relevância para o Leste de Angola, aos taludes de minas a céu aberto. A estabilidade de uma cava mineira depende da geometria dos taludes (altura, inclinação global e das bancadas, largura das bermas), das propriedades do maciço e das descontinuidades, das condições de água subterrânea e dos efeitos do desmonte com explosivos. As classificações RMR e GSI e o critério de Hoek-Brown fornecem o enquadramento para estimar a resistência do maciço e seleccionar ângulos de talude adequados.

Em chaminés kimberlíticas, a transição entre o kimberlito, frequentemente alterado e de menor resistência junto à superfície, e as rochas encaixantes cria contrastes mecânicos importantes. A monitorização sistemática dos taludes (prismas topográficos, radar de estabilidade, piezómetros) e a revisão periódica do modelo geotécnico à medida que a escavação progride são práticas internacionais recomendadas. O Código Mineiro (Lei n.º 31/11) estabelece o enquadramento legal em que estas práticas se inscrevem, incluindo as obrigações relativas ao fecho e à reabilitação das áreas exploradas.

A dimensão económica da estabilidade de taludes em mineração merece destaque. Cada grau adicional de inclinação global de uma cava profunda pode representar volumes muito significativos de estéril que deixam de ser escavados, com impacto directo no custo de extracção. Taludes demasiado conservadores reduzem a rentabilidade; taludes demasiado agressivos aumentam o risco de roturas que podem interromper a produção, destruir equipamento e pôr vidas em risco. A Mecânica das Rochas fornece, precisamente, o instrumento para encontrar o equilíbrio óptimo entre segurança e economia.

4.5 Eixo 5 – Materiais geotécnicos locais

O quinto eixo trata do aproveitamento dos solos e rochas como materiais de construção: aterros, camadas de pavimento, agregados, blocos de terra estabilizada e enrocamentos. Em Angola, onde o transporte de materiais a longas distâncias encarece significativamente as obras, a utilização racional de materiais locais é uma questão de eficiência económica. Os solos lateríticos, quando correctamente seleccionados e compactados, podem constituir bases e sub-bases de pavimentos de bom desempenho, como demonstra a experiência documentada por Nogami e Villibor (1995).

A areia do Kalahari, embora pobre como material de pavimento sem tratamento, pode ser estabilizada com cimento, cal ou emulsões betuminosas, ou utilizada em misturas com solos finos. A identificação de manchas de empréstimo, o controlo de compactação em obra e a verificação da durabilidade face à água são componentes essenciais deste eixo. A ausência de controlo de qualidade dos materiais é uma das causas mais frequentes de degradação precoce de estradas.

A utilização de materiais locais tem também uma dimensão de sustentabilidade e de desenvolvimento local. Reduz o consumo de combustível e as emissões associadas ao transporte, diminui a dependência de importações de materiais industrializados e pode gerar emprego local na exploração e preparação de materiais. Tecnologias como os blocos de terra comprimida e estabilizada com cimento, adequadas a equipamentos sociais e habitação de baixo custo, dependem inteiramente de uma boa caracterização dos solos disponíveis, confirmando a ligação entre Mecânica dos Solos e políticas de habitação e desenvolvimento.

4.6 Eixo 6 – Governação técnica e capital humano

O sexto eixo reconhece que o conhecimento técnico só produz efeito quando existem instituições, regras e pessoas capazes de o aplicar. Inclui a exigência legal e contratual de estudos geotécnicos, a qualificação dos projectistas e fiscais, a capacidade laboratorial, a revisão independente de projectos de risco elevado e a formação contínua. Neste eixo, o papel das instituições de ensino superior, como o Instituto Politécnico de Saurimo e a Universidade Lueji A'Nkonde, é determinante, tanto na formação de engenheiros como na produção de conhecimento sobre os solos da região.

A governação técnica tem uma dimensão económica que importa sublinhar. A decisão de investir, ou não, na investigação geotécnica é frequentemente tomada por gestores e decisores sem formação em engenharia, sob pressão de prazo e de orçamento. Tornar visível o custo esperado da incerteza geotécnica, em comparação com o custo da investigação, é uma forma eficaz de alterar essas decisões.

A revisão independente de projectos constitui um dos instrumentos mais eficazes deste eixo. Consiste na análise do projecto geotécnico por uma entidade ou técnico que não participou na sua elaboração, com o objectivo de identificar omissões, hipóteses não justificadas e riscos não considerados. Em obras de risco elevado, a sua adopção sistemática reduz a probabilidade de erros graves a um custo marginal. Em Angola, o LEA, pelas suas atribuições de estudo do comportamento de obras e de assistência técnica, e as instituições de ensino superior, pela sua competência científica, estão em condições de desempenhar papéis complementares neste domínio.

4.7 Síntese da abordagem

Os seis eixos são interdependentes: o conhecimento do terreno (Eixo 1) alimenta o dimensionamento (Eixo 2); a água (Eixo 3) condiciona tanto os solos como as rochas (Eixo 4) e a durabilidade dos materiais (Eixo 5); e todos dependem da governação técnica (Eixo 6). A Tabela 3 sintetiza a abordagem.

Tabela 4 – Síntese da abordagem em seis eixos aplicada ao contexto angolano

Eixo	Pergunta orientadora	Problema típico em Angola	Resposta técnica prioritária
1. Conhecimento do terreno	Sabemos sobre que terreno estamos a construir?	Fundações-tipo sem sondagens	Programa mínimo de investigação proporcional à obra

Eixo	Pergunta orientadora	Problema típico em Angola	Resposta técnica prioritária
2. Comportamento mecânico	Os parâmetros são adequados ao material?	Correlações de clima temperado aplicadas a solos tropicais	Ensaio específicos e juízo de engenharia
3. Água e erosão	Para onde vai a água?	Ravinas originadas em descargas de drenagem	Drenagem à escala da obra e da bacia
4. Maciços e mineração	O maciço suporta a geometria projectada?	Taludes de cava sem revisão periódica do modelo	Classificação RMR/GSI e monitorização
5. Materiais locais	Os materiais locais servem e estão controlados?	Degradação precoce de pavimentos	Seleção, estabilização e controlo de compactação
6. Governação técnica	Quem exige, verifica e aprende?	Estudos omitidos por prazo e custo	Exigência contratual, revisão independente e formação

Fonte: Elaborado pelo autor com base na revisão da literatura (Secção 2).

5. Sinais de Alerta

A experiência internacional e regional permite identificar sinais de alerta que indicam que o comportamento do terreno não está a ser adequadamente considerado. Estes sinais podem manifestar-se na fase de planeamento (sinais de processo) ou durante a construção e a exploração (sinais físicos). A sua identificação precoce permite intervenções de baixo custo antes que os problemas se agravem.

Tabela 5 – Sinais de alerta geotécnicos e respectivo significado

Sinal de alerta	Fase	Significado provável	Acção recomendada
Projecto sem relatório geotécnico	Planeamento	Incerteza não quantificada transferida para a obra	Suspender aprovação até investigação mínima
Fissuras diagonais em paredes junto a cantos	Exploração	Assentamentos diferenciais das fundações	Monitorizar fissuras e investigar fundações
Sulcos junto a valetas e descargas	Construção / exploração	Início de erosão linear que pode evoluir para ravina	Dissipar energia e proteger a descarga
Taludes verticais estáveis só na época seca	Construção	Resistência dependente da sucção	Reperfilar e drenar antes das chuvas
Deformação em trilhos de rodado no pavimento	Exploração	Material de base inadequado ou mal compactado	Ensaio de controlo e reabilitação estrutural
Fissuras de tracção na crista de taludes de cava	Exploração mineira	Movimento incipiente do maciço	Monitorização intensiva e revisão da geometria

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Jennings e Knight (1975), Fredlund e Rahardjo (1993) e Hoek e Brown (1997).

Os sinais de processo merecem atenção particular porque precedem os físicos e são mais baratos de corrigir. Um caderno de encargos que remete as condições do terreno para "verificação em obra", um cronograma que não prevê tempo para sondagens ou uma

estimativa orçamental sem rubrica para ensaios são indicadores de que o risco geotécnico está a ser ignorado. Em contrapartida, os sinais físicos, como as fissuras ou os sulcos de erosão, são frequentemente o primeiro indício visível de um problema cuja origem remonta a decisões tomadas meses ou anos antes.

Na Região Leste, a leitura dos sinais de alerta deve ter em conta o calendário climático. A transição entre a estação seca e a estação chuvosa é o período de maior risco: taludes, escavações e fundações que se comportaram bem durante meses podem perder rapidamente a resistência associada à sucção, e as primeiras chuvas intensas tendem a activar ou acelerar processos erosivos. Inspeções sistemáticas antes e depois das primeiras chuvas, com registo fotográfico e georreferenciado, constituem um instrumento simples e eficaz de gestão preventiva do risco geotécnico.

6. Simulação de Casos Aplicados ao Contexto Angolano

Os quatro casos seguintes são ilustrativos e anonimizados. Foram construídos a partir de situações típicas descritas na literatura e observáveis na Região Leste, com o objectivo de demonstrar a aplicação da abordagem em seis eixos. Não representam obras concretas nem entidades identificáveis.

Cada caso é descrito segundo a mesma estrutura: a situação de partida, a leitura à luz dos eixos da abordagem, a resposta técnica proposta e a lição principal. Esta uniformidade facilita a comparação entre casos e permite verificar que, apesar da diversidade das obras (um equipamento escolar, uma estrada, uma cava mineira e um edifício de habitação), os mecanismos de falha têm raízes comuns, quase sempre associadas à insuficiência do conhecimento do terreno, à gestão deficiente da água ou à ausência de exigência técnica no processo de decisão.

6.1 Caso A – Escola pública sobre cobertura arenosa próxima de uma cabeceira de ravina

Uma escola primária de um piso é projectada num bairro periférico de uma capital provincial do Leste, com fundações superficiais corridas adoptadas a partir de um projecto-tipo. O terreno é constituído por areia fina do Kalahari, e o lote situa-se a cerca de 80 metros da cabeceira de uma ravina activa. O projecto não inclui estudo geotécnico nem plano de drenagem do recinto; as águas pluviais da cobertura descarregam directamente no terreno.

A aplicação dos Eixos 1 e 3 revela dois riscos principais: a possibilidade de erosão remontante da ravina em direcção ao lote, acelerada pela descarga das águas da própria escola, e a erosão localizada junto às fundações. Uma investigação mínima, com poços de reconhecimento e ensaios de penetração dinâmica, permite confirmar a compacidade da areia e a profundidade adequada das fundações. A resposta técnica inclui a recolha e condução das águas pluviais para um ponto de descarga protegido, afastado da ravina, a protecção vegetal do terreno envolvente e a articulação com a administração municipal para o tratamento da cabeceira da ravina. O custo adicional estimado destas medidas é reduzido face ao valor da obra, enquanto a sua omissão poderia comprometer a própria existência do edifício.

6.2 Caso B – Estrada secundária com base em solo laterítico

Uma estrada secundária de ligação entre sedes municipais é reabilitada com base granular obtida em manchas de empréstimo de solo laterítico próximas do traçado. Dois anos após a conclusão, o pavimento apresenta deformações em trilhos de rodado e desagregação nas bermas. A análise retrospectiva, à luz do Eixo 5, mostra que as manchas de empréstimo não foram caracterizadas de forma sistemática, que parte do material apresentava comportamento não laterítico e sensível à água, e que o controlo de compactação em obra foi irregular.

A correcção do problema, em fase de reabilitação, exigiria a remoção e substituição da camada de base, a um custo várias vezes superior ao da caracterização prévia. A lição do caso é que a utilização de materiais locais é economicamente vantajosa apenas quando acompanhada de selecção criteriosa, com recurso a metodologias adaptadas a solos tropicais, e de controlo de qualidade rigoroso. A articulação com o LEA para ensaios de referência, conforme as suas atribuições estatutárias, reforçaria a fiabilidade do processo.

6.3 Caso C – Talude de cava numa exploração diamantífera

Numa exploração diamantífera a céu aberto, o aprofundamento da cava expõe um horizonte de kimberlito alterado de resistência inferior à prevista no modelo geotécnico original. Surgem fissuras de tracção na crista de um sector do talude após a estação chuvosa. A aplicação do Eixo 4 conduz à revisão da classificação do maciço nesse sector, à reavaliação dos parâmetros de Hoek-Brown com base em novos ensaios e à instalação de piezómetros para avaliar a pressão da água.

A resposta inclui a redução local da inclinação global do talude, a execução de drenos sub-horizontais e a intensificação da monitorização com prismas topográficos. O caso ilustra que, em mineração, o modelo geotécnico é um instrumento vivo, que deve ser actualizado à medida que a escavação revela o maciço, e que a água, mais uma vez, desempenha papel central no desencadeamento da instabilidade.

6.4 Caso D – Edifício de habitação colectiva sobre solo de estrutura colapsível

Um edifício de habitação colectiva de quatro pisos é construído sobre um depósito arenoso-siltoso de estrutura aberta, com fundações em sapatas isoladas dimensionadas com base na capacidade de carga estimada em ensaios realizados na estação seca. Após a primeira estação chuvosa, e com a rotura de uma conduta de abastecimento de água junto a um dos alçados, surgem assentamentos diferenciais significativos, com fissuração diagonal em paredes de alvenaria e desnivelamento de pavimentos.

A análise à luz dos Eixos 2 e 3 indica tratar-se de um solo colapsível, cuja resistência dependia da sucção e de ligações entre partículas que se desfizeram por humedecimento sob carga, na linha do descrito por Jennings e Knight (1975). A identificação prévia, através de ensaios edométricos com inundação, teria permitido optar por fundações mais profundas, por melhoramento do terreno (compactação ou substituição) ou por medidas rigorosas de controlo da água junto às fundações. A remediação, com reforço de fundações por micro-estacas e reparação estrutural, atinge um custo que excede largamente o que teria custado a investigação e a solução adequada desde o início.

Tabela 6 – Síntese dos casos simulados

Caso	Eixos mais relevantes	Falha de origem	Resposta proposta	Lição principal
A – Escola	1, 3, 6	Projecto-tipo sem estudo nem drenagem	Investigação mínima, condução de águas e tratamento da ravina	A drenagem protege tanto quanto a fundação
B – Estrada	2, 5, 6	Materiais locais sem caracterização nem controlo	Seleção MCT, ensaios de referência e controlo de compactação	Material local só é barato se for controlado
C – Talude de cava	2, 3, 4	Modelo geotécnico não actualizado	Revisão RMR/GSI, drenagem e monitorização	O modelo geotécnico é dinâmico
D – Edifício	2, 3	Solo colapsível não identificado	Ensaio edométrico com inundação e controlo da água	Ensaio nas condições mais desfavoráveis

Caso	Eixos mais relevantes	Falha de origem	Resposta proposta	Lição principal
Transversal	6	Decisão tomada sem visibilidade do risco	Revisão independente e bases de dados	Governança técnica condiciona todos os eixos
Síntese	Todos	Subvalorização do terreno	Integração sistemática da Mecânica dos Solos e Rochas	Prevenir é mais barato que remediar

Fonte: Elaborado pelo autor com base na simulação de casos ilustrativos.

7. Factores Críticos de Sucesso

A partir da revisão e dos casos simulados, identificam-se os factores que mais contribuem para que a Mecânica dos Solos e das Rochas produza efectivamente segurança, durabilidade e eficiência económica nas obras em Angola.

- **Investigação proporcional e atempada:** o programa de investigação deve ser definido na fase de estudo prévio e proporcional à categoria geotécnica da obra, e não remetido para a fase de construção.
- **Adequação dos modelos aos solos tropicais:** a utilização de metodologias e correlações validadas para solos lateríticos, residuais e arenosos evita erros sistemáticos de dimensionamento.
- **Gestão integrada da água:** a drenagem deve ser tratada como parte essencial da solução geotécnica, à escala da obra e da bacia.
- **Capacidade laboratorial acessível:** a existência de laboratórios equipados e acreditados próximos das obras, e não apenas em Luanda, reduz custos e prazos e aumenta a qualidade dos dados.
- **Qualificação dos intervenientes:** projectistas, fiscais e empreiteiros com formação sólida em geotecnia tomam melhores decisões e reconhecem sinais de alerta.
- **Monitorização e aprendizagem:** o registo do comportamento das obras e a partilha de dados alimentam a melhoria contínua.

Estes factores não são independentes. A capacidade laboratorial, por exemplo, só produz efeito se existir exigência contratual de ensaios; e a exigência contratual só é eficaz se os fiscais tiverem formação para verificar a qualidade dos resultados. A melhoria sustentada exige, por isso, uma actuação simultânea sobre vários factores.

Acrescenta-se um factor de natureza cultural: a valorização do conhecimento técnico nas decisões de investimento. Onde o parecer geotécnico é visto como um obstáculo burocrático ao cumprimento de prazos, tende a ser contornado; onde é visto como uma protecção do investimento e da vida humana, tende a ser procurado. A mudança desta percepção depende da comunicação clara, por parte dos engenheiros, das consequências económicas e sociais das suas recomendações, numa linguagem acessível aos decisores.

8. Plano de Acção

Propõe-se um plano de acção faseado, orientado para as entidades públicas contratantes, as instituições de ensino superior e as empresas do sector da construção e da mineração da Região Leste.

Tabela 7 – Plano de acção para a integração da Mecânica dos Solos e das Rochas nas obras da Região Leste

Acção	Responsáveis	Horizonte	Indicador de resultado
Exigir relatório geotécnico mínimo em todas as obras públicas acima de um limiar de valor	Entidades contratantes; governos provinciais	Curto prazo	% de projectos aprovados com relatório
Criar base de dados geotécnica provincial de acesso aberto	Governo provincial; instituições de ensino superior	Médio prazo	N.º de registos de sondagens e ensaios
Instalar ou reforçar laboratório regional de geotecnia, em articulação com o LEA	Ministério competente; LEA; universidade	Médio prazo	Tempo médio de resposta a ensaios
Programa de controlo de ravinas urbanas com base em drenagem	Administrações municipais; engenheiros	Curto a médio prazo	N.º de cabeceiras estabilizadas
Formação contínua de fiscais e projectistas em solos tropicais	Instituições de ensino superior; ordens profissionais	Contínuo	N.º de técnicos certificados
Revisão independente de projectos de categoria geotécnica elevada	Donos de obra; empresas mineiras	Curto prazo	% de projectos revistos

Fonte: *Elaborado pelo autor.*

A execução do plano deve ser acompanhada por um mecanismo simples de monitorização, com indicadores anuais divulgados publicamente. A ordem das acções não é indiferente: a exigência de relatórios geotécnicos mínimos e a revisão independente de projectos de risco elevado produzem efeitos imediatos e não dependem de investimentos avultados, podendo ser adoptadas de imediato; a base de dados e o laboratório regional

exigem planeamento e financiamento, mas multiplicam o valor das restantes acções a médio prazo; e a formação contínua sustenta o conjunto ao longo do tempo.

9. Discussão

Os resultados deste estudo confirmam a tese central da literatura clássica e contemporânea: a Mecânica dos Solos e das Rochas não é um acessório técnico, mas uma condição de viabilidade das infra-estruturas. A novidade da análise reside na sua leitura a partir do contexto angolano e, em particular, da Região Leste, onde a combinação de areias do Kalahari, solos lateríticos, erosão por ravinas e mineração a céu aberto cria um quadro geotécnico com poucas analogias directas nos manuais tradicionais.

Um primeiro ponto de discussão diz respeito à transferência de conhecimento. A teoria clássica foi desenvolvida, em grande parte, na Europa e na América do Norte, para solos sedimentares saturados de clima temperado. A literatura sobre solos tropicais (Gidigas, 1976; Fookes, 1997; Wesley, 2010; Blight & Leong, 2012) mostra que esta teoria permanece válida nos seus princípios, mas que os métodos de classificação, as correlações empíricas e as práticas de ensaio exigem adaptação. Em Angola, a formação de engenheiros continua frequentemente a basear-se em manuais que não dão a devida atenção a estes materiais, o que cria um desfasamento entre o que se ensina e o que se encontra no terreno.

Um segundo ponto diz respeito à economia da investigação geotécnica. A literatura é consistente em mostrar que o custo da incerteza geotécnica não desaparece quando a investigação é omitida; apenas se desloca para a fase de construção, sob a forma de trabalhos a mais, alterações de projecto e atrasos, ou para a fase de exploração, sob a forma de patologias e reabilitações antecipadas. Numa economia em que o investimento público tem forte peso e em que os recursos orçamentais são limitados, esta deslocação do custo representa uma perda de eficiência significativa. A Lei dos Contratos Públicos (Lei n.º 41/20) oferece um enquadramento no qual a qualidade dos estudos prévios pode ser valorizada, mas a sua eficácia depende da prática das entidades contratantes.

Um terceiro ponto diz respeito à erosão por ravinas como problema de engenharia e não apenas ambiental. O estudo de Ferreira e Diogo (2015), no Luena, mostra que o fenómeno é activo e está associado à expansão urbana e ao escoamento superficial concentrado. A leitura geotécnica do problema, centrada na erodibilidade do solo, no

regime de escoamento e nos mecanismos de rotura dos taludes, permite passar de intervenções pontuais de emergência para uma estratégia preventiva baseada na drenagem e no ordenamento do território, em linha com a Lei n.º 3/04.

Um quarto ponto diz respeito à mineração. A exploração diamantífera é um dos pilares económicos da Região Leste, e a estabilidade dos taludes de cava tem implicações de segurança, de produtividade e de viabilidade económica. As classificações geomecânicas e o critério de Hoek-Brown constituem o padrão internacional, e a sua aplicação exige equipas qualificadas e dados de qualidade. A formação de quadros angolanos neste domínio, em instituições de ensino superior localizadas na própria região, reduz a dependência de competências externas e reforça a apropriação nacional do conhecimento.

Por fim, importa discutir a relação entre conhecimento técnico e decisão. Muitos dos problemas identificados não resultam da falta de conhecimento científico, que existe e está disponível, mas da forma como as decisões são tomadas: sob pressão de prazo, com orçamentos que não prevêm investigação e com intervenientes que não dispõem de formação para reconhecer o risco. A governação técnica (Eixo 6) emerge, assim, como o eixo que condiciona a eficácia de todos os outros.

9.1 Dimensão económica da incerteza geotécnica

Do ponto de vista económico, a investigação geotécnica pode ser entendida como a aquisição de informação para reduzir a incerteza sobre um activo de longa duração. O seu valor é tanto maior quanto maior for a incerteza inicial, a importância da obra e o custo das consequências de uma decisão errada. Em obras correntes, a investigação representa tipicamente uma fracção pequena do valor da obra; em contrapartida, os custos de trabalhos a mais, reforços e reabilitações associados a condições do terreno imprevistas podem atingir fracções muito superiores. Esta assimetria justifica, do ponto de vista estritamente económico, que a investigação seja tratada como investimento e não como custo a minimizar.

Esta leitura tem consequências para a gestão das finanças públicas. Num Programa de Investimentos Públicos em que muitas obras são contratadas em simultâneo e fiscalizadas com recursos limitados, a omissão sistemática de estudos geotécnicos gera um passivo oculto que só se manifesta anos mais tarde, sob a forma de despesa de

manutenção e reabilitação antecipada. Tornar este passivo visível, através de indicadores de desempenho das obras e de análises retrospectivas, é uma condição para que a decisão orçamental incorpore correctamente o valor da informação geotécnica.

9.2 Perspectiva comparada com contextos semelhantes

A comparação com países de condições naturais semelhantes é esclarecedora. O Brasil desenvolveu, a partir da década de 1970, uma escola própria de geotecnia de solos tropicais, que produziu metodologias como a MCT e uma vasta experiência em pavimentação de baixo custo com solos lateríticos, bem como no controlo de voçorocas em áreas urbanas de solos arenosos (Nogami & Villibor, 1995). A África do Sul consolidou conhecimento de referência sobre solos colapsíveis, expansivos e residuais, fortemente associado à sua indústria mineira (Jennings & Knight, 1975; Blight & Leong, 2012). Em ambos os casos, o factor decisivo foi a existência de instituições de investigação e de ensino com agenda própria, orientada para os problemas do país.

Angola dispõe de condições para seguir um percurso análogo: uma língua técnica partilhada com o Brasil, que facilita a transferência de conhecimento; uma indústria mineira que exige competências avançadas em Mecânica das Rochas; um laboratório nacional de engenharia com mandato de investigação; e instituições de ensino superior implantadas nas regiões com maior incidência de problemas geotécnicos. O desafio reside na articulação destes elementos numa agenda nacional de investigação geotécnica aplicada.

9.4 O papel da formação de engenheiros na Região Leste

A formação de engenheiros na própria região onde se colocam os problemas tem vantagens que não se limitam à proximidade geográfica. Os estudantes que realizam trabalhos práticos, estágios e projectos finais sobre os solos, as ravinas e as explorações mineiras da sua região desenvolvem uma familiaridade com o terreno que dificilmente se adquire nos manuais. Esta familiaridade traduz-se, mais tarde, numa maior capacidade de reconhecer sinais de alerta e de adaptar as soluções às condições locais.

Para que esta vantagem se concretize, é necessário que os currículos incluam componentes laboratoriais e de campo robustas, que os docentes disponham de condições para investigar e publicar sobre a geotecnia regional, e que existam parcerias estáveis com empresas e entidades públicas que permitam o acesso a obras e a dados. Os

trabalhos de fim de curso e as dissertações podem, deste modo, alimentar progressivamente a base de conhecimento regional, contribuindo para a base de dados geotécnica proposta no plano de acção. A universidade deixa, assim, de ser apenas consumidora de conhecimento produzido noutros contextos e passa a ser produtora de conhecimento sobre o seu próprio território, com benefícios directos para a qualidade das obras e para a gestão do risco nas comunidades.

9.3 Relevância no mundo, em África e em Angola

À escala mundial, a Mecânica dos Solos e das Rochas enfrenta hoje novos desafios associados às alterações climáticas, que intensificam os eventos de precipitação extrema e, consequentemente, os deslizamentos, a erosão e as cheias. À escala africana, o rápido crescimento urbano, a expansão das redes rodoviárias e a intensificação da actividade mineira aumentam a exposição das infra-estruturas a riscos geotécnicos, frequentemente em contextos de baixa capacidade laboratorial e de fiscalização. Em Angola, estes desafios convergem de forma particularmente intensa na Região Leste, o que confere à investigação geotécnica regional um valor estratégico que ultrapassa o interesse académico.

10. Implicações Práticas

Para as **entidades públicas contratantes**, a principal implicação é a necessidade de incluir a investigação geotécnica como componente obrigatória e orçamentada dos projectos, com termos de referência claros e fiscalização qualificada. A exigência de um relatório geotécnico, proporcional à categoria da obra, deve preceder a aprovação do projecto de execução.

Para os **projectistas e empreiteiros**, a implicação é a adopção de metodologias adaptadas aos solos tropicais e a integração da drenagem na concepção das soluções. A utilização de materiais locais deve ser acompanhada de caracterização e controlo, e os sinais de alerta devem ser reportados e tratados precocemente.

Para as **empresas mineiras**, a implicação é a manutenção de modelos geotécnicos actualizados, com monitorização sistemática e revisão periódica, no quadro das obrigações do Código Mineiro, bem como o investimento na formação de técnicos nacionais.

Para as **instituições de ensino superior**, e em particular para o Instituto Politécnico de Saurimo e a Universidade Lueji A'Nkonde, a implicação é dupla: reforçar os conteúdos curriculares sobre solos tropicais, erosão e mecânica das rochas aplicada à mineração, e desenvolver linhas de investigação sobre os solos da Região Leste, em parceria com o LEA, os governos provinciais e as empresas.

Tabela 8 – Implicações práticas por grupo de intervenientes

Interveniente	Implicação principal	Instrumento	Benefício esperado
Entidades contratantes	Investigação geotécnica obrigatória e orçamentada	Termos de referência; Lei n.º 41/20	Menos trabalhos a mais e atrasos
Projectistas	Modelos adaptados a solos tropicais	Metodologias específicas; Eurocódigo 7	Dimensionamento mais fiável
Empreiteiros	Controlo de materiais e compactação	Planos de qualidade; ensaios	Maior durabilidade dos pavimentos
Empresas mineiras	Modelos geotécnicos dinâmicos	RMR, GSI, monitorização; Lei n.º 31/11	Segurança e continuidade produtiva
Administrações municipais	Prevenção de ravinas pela drenagem	Planos urbanísticos; Lei n.º 3/04	Protecção de bairros e património
Ensino superior	Formação e investigação regional	Currículos; parcerias com o LEA	Capital humano e conhecimento local

Fonte: *Elaborado pelo autor.*

10.1 Aplicação sectorial

No **sector rodoviário**, a aplicação da abordagem traduz-se na caracterização sistemática de manchas de empréstimo, no dimensionamento de pavimentos com base em ensaios de capacidade de suporte e na integração de drenagem longitudinal e transversal adequada ao regime de chuvas. No **sector da habitação e equipamentos sociais**, traduz-se na investigação mínima de todos os lotes, na verificação da proximidade a ravinas e na adopção de soluções de fundação adequadas a solos arenosos e colapsíveis. No **sector mineiro**, traduz-se em modelos geotécnicos dinâmicos, monitorização contínua e planeamento de escombreyas estáveis. No **sector da energia e da água**, traduz-se na investigação aprofundada de fundações de barragens, captações e condutas, onde a percolação e a erosão interna constituem riscos maiores.

Em todos os sectores, a transversalidade da drenagem e da governação técnica mantém-se: sem gestão adequada da água e sem exigência institucional de qualidade, os ganhos obtidos nos restantes eixos tendem a ser efémeros.

11. Limitações

O estudo apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A primeira decorre do seu carácter teórico-conceitual: não foram realizadas campanhas de campo nem ensaios laboratoriais, pelo que os parâmetros e as observações sobre os solos da Região Leste se baseiam na literatura e não em dados originais. A segunda decorre da natureza ilustrativa dos casos simulados, que não substituem estudos de caso empíricos com dados reais de obras.

A terceira limitação relaciona-se com a escassez de literatura publicada e acessível sobre a geotecnia específica de Angola, o que obrigou a recorrer, em parte, a analogias com contextos comparáveis, como o Brasil e a África do Sul. Estudos futuros deverão privilegiar a caracterização sistemática de solos da Região Leste, a monitorização de ravinas e a análise retrospectiva de patologias em obras públicas, idealmente com recurso a bases de dados partilhadas.

Reconhece-se, por fim, que a abordagem proposta se centra nas dimensões técnicas e institucionais e trata de forma apenas indicativa as dimensões económico-financeiras, como a análise custo-benefício da investigação geotécnica em obras concretas. O desenvolvimento de modelos quantitativos de valor da informação geotécnica, calibrados com dados de obras angolanas, constitui uma linha de investigação promissora, na intersecção entre a engenharia e a economia, que poderá ser desenvolvida em trabalhos futuros.

12. Proposta de Adaptação Simplificada ao Contexto Angolano

Tendo em conta as limitações de recursos, a dispersão geográfica e a diversidade de obras, propõe-se uma adaptação simplificada da abordagem em seis eixos, organizada em três níveis de exigência, proporcionais à importância da obra e à complexidade do terreno.

Nível 1 – Obras correntes de pequena dimensão (habitações unifamiliares, pequenos equipamentos sociais): reconhecimento de superfície, poços de reconhecimento, ensaios de penetração dinâmica e ensaios laboratoriais básicos (granulometria, limites, teor em água); plano de drenagem do lote; verificação da distância a ravinas e linhas de água.

Nível 2 – Obras de média dimensão (escolas, centros de saúde, estradas secundárias, edifícios até alguns pisos): sondagens com ensaios SPT, ensaios laboratoriais de resistência e compressibilidade, caracterização de manchas de empréstimo com metodologias adaptadas a solos tropicais, projecto de drenagem integrado e fiscalização com técnico qualificado em geotecnia.

Nível 3 – Obras de grande dimensão ou elevado risco (pontes, barragens, estradas principais, taludes de mineração, edifícios altos): programa completo de investigação conforme o Eurocódigo 7, ensaios in situ e laboratoriais avançados, classificação geomecânica dos maciços, modelação numérica, revisão independente do projecto e plano de monitorização durante a construção e a exploração.

Esta proposta pode ser implementada progressivamente, começando pela exigência do Nível 1 em todas as obras públicas e pela criação de uma base de dados provincial, com o apoio das instituições de ensino superior da região. O seu custo é moderado quando comparado com os custos de remediação evitados, e o seu valor acrescentado cresce com o tempo, à medida que o conhecimento acumulado reduz a incerteza das obras futuras.

A classificação de uma obra num dos três níveis deve considerar não apenas a sua dimensão, mas também a complexidade do terreno e as consequências de uma rotura. Uma escola de pequena dimensão localizada junto à cabeceira de uma ravina activa, por exemplo, deve ser tratada no Nível 2, e não no Nível 1, porque o risco associado ao terreno e à ocupação por crianças é elevado. Este princípio de proporcionalidade ao risco, e não apenas ao valor, é coerente com a lógica das categorias geotécnicas do Eurocódigo 7 e permite concentrar os recursos disponíveis onde eles produzem maior benefício.

13. Conclusão

Este artigo procurou demonstrar que a Mecânica dos Solos e das Rochas constitui a base científica indispensável à segurança, à durabilidade e à eficiência económica das infra-estruturas em Angola. Os fundamentos clássicos, desde o princípio das tensões efectivas de Terzaghi até às classificações geomecânicas e ao critério de Hoek-Brown, mantêm plena validade, mas a sua aplicação ao contexto angolano exige a consideração das particularidades dos solos tropicais, lateríticos, residuais e arenosos e dos maciços associados à mineração.

Na Região Leste, a combinação de areias do Kalahari altamente erodíveis, solos lateríticos de comportamento variável, chuvas intensas concentradas e exploração mineira a céu aberto torna a geotecnia uma questão de interesse público de primeira ordem. A evolução documentada de ravinas em Saurimo e no Luena ilustra, de forma particularmente clara, as consequências de um crescimento urbano e rodoviário que não integra o comportamento do terreno e da água.

A abordagem em seis eixos proposta (conhecimento do terreno, comportamento mecânico, água e erosão, maciços e mineração, materiais locais e governação técnica) oferece uma grelha prática para orientar decisões em todas as fases das obras. Os casos simulados mostram que a maior parte dos problemas geotécnicos tem origem em decisões tomadas na fase de planeamento e que a prevenção é consideravelmente mais económica do que a remediação.

Conclui-se, assim, que o fortalecimento da Mecânica dos Solos e das Rochas em Angola depende menos da produção de nova teoria do que da sua aplicação sistemática, apoiada em exigências contratuais claras, capacidade laboratorial regional, formação de quadros e partilha de conhecimento. As instituições de ensino superior da Região Leste têm neste domínio uma oportunidade e uma responsabilidade particulares, enquanto produtoras de conhecimento sobre os solos em que a própria região se constrói.

Como agenda de investigação futura, sugerem-se quatro linhas prioritárias: a caracterização geotécnica sistemática das areias do Kalahari e dos solos lateríticos da Região Leste, com vista à produção de parâmetros de referência regionais; a monitorização quantitativa da evolução de ravinas urbanas e a avaliação da eficácia das medidas de controlo; a análise retrospectiva de patologias em obras públicas, com identificação das respectivas causas geotécnicas; e o estudo económico do valor da investigação geotécnica no contexto do investimento público angolano. Estas linhas oferecem oportunidades de cooperação entre a universidade, o LEA, os governos provinciais e o sector empresarial, em benefício directo das comunidades da região.

Referências Bibliográficas

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6(4), 189–236. <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.

- Blight, G. E., & Leong, E. C. (Eds.). (2012). *Mechanics of residual soils* (2nd ed.). CRC Press.
- Casagrande, A. (1948). Classification and identification of soils. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113, 901–930.
- CEN – European Committee for Standardization. (2004). *EN 1997-1: Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 1: General rules*. CEN.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Deere, D. U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, 1(1), 16–22.
- Ferreira, J. C., & Diogo, J. J. (2015). Mitigação do efeito da erosão do solo na cidade do Luena: contenção de ravinas e gestão sustentável dos solos. In *VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*. APRH.
- Fookes, P. G. (Ed.). (1997). *Tropical residual soils: A Geological Society Engineering Group Working Party revised report*. Geological Society.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470172759>
- Gidigas, M. D. (1976). *Laterite soil engineering: Pedogenesis and engineering principles*. Elsevier.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 106(GT9), 1013–1035.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34(8), 1165–1186. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(97\)80069-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)80069-X)
- Jennings, J. E., & Knight, K. (1975). A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure. In *Proceedings of the 6th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (pp. 99–105). Durban.
- Nogami, J. S., & Villibor, D. F. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. Editora Villibor.
- República de Angola. (2004). *Lei n.º 3/04, de 25 de Junho – Lei do Ordenamento do Território e do Urbanismo*. Diário da República.
- República de Angola. (2011). *Lei n.º 31/11, de 23 de Setembro – Código Mineiro*. Diário da República.
- República de Angola. (2014). *Decreto Presidencial n.º 306/14, de 21 de Novembro – Aprova o Estatuto Orgânico do Laboratório de Engenharia de Angola (LEA)*. Diário da República, I Série, n.º 207.
- República de Angola. (2020). *Lei n.º 41/20, de 23 de Dezembro – Lei dos Contratos Públicos*. Diário da República.
- Roscoe, K. H., Schofield, A. N., & Wroth, C. P. (1958). On the yielding of soils. *Géotechnique*, 8(1), 22–53. <https://doi.org/10.1680/geot.1958.8.1.22>
- Skempton, A. W. (1954). The pore-pressure coefficients A and B. *Géotechnique*, 4(4), 143–147. <https://doi.org/10.1680/geot.1954.4.4.143>

- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9780470172766>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Ulusay, R., & Hudson, J. A. (Eds.). (2007). *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006*. ISRM Turkish National Group.
- Wesley, L. D. (2010). *Geotechnical engineering in residual soils*. John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9780470611364>