

O IMPACTO DA GEOTECNIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ANGOLA: INVESTIGAÇÃO DO TERRENO, FUNDAÇÕES, OBRAS LINEARES E GESTÃO DO RISCO GEOTÉCNICO NO CICLO DE VIDA DAS OBRAS

*The Impact of Geotechnics on Civil Construction in Angola: Ground Investigation,
Foundations, Linear Works and Geotechnical Risk Management across the Project Life
Cycle*

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.v2i3.831>

RESUMO

O presente artigo analisa o impacto da Geotecnia na construção civil em Angola, entendendo-a não apenas como disciplina técnica de dimensionamento, mas como função de gestão do risco que atravessa todo o ciclo de vida das obras, do planeamento à exploração. Partindo da literatura internacional sobre investigação do terreno (Clayton et al.; Site Investigation Steering Group), fundações (Meyerhof; Poulos e Davis; Skempton e MacDonald; Burland e Wroth), método observacional (Peck), pavimentos em regiões tropicais (TRL; Charman) e gestão do risco geotécnico (Van Staveren; Essex), o estudo examina de que modo as condições do terreno influenciam a segurança, o custo, o prazo e a durabilidade das obras em Angola.

A metodologia é qualitativa, teórico-conceitual e aplicada, apoiada em revisão sistematizada de literatura, análise documental de legislação e instituições angolanas (Lei n.º 41/20, Lei n.º 3/04, Decreto Presidencial n.º 306/14) e simulação de quatro casos ilustrativos anonimizados. Propõe-se uma abordagem de seis eixos: geotecnia no planeamento, fundações e estruturas de suporte, obras de terra e pavimentos, água e estabilidade, risco geotécnico e contratação, e controlo, monitorização e aprendizagem. Os resultados indicam que as condições imprevistas do terreno estão entre as causas mais frequentes de derrapagens de custo e prazo, e que a integração precoce da Geotecnia, a alocação contratual clara do risco do terreno e a monitorização sistemática produzem ganhos substanciais de eficiência. Apresenta-se uma proposta de adaptação simplificada ao contexto angolano.

Palavras-chave: Geotecnia; Construção Civil; Fundações; Risco Geotécnico; Pavimentos; Contratação Pública; Angola.

ABSTRACT

This article analyses the impact of Geotechnics on civil construction in Angola, framing it not only as a design discipline but as a risk management function spanning the entire life cycle of works, from planning to operation. Drawing on international literature on site investigation, foundations, the observational method, road pavements in tropical regions and geotechnical risk management, the study examines how ground conditions shape safety, cost, schedule and durability. The methodology is qualitative, theoretical-conceptual and applied, based on literature review, analysis of Angolan legislation and institutions, and four illustrative anonymised cases. A six-axis approach is proposed. Results indicate that unforeseen ground conditions are among the most frequent causes of cost and time overruns, and that early integration of Geotechnics, clear contractual allocation of ground risk and systematic monitoring deliver substantial efficiency gains. A simplified adaptation to the Angolan context is presented.

Keywords: Geotechnics; Civil Construction; Foundations; Geotechnical Risk; Pavements; Public Procurement; Angola.

1. Introdução

A construção civil é, em qualquer economia, um dos sectores com maior efeito multiplicador sobre o emprego, o investimento e o crescimento. Em Angola, o seu peso tem sido particularmente elevado nas últimas duas décadas, no quadro de um vasto esforço de reconstrução e modernização das infra-estruturas: estradas nacionais e provinciais, pontes, centralidades habitacionais, hospitais, escolas, aeroportos, portos, caminhos-de-ferro e sistemas de abastecimento de água. Este esforço tem sido acompanhado, contudo, por uma realidade menos visível: uma parte significativa das patologias, dos atrasos e das derrapagens de custos das obras tem origem no terreno sobre o qual estas se apoiam.

A Geotecnia é o ramo da engenharia que estuda o comportamento dos solos e das rochas enquanto suporte e material das obras, integrando a Mecânica dos Solos, a Mecânica das Rochas, a Geologia de Engenharia e a hidrogeologia aplicada. O seu impacto na construção civil manifesta-se em múltiplos planos: no dimensionamento seguro e económico das fundações; na estabilidade de escavações, taludes e aterros; no desempenho e na durabilidade dos pavimentos; na protecção contra a erosão e as cheias; e, de forma transversal, na gestão do risco associado à incerteza sobre as condições do terreno.

Esta última dimensão merece ênfase particular. A literatura internacional consolidou, a partir da década de 1990, a ideia de que o terreno é a maior fonte isolada de risco técnico e financeiro nas obras de construção. O relatório do Site Investigation Steering Group (1993), no Reino Unido, sintetizou esta conclusão numa fórmula que se tornou célebre: sem investigação do terreno, o terreno é um perigo. Estudos sobre grandes obras públicas mostraram, por sua vez, que as derrapagens de custo são sistemáticas e não aleatórias (Flyvbjerg et al., 2002), e que as condições imprevistas do terreno figuram entre as suas causas técnicas mais recorrentes (Van Staveren, 2006).

Em Angola, o impacto da Geotecnia é amplificado por um conjunto de factores. A diversidade geológica do território, que inclui desde as argilas expansivas e os depósitos aluvionares do litoral até às areias do Kalahari e aos solos lateríticos do planalto e do Leste, exige soluções diferenciadas. O clima tropical, com chuvas intensas concentradas, potencia a erosão e a instabilidade. A capacidade laboratorial e de fiscalização encontra-se concentrada nos grandes centros urbanos. E a pressão para executar obras em prazos curtos conduz, com frequência, à omissão ou à redução da investigação do terreno. Na Região Leste, estudos sobre erosão hídrica na cidade do Luena, no Moxico, ilustram as consequências da desarticulação entre construção, drenagem e comportamento do terreno (Ferreira & Diogo, 2015).

O **problema de investigação** que orienta este artigo formula-se assim: qual é o impacto da Geotecnia na segurança, no custo, no prazo e na durabilidade das obras de construção civil em Angola, e de que modo pode ser integrada de forma sistemática no ciclo de vida das obras para maximizar esse impacto positivo?

O **objectivo geral** é analisar o impacto da Geotecnia na construção civil angolana e propor uma abordagem estruturada para a sua integração no ciclo de vida das obras. Os **objectivos específicos** são: (i) sistematizar os contributos da literatura sobre investigação do terreno, fundações, obras de terra, pavimentos e gestão do risco geotécnico; (ii) identificar os mecanismos pelos quais as condições do terreno afectam o custo, o prazo e a qualidade das obras; (iii) caracterizar sinais de alerta, factores críticos de sucesso e boas práticas; (iv) simular a aplicação da abordagem a casos ilustrativos; e (v) formular uma proposta de adaptação simplificada ao contexto angolano.

A **justificativa** do estudo é tripla. Do ponto de vista económico, o volume de investimento em construção exige que se reduzam as perdas associadas a patologias e

derrapagens evitáveis. Do ponto de vista social, a segurança de edifícios públicos, habitações e estradas afecta directamente a vida das populações. Do ponto de vista institucional, a Lei dos Contratos Públicos (Lei n.º 41/20) e o mandato do Laboratório de Engenharia de Angola (Decreto Presidencial n.º 306/14) oferecem instrumentos cuja eficácia depende de uma compreensão clara do papel da Geotecnia.

O artigo parte de uma perspectiva que cruza a engenharia com a economia do investimento. A Geotecnia é aqui entendida como uma função que protege o valor dos activos construídos, reduzindo a probabilidade e as consequências de falhas associadas ao terreno. Esta leitura permite dialogar com os decisores que, em última instância, determinam o orçamento, o prazo e o modelo contratual das obras, e que nem sempre dispõem de formação técnica para avaliar as implicações das suas escolhas sobre o risco geotécnico.

O artigo está organizado em treze secções. 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 A Geotecnia como disciplina integradora

A Geotecnia moderna resulta da convergência de várias disciplinas. A Mecânica dos Solos, fundada por Terzaghi, forneceu os princípios de tensões efectivas, consolidação e resistência ao corte; a Mecânica das Rochas acrescentou a compreensão do papel das discontinuidades e dos maciços; a Geologia de Engenharia trouxe a leitura dos processos de formação e da variabilidade espacial dos terrenos; e a hidrogeologia permitiu compreender o papel da água subterrânea. Terzaghi, Peck e Mesri (1996) sublinharam que a prática geotécnica exige a combinação destes conhecimentos com a observação atenta do comportamento real das obras e com um juízo de engenharia que nenhum método de cálculo substitui.

Esta natureza integradora explica por que razão o impacto da Geotecnia na construção não se limita a uma fase ou a um elemento específico da obra. Ela intervém na

escolha do local, na concepção da solução estrutural, no dimensionamento das fundações e das obras de terra, na definição dos métodos construtivos, no controlo de qualidade, na monitorização e na manutenção. Omiti-la numa destas fases gera, frequentemente, problemas que só se revelam nas fases seguintes, quando a sua correcção é mais cara.

Uma consequência importante desta visão integradora é a necessidade de comunicação entre especialidades. O geólogo que descreve o terreno, o engenheiro geotécnico que o modela, o engenheiro de estruturas que dimensiona a superestrutura, o engenheiro hidráulico que concebe a drenagem e o gestor de projecto que controla o custo e o prazo trabalham, frequentemente, com linguagens e prioridades diferentes. Muitas falhas geotécnicas resultam não da falta de conhecimento de uma especialidade, mas da ausência de transmissão desse conhecimento às restantes. O relatório geotécnico, escrito de forma clara e acessível, constitui o principal instrumento de ligação entre estas especialidades.

2.2 Investigação do terreno e o custo da incerteza

A investigação do terreno constitui a base de todo o trabalho geotécnico. Clayton, Matthews e Simons (1995) descrevem-na como um processo faseado, que começa pelo estudo documental (cartas geológicas, fotografias aéreas, registos de obras vizinhas), prossegue com o reconhecimento de campo e culmina com a investigação intrusiva (sondagens, poços, ensaios in situ e laboratoriais), seguida da interpretação e da elaboração de um modelo geotécnico do local. Cada fase reduz a incerteza e orienta a seguinte.

A literatura britânica da década de 1990 teve um papel decisivo na demonstração do valor económico desta actividade. O relatório *Inadequate site investigation* (Institution of Civil Engineers, 1991) e a série do Site Investigation Steering Group (1993) analisaram obras públicas e concluíram que as derrapagens de custo associadas a problemas do terreno eram muito superiores ao que teria custado uma investigação adequada, e que obras com maior investimento relativo em investigação tendiam a apresentar menores derrapagens. Esta relação, embora não linear, tornou-se um argumento central a favor da investigação precoce e proporcional à complexidade do local.

O Eurocódigo 7 (CEN, 2004) incorporou estes princípios ao estabelecer categorias geotécnicas, em função da complexidade do terreno e da importância da obra, e ao exigir

que a extensão da investigação seja compatível com a categoria. Na prática, este enquadramento substitui a lógica do "mínimo possível" pela lógica do "suficiente para decidir com segurança".

A investigação do terreno deve ser entendida como um processo iterativo e não como uma campanha única. À medida que o projecto evolui, surgem novas questões que exigem informação adicional: a alteração da posição de um edifício, a decisão de construir uma cave, a mudança do traçado de uma via. Um programa de investigação bem concebido prevê, por isso, fases sucessivas, cada uma orientada pelas conclusões da anterior, e reserva recursos para investigações complementares durante a construção, quando o terreno se torna directamente observável.

Tabela 1 – Fases da investigação do terreno e respectivo contributo para a decisão

Fase	Actividades principais	Momento no ciclo da obra	Contributo para a decisão
Estudo documental	Cartas geológicas, imagens de satélite, registos de obras vizinhas	Estudo de viabilidade	Identificação preliminar de riscos e escolha do local
Reconhecimento de campo	Observação de afloramentos, ravinas, linhas de água, vegetação	Estudo prévio	Validação do modelo geológico e da implantação
Investigação preliminar	Poços e sondagens espaçadas, ensaios de identificação	Estudo prévio / anteprojecto	Seleccção do tipo de fundação e de solução
Investigação de projecto	Sondagens nos locais das fundações, ensaios in situ e laboratoriais	Projecto de execução	Dimensionamento e condições de referência
Investigação complementar	Ensaio de controlo, ensaios de carga, observação das escavações	Construção	Confirmação do modelo e ajuste das soluções
Monitorização	Instrumentação de assentamentos, pressões e deslocamentos	Construção e exploração	Verificação do comportamento e aprendizagem

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Clayton et al. (1995), Site Investigation Steering Group (1993) e CEN (2004).

2.3 Fundações superficiais: capacidade de carga e assentamentos

As fundações superficiais (sapatas isoladas, sapatas corridas e ensoleiramentos) são a solução mais comum em edifícios correntes. O seu dimensionamento exige a verificação de dois critérios: a segurança em relação à rotura por insuficiência de capacidade de carga e a limitação dos assentamentos a valores compatíveis com o funcionamento da estrutura. A teoria clássica de capacidade de carga, desenvolvida a partir de Terzaghi, exprime a

resistência última como função da coesão, do ângulo de atrito, do peso do solo, da profundidade de fundação e da geometria da sapata.

Na prática, o critério condicionante é frequentemente o dos assentamentos, e não o da rotura. Skempton e MacDonald (1956) analisaram um vasto conjunto de edifícios e propuseram limites para as distorções angulares admissíveis, relacionando-as com a ocorrência de fissuração. Burland e Wroth (1975) desenvolveram critérios de dano baseados na deformação por tracção das paredes, que continuam a ser referência para avaliar o risco de fissuração em edifícios de alvenaria. Estes trabalhos mostram que os assentamentos diferenciais, e não os totais, são a principal causa de dano estrutural, o que torna a heterogeneidade do terreno um factor crítico.

Nos solos residuais tropicais, a previsão de assentamentos exige cuidados adicionais. Wesley (2010) chama a atenção para o facto de muitos destes solos apresentarem estrutura cimentada e comportamento pouco compressível sob as tensões correntes de edifícios, mas poderem sofrer deformações significativas quando essa estrutura é destruída por tensões elevadas, remeximento ou humedecimento. As correlações convencionais baseadas em ensaios de penetração podem, por isso, sobrestimar ou subestimar os assentamentos, conforme as condições. A realização de ensaios de placa ou de ensaios edométricos sobre amostras de boa qualidade é recomendável sempre que os assentamentos sejam condicionantes.

2.4 Fundações profundas e estacas

Quando as camadas superficiais não oferecem capacidade de suporte adequada, ou quando os assentamentos previsíveis são excessivos, recorre-se a fundações profundas, em particular estacas. Meyerhof (1976) sistematizou métodos de estimativa da capacidade de carga e dos assentamentos de estacas com base em ensaios in situ, enquanto Poulos e Davis (1980) desenvolveram métodos de análise baseados na teoria da elasticidade, que permitiram compreender o comportamento de estacas isoladas e de grupos de estacas sob cargas axiais e laterais.

A escolha do tipo de estaca (cravada, moldada no terreno, com ou sem revestimento) depende das características do terreno, da presença de água, das cargas e dos meios disponíveis. Em solos arenosos, a execução de estacas moldadas exige cuidados para evitar o desmoronamento das paredes do furo; em solos com horizontes lateríticos

endurecidos, a cravação pode ser dificultada por recusas prematuras. Os ensaios de carga estáticos e dinâmicos em estacas constituem o meio mais fiável de confirmar a capacidade real, sendo recomendados em obras de maior responsabilidade.

Tabela 2 – Tipos de fundação e condicionantes geotécnicas no contexto angolano

Tipo de fundação	Aplicação típica	Condicionante geotécnica principal	Cuidados no contexto angolano
Sapata isolada	Edifícios correntes, pavilhões	Assentamentos diferenciais	Verificar heterogeneidade e presença de solos colapsíveis
Sapata corrida	Alvenaria resistente, muros	Capacidade de carga superficial	Proteger da erosão e da variação de humidade
Ensoleiramento geral	Edifícios em solos fracos	Assentamento total	Verificar compressibilidade profunda e nível freático
Estacas cravadas	Pontes, edifícios altos, zonas aluvionares	Recusa e capacidade por atrito/ponta	Atenção a coureiras lateríticas e blocos
Estacas moldadas	Pontes, obras portuárias, edifícios	Estabilidade do furo e qualidade do betão	Revestimento ou lamas em areias e sob o nível freático
Fundações em rocha	Barragens, pilares de pontes	Descontinuidades e alteração	Caracterizar o grau de alteração em profundidade

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Skempton e MacDonald (1956), Meyerhof (1976), Poulos e Davis (1980) e Terzaghi et al. (1996).

A escolha entre fundações superficiais e profundas tem implicações económicas consideráveis. As fundações profundas exigem equipamento especializado, frequentemente mobilizado a partir de grandes centros urbanos, com custos de transporte e de mobilização que pesam fortemente em obras localizadas no interior. Em muitos casos, uma investigação mais detalhada permite demonstrar que uma solução de fundação superficial, eventualmente associada a melhoramento do terreno, é suficiente, evitando o recurso a estacas. Noutros casos, pelo contrário, revela que a solução superficial inicialmente prevista seria inadequada. Em ambos, é a informação geotécnica que permite otimizar a decisão.

2.5 Obras de terra, taludes e estruturas de suporte

As obras de terra (escavações, aterros e taludes) constituem uma parte substancial do custo das obras lineares, como estradas e caminhos-de-ferro, e de muitas obras urbanas. A sua estabilidade depende das propriedades de resistência do solo, da geometria, das condições de água e das acções exteriores. Os métodos de equilíbrio limite, desenvolvidos ao longo do século XX, continuam a ser a ferramenta corrente de verificação, complementados, em obras de maior complexidade, por métodos numéricos.

As estruturas de suporte (muros de gravidade, muros de betão armado, cortinas de estacas, solos reforçados, gabiões) permitem vencer desníveis em espaço reduzido. O seu dimensionamento depende da correcta estimativa dos impulsos de terras e da água. Em contextos de chuvas intensas, a drenagem do tardo dos muros é frequentemente o factor determinante: muitas roturas de muros de suporte resultam não de insuficiência estrutural, mas da acumulação de água por falta ou colmatação dos drenos.

Os aterros constituem, por vezes, a principal fonte de problemas em obras urbanas. Aterros antigos, executados sem controlo e compostos por materiais heterogéneos (entulhos, solos orgânicos, resíduos), podem apresentar compressibilidade elevada e irregular, provocando assentamentos diferenciais significativos em edifícios e pavimentos que sobre eles se apoiem. A identificação destes aterros, através do estudo documental, de fotografias aéreas históricas e de poços de reconhecimento, é uma das tarefas mais importantes da investigação em áreas urbanas em expansão, onde a modelação do terreno por particulares é frequente e raramente documentada.

As soluções de suporte com gabiões e solos reforçados com geossintéticos têm ganho relevância em contextos como o angolano, por combinarem flexibilidade, permeabilidade e facilidade de execução com mão-de-obra local. A sua flexibilidade permite acomodar assentamentos sem rotura, e a sua permeabilidade reduz o risco de acumulação de pressões de água. Estas vantagens tornam-nas particularmente adequadas para o controlo de erosão, a protecção de margens e a estabilização de taludes em obras rodoviárias da Região Leste.

2.6 Pavimentos rodoviários em regiões tropicais

O pavimento rodoviário é, essencialmente, uma estrutura geotécnica: as suas camadas de base e sub-base são constituídas por materiais granulares ou solos tratados, e o seu desempenho depende da capacidade de suporte do leito de fundação. O Transport Research Laboratory (1993), na *Overseas Road Note 31*, estabeleceu um guia de dimensionamento estrutural de pavimentos betuminosos para países tropicais e subtropicais, baseado na classificação do tráfego e da resistência do leito, que se tornou referência em muitos países africanos.

A utilização de materiais lateríticos em pavimentos foi estudada em profundidade por Charman (1988), que sistematizou critérios de selecção, tratamento e controlo, e por

Nogami e Villibor (1995), no Brasil, com a metodologia MCT. Estes trabalhos mostram que os lateríticos podem constituir excelentes materiais de base, desde que seleccionados segundo critérios adequados ao seu comportamento, correctamente compactados e protegidos da água. A falha de qualquer destas condições conduz à degradação precoce, frequentemente observada em estradas secundárias da região.

A capacidade de suporte do leito de fundação, geralmente expressa pelo índice CBR (*California Bearing Ratio*), é o parâmetro geotécnico central no dimensionamento dos pavimentos. O seu valor depende fortemente do teor em água e da compactação, pelo que o dimensionamento deve considerar as condições de humidade previsíveis em serviço, e não apenas as condições de ensaio. Em regiões com estação chuvosa intensa, a drenagem que mantém o leito afastado da saturação tem, frequentemente, maior impacto no desempenho do pavimento do que um aumento da espessura das camadas.

A degradação dos pavimentos tem uma dimensão económica que ultrapassa o custo de reabilitação suportado pelo dono de obra. Um pavimento degradado aumenta os custos de operação dos veículos (combustível, pneus, manutenção), os tempos de viagem e a sinistralidade, e reduz a acessibilidade de comunidades rurais aos mercados e aos serviços. Estes custos, suportados pelos utentes e pela economia em geral, são frequentemente muito superiores aos custos directos da obra. A qualidade geotécnica do pavimento tem, por isso, impacto directo no desenvolvimento económico das regiões servidas.

2.7 Solos problemáticos: colapsíveis, expansivos e erodíveis

Alguns solos apresentam comportamentos que colocam problemas específicos à construção. Os solos colapsíveis, de estrutura aberta e baixa massa volúmica, sofrem reduções bruscas de volume quando humedecidos sob carga; Jennings e Knight (1975) propuseram, a partir da experiência sul-africana, métodos de identificação e critérios de projecto. Os solos expansivos, ricos em minerais argilosos activos, incham com a humidade e retraem com a secagem, provocando movimentos cíclicos que fissuram edifícios ligeiros e pavimentos. Os solos erodíveis, como as areias finas de baixa coesão, são facilmente arrastados pela água, dando origem a sulcos, ravinas e descalçamento de fundações.

Em Angola, as três categorias estão presentes. As argilas expansivas ocorrem em várias zonas do litoral e de bacias sedimentares; os solos colapsíveis são frequentes em depósitos arenoso-siltosos de estrutura aberta; e as areias erodíveis dominam grande parte do Leste. A identificação destes solos na fase de investigação é determinante, porque as soluções de projecto adequadas (fundações mais profundas, melhoramento do terreno, controlo da água) são relativamente simples quando previstas e muito caras quando introduzidas após o aparecimento de danos.

A identificação de solos problemáticos pode ser feita, numa primeira fase, com recurso a indicadores simples: a baixa massa volúmica seca e a estrutura aberta visível em poços sugerem colapsibilidade; o índice de plasticidade elevado, as fendas de retracção na estação seca e as manchas de humidade persistentes sugerem expansibilidade; a granulometria fina e uniforme, a ausência de coesão e a presença de sulcos em terrenos desprotegidos indicam erodibilidade. Estes indicadores não dispensam ensaios específicos, como os ensaios edométricos com inundação ou os ensaios de expansibilidade, mas permitem decidir quando esses ensaios são necessários, optimizando os recursos de investigação.

2.8 Melhoramento de terrenos

O melhoramento de terrenos engloba um conjunto de técnicas destinadas a aumentar a resistência, reduzir a compressibilidade ou controlar a permeabilidade dos solos, tornando-os aptos para suportar obras. Mitchell (1981) sistematizou o estado da arte, distinguindo entre técnicas de densificação (compactação dinâmica, vibrocompactação), de drenagem e pré-carga, de reforço (colunas de brita, geossintéticos) e de tratamento químico (estabilização com cal ou cimento, injeções). A escolha da técnica depende do tipo de solo, da profundidade a tratar, do prazo e do custo.

Em muitos casos, o melhoramento do terreno oferece alternativas mais económicas do que as fundações profundas. A substituição de uma camada superficial de solo colapsível por material compactado, a estabilização com cal de um leito de pavimento argiloso ou a compactação de aterros sobre areias soltas são exemplos de intervenções de custo moderado com grande impacto na segurança e na durabilidade. A sua eficácia depende, contudo, de um bom conhecimento do terreno e de controlo rigoroso na execução.

Tabela 3 – Técnicas de melhoramento de terrenos e aplicabilidade no contexto angolano

Técnica	Princípio	Solos adequados	Aplicabilidade em Angola
Substituição e compactação	Remoção do solo inadequado e reposição compactada	Solos colapsíveis e aterros superficiais	Elevada; baixo custo e equipamento corrente
Estabilização com cal	Reacção com argilas, reduzindo plasticidade	Solos argilosos e expansivos	Elevada em leitos de pavimento
Estabilização com cimento	Cimentação das partículas	Areias e solos pouco plásticos	Elevada em bases de pavimento e blocos de terra
Compactação dinâmica	Densificação por impacto de massas	Areias soltas e aterros granulares	Moderada; exige equipamento específico
Colunas de brita	Reforço e drenagem do terreno	Solos moles e siltosos	Moderada; dependente de agregados
Geossintéticos	Reforço, separação e filtragem	Diversos, em aterros e taludes	Elevada em obras rodoviárias e controlo de erosão

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Mitchell (1981), Charman (1988) e Nogami e Villibor (1995).

2.9 O método observacional e a gestão do risco geotécnico

Peck (1969) formalizou o método observacional, segundo o qual, em situações de elevada incerteza, o projecto pode ser concebido com base nas condições mais prováveis, acompanhado de um plano de monitorização e de medidas de contingência previamente definidas para o caso de o comportamento observado se afastar do previsto. Este método permite evitar o sobredimensionamento sistemático, mantendo a segurança, desde que a monitorização seja fiável e as medidas de contingência possam ser aplicadas atempadamente. O Eurocódigo 7 reconhece-o como uma das formas admissíveis de projecto geotécnico.

Van Staveren (2006) propôs uma abordagem de gestão do risco geotécnico que integra a identificação, a classificação, a remediação e a monitorização dos riscos do terreno ao longo de todo o ciclo de vida da obra, com responsabilidades atribuídas a cada interveniente. No domínio contratual, a prática norte-americana do Relatório Geotécnico de Referência (*Geotechnical Baseline Report*), sistematizada por Essex (2007), estabelece contratualmente as condições do terreno que o empreiteiro deve considerar na sua proposta, permitindo distinguir de forma objectiva as condições previstas das condições diferentes, e alocando o risco do terreno de forma mais equilibrada entre dono de obra e empreiteiro.

A aplicação do método observacional exige, contudo, condições que nem sempre estão reunidas: a possibilidade física e contratual de alterar a solução durante a construção, a existência de instrumentação fiável e de técnicos capazes de interpretar os dados em tempo útil, e a definição prévia, e aceite por todos os intervenientes, dos limites de alerta e das medidas de contingência. Peck (1969) advertiu expressamente que o método não deve ser utilizado quando não existe margem para mudar o projecto em função do comportamento observado. Em Angola, a sua aplicação é particularmente promissora em escavações urbanas, aterros sobre solos compressíveis e taludes rodoviários em zonas de erosão.

A gestão do risco geotécnico pode ser descrita como um ciclo com quatro etapas: identificação dos perigos associados ao terreno (por exemplo, solos colapsíveis, nível freático elevado, cavidades, ravinas); avaliação da probabilidade e das consequências de cada perigo; definição de medidas de resposta (evitar, reduzir, transferir ou aceitar o risco); e monitorização da eficácia dessas medidas. Van Staveren (2006) sublinha que este ciclo deve ser repetido em cada fase do projecto e documentado num registo de riscos partilhado por todos os intervenientes, de modo que o conhecimento adquirido numa fase não se perca na transição para a seguinte.

Tabela 4 – Matriz simplificada de alocação do risco geotécnico entre dono de obra e empreiteiro

Risco	Controlo principal	Alocação recomendada	Instrumento contratual
Condições do terreno descritas no relatório de referência	Empreiteiro (preço e método)	Empreiteiro	Relatório geotécnico de referência
Condições materialmente diferentes das de referência	Nenhum dos intervenientes	Dono de obra	Cláusula de condições diferentes
Qualidade de execução de fundações e aterros	Empreiteiro	Empreiteiro	Especificações e plano de qualidade
Adequação do projecto geotécnico	Projectista / dono de obra	Dono de obra (com regresso ao projectista)	Contrato de projecto
Drenagem durante a construção	Empreiteiro	Empreiteiro	Plano de trabalhos e de drenagem provisória
Comportamento a longo prazo	Dono de obra (manutenção)	Dono de obra	Plano de monitorização e manutenção

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Van Staveren (2006) e Essex (2007).

2.10 Enquadramento institucional angolano e síntese crítica

Em Angola, o Laboratório de Engenharia de Angola (LEA), cujo Estatuto Orgânico foi aprovado pelo Decreto Presidencial n.º 306/14, de 21 de Novembro, é o instituto público de investigação aplicada e controlo de qualidade nos domínios da engenharia civil, dos materiais e do ambiente, com atribuições de investigação experimental, ensaio de materiais, estudo do comportamento de obras e assistência técnica. A contratação de empreitadas de obras públicas rege-se pela Lei n.º 41/20, de 23 de Dezembro (Lei dos Contratos Públicos), que entrou em vigor a 22 de Janeiro de 2021, revogando a Lei n.º 9/16. O ordenamento territorial, no qual a aptidão dos solos e os riscos naturais devem ser considerados, assenta na Lei n.º 3/04, de 25 de Junho.

A síntese da literatura permite concluir que: (i) o impacto da Geotecnia na construção é transversal a todo o ciclo de vida das obras; (ii) a incerteza sobre o terreno é uma das principais fontes de risco técnico e financeiro; (iii) existem métodos consolidados de investigação, dimensionamento, melhoramento e monitorização; (iv) a gestão do risco geotécnico exige instrumentos técnicos e contratuais articulados; e (v) em Angola, existe base institucional e legal, mas a sua articulação com a prática corrente de projecto e contratação permanece incompleta.

A síntese permite também identificar uma lacuna na literatura: são escassos os estudos publicados que quantifiquem o impacto da Geotecnia no custo e na qualidade das obras em Angola. A evidência disponível é sobretudo internacional ou relativa a contextos comparáveis. Esta lacuna reforça a pertinência de uma abordagem teórico-conceitual que organize o conhecimento existente e oriente a produção futura de evidência empírica nacional.

3. Metodologia

O estudo adopta uma abordagem qualitativa, de natureza teórico-conceitual e aplicada. A escolha deste desenho justifica-se pelo objectivo de sistematizar e transferir para o contexto angolano o conhecimento consolidado sobre o impacto da Geotecnia na construção, produzindo uma abordagem utilizável por donos de obra, projectistas, empreiteiros, fiscais e docentes, e não de medir parâmetros de obras concretas.

Foram utilizadas três técnicas complementares. A **revisão sistematizada da literatura** incidiu sobre obras de referência em investigação do terreno, fundações, obras

de terra, pavimentos tropicais, solos problemáticos, melhoramento de terrenos e gestão do risco geotécnico, privilegiando fontes com arbitragem científica, obras de referência reconhecidas e identificadores DOI sempre que disponíveis. A **análise documental** incidiu sobre legislação angolana confirmada como vigente em repositórios oficiais e jurídicos, e sobre informação institucional relativa ao LEA. A **simulação de casos ilustrativos** consistiu na construção de quatro casos anonimizados, representativos de situações típicas da construção em Angola, sem pretensão de retratar obras concretas.

A análise seguiu uma lógica de categorização temática em seis eixos, derivados da síntese crítica da literatura, cada um dos quais foi analisado quanto aos seus fundamentos, aos problemas típicos no contexto angolano e às respostas técnicas e de gestão. As estimativas de ordem de grandeza apresentadas têm carácter indicativo e não substituem estudos específicos.

Tabela 5 – Desenho metodológico do estudo

Etapa	Técnica	Fontes / instrumentos	Produto
1	Revisão sistematizada	Clayton et al. (1995); Peck (1969); Van Staveren (2006); TRL (1993)	Quadro teórico
2	Análise documental	Lei n.º 41/20; Lei n.º 3/04; DP n.º 306/14	Enquadramento institucional
3	Evidência regional	Ferreira e Diogo (2015)	Ancoragem territorial
4	Categorização temática	Matriz de seis eixos	Abordagem (Secção 4)
5	Simulação de casos	Quatro casos ilustrativos anonimizados	Aplicação (Secção 6)
6	Síntese propositiva	Triangulação dos resultados	Plano de acção e adaptação

Fonte: *Elaborado pelo autor.*

Os critérios de qualidade adoptados incluíram a verificabilidade das fontes, a preferência por obras de referência amplamente citadas na literatura geotécnica internacional e a confirmação da vigência da legislação angolana referida. Foram excluídas fontes sem autoria identificável e dados não verificáveis. Os casos simulados foram construídos com coerência interna e plausibilidade técnica, mas não devem ser interpretados como descrições de obras reais, servindo exclusivamente para demonstrar a aplicação da abordagem.

4. Abordagem do Impacto da Geotecnia em Seis Eixos

A abordagem proposta organiza o impacto da Geotecnia na construção civil em seis eixos, que correspondem às principais vias pelas quais as condições do terreno afectam a segurança, o custo, o prazo e a durabilidade das obras. Cada eixo é analisado quanto ao seu fundamento, à sua expressão no contexto angolano e às respostas prioritárias.

4.1 Eixo 1 – A Geotecnia no planeamento e na concepção

O primeiro eixo sustenta que o maior impacto da Geotecnia se obtém nas fases iniciais, quando as decisões ainda são flexíveis e baratas de alterar. A escolha do local, a implantação da obra no terreno, a definição do número de pisos enterrados, a selecção do traçado de uma estrada ou a localização de uma ponte são decisões que determinam, em grande medida, o nível de risco geotécnico e o custo das fundações e das obras de terra. Uma deslocação de algumas dezenas de metros de um edifício pode evitar uma zona de aterro antigo ou a cabeceira de uma ravina; uma pequena alteração de traçado pode evitar uma travessia de solos moles.

Em Angola, é frequente que a Geotecnia só intervenha depois de o local e a concepção estarem fixados, muitas vezes já na fase de construção, quando as margens de decisão são mínimas. A integração de um estudo geotécnico preliminar, de custo reduzido, na fase de estudo prévio constitui a medida de maior retorno de todo o processo.

Este eixo tem especial relevância no planeamento urbano. A delimitação de zonas de expansão, a definição de áreas de protecção junto a linhas de água e cabeceiras de ravinas, e a identificação de terrenos com aptidão reduzida para construção são decisões de ordenamento que, quando informadas por cartografia geotécnica, previnem problemas em milhares de obras futuras. A elaboração de cartas de aptidão geotécnica para as principais cidades da Região Leste, em articulação com os instrumentos de planeamento previstos na Lei n.º 3/04, é uma medida de grande alcance e custo relativamente moderado.

4.2 Eixo 2 – Fundações e estruturas de suporte

O segundo eixo trata do impacto directo da Geotecnia na solução de fundação e nas estruturas de contenção. A escolha entre fundações superficiais, melhoramento do terreno e fundações profundas pode fazer variar o custo das fundações de forma muito

significativa, e esta escolha só pode ser feita de forma racional com base num modelo geotécnico fiável. Sem ele, o projectista tende a optar por soluções conservadoras, mais caras, ou por soluções-tipo que podem revelar-se inadequadas.

Os assentamentos diferenciais, como demonstraram Skempton e MacDonald (1956) e Burland e Wroth (1975), são a principal causa de fissuração em edifícios. Em terrenos heterogéneos, como os perfis lateríticos e as transições entre areia e rocha alterada, a verificação cuidadosa da uniformidade do suporte, e não apenas da capacidade de carga média, é essencial.

As estruturas de suporte merecem igual atenção. Em obras urbanas em terrenos inclinados, frequentes em várias cidades do planalto e do Leste, os muros de contenção são muitas vezes executados sem projecto, com espessuras e drenagem inadequadas. A sua rotura, geralmente na estação chuvosa, pode afectar habitações a montante e a jusante. A exigência de projecto e de drenagem do tardo para muros acima de uma altura mínima é uma medida simples e de elevado impacto na segurança.

4.3 Eixo 3 – Obras de terra e pavimentos

O terceiro eixo trata das obras de terra e dos pavimentos, que representam uma parte muito relevante do investimento em infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias. O impacto da Geotecnia manifesta-se aqui na definição dos taludes de escavação e aterro, na selecção e controlo dos materiais, no dimensionamento das camadas do pavimento em função da capacidade de suporte do leito e na drenagem da plataforma.

A utilização de materiais locais, em particular dos solos lateríticos, pode reduzir substancialmente o custo das estradas, sobretudo em regiões afastadas das pedreiras e das fontes de agregados britados. Esta vantagem só se concretiza, porém, com selecção criteriosa e controlo rigoroso, segundo as orientações de Charman (1988), do TRL (1993) e de Nogami e Villibor (1995).

O impacto deste eixo mede-se ao longo de todo o ciclo de vida da estrada. Um pavimento bem dimensionado e construído com materiais controlados exige manutenção corrente previsível e prolonga o período até à primeira reabilitação estrutural. Um pavimento mal concebido degrada-se rapidamente, exige intervenções frequentes e dispendiosas e impõe custos elevados aos utentes. A análise dos custos do ciclo de vida, e

não apenas do custo inicial de construção, é o critério adequado para avaliar as decisões geotécnicas neste eixo.

4.4 Eixo 4 – Água, erosão e estabilidade

O quarto eixo reconhece que a água é o factor desencadeador da grande maioria das roturas geotécnicas: taludes que deslizam após chuvas intensas, muros que tombam por acumulação de água no tardo, fundações descalçadas pela erosão, pavimentos que se degradam por saturação da base, solos colapsíveis que assentam por humedecimento. A drenagem é, por isso, não um complemento, mas parte integrante da solução geotécnica.

No contexto angolano, e em particular na Região Leste, a erosão linear em areias constitui um risco de primeira ordem para a construção urbana e rodoviária. As descargas de valetas e colectores sem dissipação de energia, os arruamentos não pavimentados que funcionam como canais e a remoção da vegetação em obra estão entre as causas mais frequentes do início de ravinas. A integração da drenagem à escala da obra e da bacia, articulada com o ordenamento do território previsto na Lei n.º 3/04, é a resposta prioritária.

A concepção da drenagem deve considerar os eventos de precipitação intensa, e não apenas as condições médias. Nas regiões tropicais, uma parte substancial da precipitação anual pode concentrar-se em poucos eventos de grande intensidade, que geram caudais de ponta muito superiores aos que uma análise simplificada faria prever. O subdimensionamento das passagens hidráulicas e das valetas conduz, nestes eventos, a galgamentos, erosão dos aterros e rotura de obras. A revisão dos critérios de dimensionamento hidrológico, à luz das tendências de intensificação dos eventos extremos, constitui uma exigência crescente.

4.5 Eixo 5 – Risco geotécnico e contratação

O quinto eixo trata da dimensão contratual do impacto da Geotecnia. As condições do terreno são, por natureza, incertas, e essa incerteza tem de ser distribuída entre o dono de obra e o empreiteiro. Quando o contrato não define claramente as condições do terreno previstas, qualquer desvio pode dar origem a reclamações, trabalhos a mais, atrasos e litígios. Quando define, através de um relatório geotécnico de referência, torna-se possível distinguir objectivamente as condições previstas das condições diferentes, reduzindo o conflito e permitindo propostas mais realistas (Essex, 2007).

Na contratação pública angolana, regida pela Lei n.º 41/20, a qualidade dos estudos prévios que acompanham os documentos do procedimento condiciona directamente a exactidão das quantidades, dos preços e dos prazos. Procedimentos lançados com base em projectos sem informação geotécnica transferem para a fase de execução uma incerteza que se traduz, frequentemente, em trabalhos a mais e prorrogações de prazo.

A introdução de condições geotécnicas de referência não exige, necessariamente, alterações legislativas. Pode ser feita através dos documentos do procedimento, nomeadamente do caderno de encargos e das peças do projecto, que descrevem as condições do terreno a considerar pelos concorrentes e estabelecem o tratamento a dar às condições materialmente diferentes. A sua eficácia depende da qualidade da investigação que lhes serve de base e da capacidade técnica das entidades contratantes para as elaborar e aplicar.

4.6 Eixo 6 – Controlo, monitorização e aprendizagem

O sexto eixo trata do acompanhamento geotécnico durante a construção e a exploração. Inclui a verificação, em obra, de que as condições encontradas correspondem ao modelo de projecto; o controlo de qualidade de aterros, camadas de pavimento e estacas; a instrumentação e monitorização de obras sensíveis; e o registo sistemático do comportamento para alimentar o conhecimento futuro. O método observacional de Peck (1969) constitui a expressão mais elaborada deste eixo, permitindo projectar com base nas condições prováveis e ajustar a solução com base no comportamento observado.

Em Angola, a fiscalização geotécnica especializada é frequentemente limitada, e o registo do comportamento das obras raramente é sistematizado. O reforço deste eixo, com o apoio do LEA e das instituições de ensino superior, é essencial para transformar a experiência acumulada em conhecimento partilhado.

A monitorização não precisa de ser sofisticada para ser útil. Em muitas obras correntes, a medição periódica de assentamentos com nivelamento topográfico, a observação de fissuras com testemunhos simples e o registo fotográfico georreferenciado de taludes e drenagens antes e depois das chuvas fornecem informação valiosa a custo muito reduzido. Em obras de maior complexidade, a instrumentação com piezómetros, inclinómetros e marcas de assentamento permite aplicar o método observacional com segurança.

4.7 Síntese da abordagem

A Tabela 3 sintetiza os seis eixos, relacionando cada um com a dimensão de desempenho da obra que mais afecta e com a resposta prioritária no contexto angolano.

Tabela 6 – Síntese da abordagem em seis eixos

Eixo	Dimensão de desempenho mais afectada	Problema típico em Angola	Resposta prioritária
1. Planeamento e concepção	Custo global e risco	Geotecnia introduzida tardiamente	Estudo geotécnico preliminar no estudo prévio
2. Fundações e suporte	Segurança e custo das fundações	Soluções-tipo sem verificação local	Modelo geotécnico e verificação de assentamentos
3. Obras de terra e pavimentos	Durabilidade e custo de manutenção	Materiais locais sem controlo	Seleção, dimensionamento e controlo de qualidade
4. Água e estabilidade	Segurança e durabilidade	Ravinas e roturas após chuvas	Drenagem integrada à escala da obra e da bacia
5. Risco e contratação	Custo, prazo e conflito	Trabalhos a mais por condições imprevistas	Relatório geotécnico de referência nos procedimentos
6. Controlo e monitorização	Segurança e aprendizagem	Fiscalização geotécnica limitada	Método observacional e registo sistemático

Fonte: Elaborado pelo autor com base na revisão da literatura.

A abordagem deve ser lida como um sistema. O Eixo 1 condiciona o nível de risco com que a obra parte; os Eixos 2, 3 e 4 determinam a forma como esse risco é tratado tecnicamente; o Eixo 5 define quem o suporta e como é gerido contratualmente; e o Eixo 6 assegura que o risco residual é acompanhado e que a experiência se transforma em conhecimento. A fragilidade de qualquer eixo compromete o desempenho dos restantes, o que explica por que razão intervenções isoladas, por exemplo apenas no dimensionamento, produzem resultados limitados.

5. Sinais de Alerta

A identificação precoce de sinais de alerta permite intervir antes que os problemas geotécnicos se transformem em patologias graves ou em derrapagens significativas. Distinguem-se sinais de processo, observáveis nos documentos e nas decisões, e sinais físicos, observáveis no terreno e nas obras.

Tabela 7 – Sinais de alerta do impacto geotécnico negativo na construção

Sinal de alerta	Tipo	Significado provável	Ação recomendada
Procedimento lançado sem estudo geotécnico	Processo	Risco do terreno não quantificado	Incluir investigação mínima antes do lançamento
Quantidades de fundações "a confirmar em obra"	Processo	Elevada probabilidade de trabalhos a mais	Definir condições de referência no contrato
Recusas de estacas muito acima ou abaixo do previsto	Físico	Modelo geotécnico inadequado	Rever modelo e realizar ensaios de carga
Fissuras diagonais e portas que empenam	Físico	Assentamentos diferenciais	Monitorizar e investigar fundações
Água a brotar na base de taludes e muros	Físico	Pressões de água elevadas ou drenos colmatados	Reabilitar drenagem e verificar estabilidade
Deformação precoce do pavimento em trilhos	Físico	Base inadequada ou leito saturado	Ensaio de controlo e reforço estrutural

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Burland e Wroth (1975), Clayton et al. (1995), Van Staveren (2006) e Essex (2007).

Os sinais de processo são particularmente importantes porque podem ser detectados antes do início da obra, quando a correcção é mais barata. A sua detecção exige, contudo, que os responsáveis pela aprovação dos projectos e pelo lançamento dos procedimentos disponham de critérios claros e de apoio técnico qualificado.

Importa igualmente reconhecer sinais de alerta de natureza organizacional: a ausência de um técnico com formação geotécnica na equipa de fiscalização, a inexistência de registos das condições encontradas nas escavações de fundação, ou a aprovação de alterações de fundação sem justificação técnica documentada. Estes sinais indicam que a obra não dispõe dos mecanismos necessários para detectar e corrigir desvios, aumentando a probabilidade de que os problemas só se revelem após a conclusão.

A leitura dos sinais de alerta deve ser contextualizada. Uma fissura isolada num reboco pode não ter significado estrutural, enquanto um padrão de fissuras diagonais convergentes para um canto do edifício indica, com elevada probabilidade, assentamento diferencial da fundação. A formação de fiscais e técnicos municipais na interpretação destes padrões, com recurso a guias simples ilustrados, é uma medida de baixo custo que aumenta substancialmente a capacidade de detecção precoce de problemas.

6. Simulação de Casos Aplicados ao Contexto Angolano

Os quatro casos seguintes são ilustrativos e anonimizados, construídos a partir de situações típicas da construção civil em Angola descritas na literatura e observáveis na prática. Não representam obras ou entidades concretas.

Cada caso é apresentado segundo uma estrutura comum: situação de partida, análise à luz dos eixos da abordagem, resposta técnica e de gestão, e lição principal. Os casos foram seleccionados para cobrir diferentes tipologias de obra (equipamento social, obra de arte, infra-estrutura urbana e estrada) e diferentes eixos, permitindo verificar a aplicabilidade da abordagem a um espectro amplo de situações correntes no país.

6.1 Caso A – Centro de saúde com fundações-tipo em terreno heterogéneo

Um centro de saúde de um piso é construído segundo projecto-tipo, com sapatas corridas dimensionadas para uma tensão admissível genérica. O lote apresenta, sem que o projecto o tenha identificado, uma transição entre areia compacta e um aterro antigo de materiais heterogéneos numa das extremidades. Um ano após a inauguração, surgem fissuras diagonais nas paredes dessa ala e dificuldades de fecho de portas.

A análise à luz dos Eixos 1 e 2 mostra que um estudo geotécnico simples, com poços de reconhecimento distribuídos pelo lote, teria revelado o aterro e permitido a sua remoção e substituição por material compactado, a um custo marginal. A remediação exige reforço das fundações, reparação das alvenarias e interrupção parcial dos serviços, a um custo muito superior e com prejuízo para a população servida.

6.2 Caso B – Ponte rodoviária com estacas moldadas

Uma ponte sobre um rio de uma província do interior é projectada com estacas moldadas, com base num número reduzido de sondagens. Durante a execução, verifica-se que o topo da rocha se encontra, em vários pilares, a profundidades muito diferentes das previstas, e que existem horizontes de rocha alterada e blocos não identificados. Os comprimentos das estacas têm de ser revistos, os equipamentos adaptados e o prazo prorrogado.

À luz dos Eixos 5 e 6, o caso mostra que a insuficiência da investigação transferiu para a execução um risco que se traduziu em trabalhos a mais e atrasos. Uma sondagem por pilar, como é prática corrente em pontes, e um relatório geotécnico de referência no

procedimento teriam permitido propostas mais realistas e uma gestão mais transparente das alterações.

6.3 Caso C – Arruamentos urbanos e início de ravina

Num bairro em expansão de uma cidade do Leste, são abertos e pavimentados arruamentos com valetas que descarregam, sem dissipação de energia, numa depressão natural a jusante. Em duas estações chuvosas, a descarga dá origem a um sulco que evolui para uma ravina, cujo recuo ameaça habitações e a própria via.

O caso ilustra o Eixo 4. A solução exige a reformulação do sistema de drenagem, com dissipadores de energia, bacias de retenção e infiltração e condução das águas até um emissário protegido, bem como o tratamento da cabeceira da ravina por reperfilamento, estruturas de queda e revegetação. A lição central é que a obra de drenagem, quando mal concebida, pode ser a origem do problema que deveria prevenir.

6.4 Caso D – Estrada secundária com base laterítica

Uma estrada secundária é construída com base em solo laterítico de manchas de empréstimo próximas, com controlo de compactação irregular e drenagem lateral insuficiente. Três anos depois, o pavimento apresenta deformações e desagregação, exigindo reabilitação antecipada.

À luz do Eixo 3, a correcta selecção dos materiais segundo critérios adaptados aos lateríticos, o controlo sistemático da compactação e a drenagem adequada da plataforma teriam assegurado um desempenho muito superior. O custo da reabilitação antecipada, somado ao custo para os utentes, excede largamente o custo do controlo que foi omitido.

6.5 Leitura transversal dos casos

A leitura conjunta dos quatro casos revela um padrão comum: em nenhum deles o problema resultou da inexistência de conhecimento técnico adequado, que está disponível e consolidado na literatura. Em todos, o problema resultou de decisões de processo, tomadas em fases iniciais, que omitiram ou reduziram a intervenção da Geotecnia. Esta constatação reforça a conclusão de que o impacto positivo da Geotecnia depende tanto da sua integração institucional e contratual como da competência técnica dos engenheiros.

Observa-se igualmente que o custo das omissões foi, em todos os casos, suportado por entidades diferentes das que tomaram a decisão inicial: os utentes do centro de saúde, os contribuintes que financiaram os trabalhos a mais da ponte, os moradores ameaçados pela ravina e os utentes da estrada degradada. Esta dissociação entre quem decide e quem suporta as consequências é uma das razões pelas quais a subvalorização da Geotecnia persiste, e justifica a introdução de exigências institucionais que não dependam apenas da iniciativa de cada decisor.

Tabela 8 – Síntese dos casos simulados

Caso	Eixos	Origem do problema	Impacto na obra	Lição principal
A – Centro de saúde	1, 2	Projecto-tipo sem investigação do lote	Fissuração e reforço de fundações	Investigar o lote, não apenas a região
B – Ponte	5, 6	Sondagens insuficientes	Trabalhos a mais e atraso	Uma sondagem por pilar e condições de referência
C – Arruamentos	4	Drenagem sem dissipação	Ravina e ameaça a habitações	Drenagem mal concebida gera erosão
D – Estrada	3	Materiais locais sem controlo	Reabilitação antecipada	Controlo de qualidade protege o investimento
Transversal	Todos	Geotecnia tardia ou ausente	Custos, prazos e riscos acrescidos	Integrar a Geotecnia desde o início

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

7. Factores Críticos de Sucesso

A análise permite identificar os factores que mais contribuem para que o impacto da Geotecnia na construção civil seja positivo, isto é, para que se traduza em obras mais seguras, duráveis e económicas.

- **Integração precoce:** a Geotecnia deve intervir no estudo prévio, quando as decisões de localização e concepção ainda podem ser ajustadas.
- **Investigação proporcional à categoria geotécnica:** a extensão da investigação deve corresponder à complexidade do terreno e à importância da obra, segundo a lógica do Eurocódigo 7.
- **Modelo geotécnico explícito:** o projecto deve assentar num modelo do terreno documentado, com identificação das incertezas.
- **Alocação clara do risco do terreno:** os documentos contratuais devem definir condições de referência que permitam distinguir condições previstas e diferentes.

- **Drenagem como parte da solução:** a gestão da água deve ser tratada no mesmo plano que a solução estrutural.
- **Fiscalização e monitorização qualificadas:** a verificação em obra das condições do terreno e a monitorização de obras sensíveis permitem corrigir desvios a tempo.
- **Aprendizagem institucional:** o registo e a partilha de dados geotécnicos e do comportamento das obras reduzem a incerteza das obras futuras.

A estes factores técnicos e institucionais acresce um factor de liderança. A adopção de boas práticas geotécnicas numa organização pública ou privada depende, em larga medida, do compromisso dos seus dirigentes com a qualidade e com a gestão do risco. Onde os dirigentes compreendem e valorizam a Geotecnia, os técnicos dispõem de condições para a aplicar; onde a encaram como obstáculo ao prazo, tende a ser negligenciada, independentemente da competência técnica disponível.

Estes factores reforçam-se mutuamente. A integração precoce só produz efeito se a investigação for adequada; a investigação só é útil se o modelo geotécnico for explícito e comunicado; o modelo só protege o dono de obra se for incorporado no contrato; e o contrato só é eficaz se a fiscalização verificar a sua aplicação. A aprendizagem institucional, por sua vez, alimenta todos os restantes factores ao longo do tempo, reduzindo o custo e aumentando a qualidade das investigações futuras.

8. Plano de Acção

Propõe-se um plano de acção dirigido às entidades públicas contratantes, às empresas de projecto e construção, ao LEA e às instituições de ensino superior.

Tabela 9 – Plano de acção para potenciar o impacto positivo da Geotecnia na construção civil

Acção	Responsáveis	Horizonte	Indicador
Exigir estudo geotécnico proporcional antes do lançamento de empreitadas públicas	Entidades contratantes	Curto prazo	% de procedimentos com estudo
Introduzir condições geotécnicas de referência nos documentos do procedimento	Entidades contratantes; projectistas	Curto a médio prazo	Redução de trabalhos a mais por terreno
Reforçar a capacidade laboratorial regional em articulação com o LEA	Ministério competente; LEA; universidades	Médio prazo	Tempo médio de resposta a ensaios
Criar bases de dados geotécnicas provinciais	Governos provinciais; universidades	Médio prazo	N.º de registos disponíveis

Acção	Responsáveis	Horizonte	Indicador
Formação em Geotecnia para fiscais e técnicos municipais	Universidades; ordens profissionais	Contínuo	N.º de técnicos formados
Aplicar o método observacional em obras de elevada incerteza	Donos de obra; projectistas	Médio prazo	N.º de obras instrumentadas

Fonte: *Elaborado pelo autor.*

A sequência de implementação deve privilegiar as acções de efeito imediato e custo reduzido, como a exigência de estudos proporcionais e a introdução de condições de referência nos procedimentos, que dependem essencialmente de decisões administrativas. As acções que exigem investimento, como o reforço laboratorial e as bases de dados, devem ser planeadas a médio prazo, idealmente com parcerias entre o Estado, as universidades e o sector privado, incluindo as empresas mineiras e de construção com presença regional.

9. Discussão

Os resultados confirmam que o impacto da Geotecnia na construção civil é simultaneamente técnico, económico e institucional. Do ponto de vista técnico, a literatura é inequívoca quanto ao papel das condições do terreno na segurança e na durabilidade das obras. Do ponto de vista económico, a evidência internacional mostra que a insuficiência da investigação e da gestão do risco geotécnico é uma das causas mais recorrentes de derrapagens. Do ponto de vista institucional, a eficácia da Geotecnia depende da existência de exigências, capacidades e incentivos que conduzam os intervenientes a integrá-la de forma sistemática.

Um primeiro ponto de discussão diz respeito à assimetria entre o custo da investigação e o custo das suas omissões. A investigação geotécnica representa, em regra, uma fracção pequena do valor da obra; as consequências da sua insuficiência podem, contudo, representar fracções muito superiores, sob a forma de alterações de projecto, trabalhos a mais, atrasos, reabilitações antecipadas e, nos casos mais graves, perda de vidas. Esta assimetria, documentada pela literatura britânica (Institution of Civil Engineers, 1991; Site Investigation Steering Group, 1993), justifica que a investigação seja tratada como investimento e não como custo a minimizar.

Um segundo ponto diz respeito à natureza sistemática das derrapagens. Flyvbjerg et al. (2002) demonstraram que as derrapagens de custo em obras públicas não são

aleatórias, mas sistemáticas, e associadas tanto a erros técnicos como a incentivos que favorecem a subestimação inicial. A incerteza geotécnica é particularmente vulnerável a esta dinâmica: um orçamento inicial que omite a investigação do terreno parece mais baixo, facilitando a aprovação, mas transfere o custo real para a fase de execução.

Um terceiro ponto diz respeito à dimensão contratual. A experiência internacional mostra que a alocação clara do risco do terreno, através de relatórios geotécnicos de referência, reduz os litígios e melhora a qualidade das propostas (Essex, 2007). No contexto da Lei n.º 41/20, a introdução de condições de referência nos documentos do procedimento constitui uma prática compatível com o enquadramento legal e de elevado potencial.

Um quarto ponto diz respeito à especificidade dos solos angolanos. A presença de solos lateríticos, colapsíveis, expansivos e erodíveis exige métodos de investigação e de projecto adaptados, que nem sempre fazem parte da formação corrente dos engenheiros. O reforço desta componente na formação, e a produção de conhecimento local pelas instituições de ensino superior e pelo LEA, são condições para que a Geotecnia produza plenamente o seu impacto positivo.

Finalmente, a discussão evidencia que a Geotecnia não é apenas uma questão de engenharia, mas também de gestão pública. A decisão sobre o nível de investigação, a forma de contratar e o modo de fiscalizar é frequentemente tomada por gestores sem formação técnica. Tornar visível o valor económico da Geotecnia, numa linguagem acessível a esses decisores, é uma das tarefas mais importantes dos engenheiros e dos académicos.

9.1 A Geotecnia na perspectiva do custo do ciclo de vida

A análise do custo do ciclo de vida permite compreender melhor o impacto económico da Geotecnia. Uma obra tem custos de concepção, de construção, de operação e manutenção e, eventualmente, de reabilitação e desmantelamento. As decisões geotécnicas tomadas nas fases iniciais afectam todos estes custos: uma fundação bem dimensionada evita reparações estruturais; um pavimento bem construído reduz a manutenção; uma drenagem adequada previne erosões e roturas. Quando as decisões são avaliadas apenas pelo custo inicial de construção, a tendência é para reduzir a investigação e o controlo, o que aumenta os custos futuros. A adopção do custo do ciclo de

vida como critério de avaliação dos projectos públicos favorece, naturalmente, uma maior valorização da Geotecnia.

Esta perspectiva liga-se directamente à avaliação de investimentos. Em termos de valor actual, uma pequena despesa adicional em investigação e controlo no início da obra pode evitar despesas de reabilitação muito superiores anos depois. Mesmo descontando essas despesas futuras a taxas elevadas, como as que caracterizam economias com custo de capital alto, o benefício da prevenção tende a superar largamente o custo, sobretudo em obras de longa vida útil e elevada utilização.

9.2 Perspectiva comparada e lições internacionais

A experiência britânica da década de 1990, que conduziu à revalorização da investigação do terreno, resultou de uma análise sistemática de derrapagens em obras públicas e da constatação de que os problemas do terreno eram uma das suas causas principais (Institution of Civil Engineers, 1991; Site Investigation Steering Group, 1993). A experiência norte-americana com os relatórios geotécnicos de referência resultou da necessidade de reduzir litígios em obras subterrâneas (Essex, 2007). Em ambos os casos, a mudança foi impulsionada por evidência sobre custos e por iniciativas institucionais. Angola pode beneficiar destas lições sem ter de repetir os erros que as motivaram, adaptando os instrumentos às suas condições.

9.4 Geotecnia, desenvolvimento regional e capital humano

O impacto da Geotecnia tem também uma dimensão de desenvolvimento regional. A concentração da capacidade laboratorial e dos técnicos especializados em Luanda obriga as obras do interior a recorrer a serviços distantes, com custos e prazos acrescidos, o que incentiva a omissão da investigação. O reforço da capacidade regional, com laboratórios e técnicos formados nas próprias regiões, reduz estes custos e cria emprego qualificado. As instituições de ensino superior do Leste, como o Instituto Politécnico de Saurimo e a Universidade Lueji A'Nkonde, estão em posição privilegiada para formar esses técnicos e para produzir conhecimento sobre os terrenos da região, em cooperação com o LEA e com as empresas que aí operam.

Esta dimensão articula-se com a política de diversificação económica do país. A construção de infra-estruturas de qualidade no interior é uma condição para o desenvolvimento da agricultura, do turismo, da indústria e dos serviços fora dos grandes

centros. Obras que se degradam precocemente comprometem esse objectivo, consumindo recursos em reabilitações que poderiam ser aplicados em novas infra-estruturas. A Geotecnia contribui, assim, indirectamente, para a eficácia das políticas de desenvolvimento territorial.

9.3 Relevância no mundo, em África e em Angola

À escala mundial, as alterações climáticas intensificam os eventos de precipitação extrema e, consequentemente, os riscos de deslizamentos, erosão e inundações, aumentando a importância da Geotecnia na resiliência das infra-estruturas. Em África, a rápida urbanização e a expansão das redes de transportes, frequentemente em contextos de capacidade técnica limitada, tornam a gestão do risco geotécnico uma questão de desenvolvimento. Em Angola, a combinação de um grande volume de investimento em infra-estruturas com a diversidade geológica e a concentração da capacidade técnica confere à Geotecnia um papel estratégico na eficiência da despesa pública e na qualidade de vida das populações.

10. Implicações Práticas

Para os **donos de obra públicos**, a principal implicação é a necessidade de orçamentar e exigir estudos geotécnicos proporcionais antes do lançamento dos procedimentos, e de incluir nos documentos condições de referência que tornem objectiva a gestão das alterações. Para os **projectistas**, a implicação é a elaboração de modelos geotécnicos explícitos, a verificação dos assentamentos diferenciais e a integração da drenagem na solução. Para os **empreiteiros**, é a adopção de planos de controlo de qualidade geotécnica e o reporte atempado das condições encontradas. Para os **fiscais**, é a verificação sistemática da conformidade entre o terreno encontrado e o modelo de projecto. Para as **instituições de ensino superior**, é o reforço da formação em solos tropicais, investigação do terreno e gestão do risco geotécnico.

Para as **empresas mineiras e grandes operadores industriais** da Região Leste, que frequentemente executam ou financiam obras de infra-estrutura (estradas de acesso, pontes, habitação para trabalhadores, sistemas de drenagem), a implicação é a extensão às obras de apoio dos padrões geotécnicos que aplicam às suas operações principais. Estas empresas dispõem, muitas vezes, de capacidade técnica e laboratorial que pode ser partilhada com as comunidades e as administrações locais, no quadro de programas de

responsabilidade social, com benefícios mútuos em termos de qualidade das infra-estruturas regionais.

Para as **administrações municipais**, a implicação central é a integração de critérios geotécnicos no licenciamento de obras particulares e na gestão urbanística, nomeadamente através da definição de faixas de protecção junto a ravinas e linhas de água, da exigência de drenagem nos loteamentos e da fiscalização dos aterros realizados por particulares.

Tabela 10 – Implicações práticas por interveniente

Interveniente	Implicação	Instrumento	Benefício esperado
Dono de obra público	Estudo geotécnico antes do procedimento	Termos de referência; Lei n.º 41/20	Menos trabalhos a mais e litígios
Projectista	Modelo geotécnico explícito	Relatório geotécnico; Eurocódigo 7	Soluções mais económicas e seguras
Empreiteiro	Controlo de qualidade geotécnica	Plano de qualidade; ensaios	Maior durabilidade
Fiscalização	Verificação das condições do terreno	Registos de obra; ensaios de controlo	Detecção precoce de desvios
LEA	Ensaio de referência e apoio técnico	DP n.º 306/14	Fiabilidade dos dados
Ensino superior	Formação e investigação aplicada	Currículos; parcerias	Capital humano e conhecimento local

Fonte: *Elaborado pelo autor.*

10.1 Aplicação sectorial

No **sector da habitação**, as implicações traduzem-se na investigação sistemática dos terrenos das centralidades e dos loteamentos, na identificação de aterros e solos problemáticos e no controlo da drenagem urbana. No **sector rodoviário**, traduzem-se na caracterização dos materiais, no dimensionamento dos pavimentos com base na capacidade de suporte do leito e no dimensionamento hidrológico robusto das passagens hidráulicas. No **sector dos equipamentos sociais**, como escolas e centros de saúde, traduzem-se na substituição dos projectos-tipo sem verificação local por projectos-tipo acompanhados de verificação geotécnica mínima de cada lote. No **sector da energia e da água**, traduzem-se na investigação aprofundada das fundações de barragens, reservatórios e condutas, onde a percolação e a erosão interna são riscos maiores. No **sector mineiro**, traduzem-se na estabilidade de taludes, escombrelas e barragens de rejeitados.

Em todos os sectores, a Geotecnia contribui não apenas para a segurança, mas para a eficiência económica do investimento, protegendo o valor dos activos construídos ao longo da sua vida útil.

11. Limitações

O estudo tem carácter teórico-conceitual, pelo que não apresenta dados originais de obras nem quantificações empíricas do impacto da Geotecnia no contexto angolano. Os casos simulados são ilustrativos e não substituem estudos empíricos. A escassez de literatura publicada sobre patologias e derrapagens em obras angolanas obrigou a recorrer, em parte, a evidência internacional e a analogias com contextos comparáveis.

Estudos futuros deverão privilegiar a análise retrospectiva de obras públicas angolanas, com identificação das causas geotécnicas de patologias e derrapagens, a quantificação do custo da incerteza do terreno em diferentes tipos de obra e a avaliação da eficácia de instrumentos contratuais como as condições geotécnicas de referência.

Reconhece-se ainda que a eficácia das medidas propostas depende de factores que ultrapassam o âmbito da engenharia, como a disponibilidade orçamental, a capacidade administrativa das entidades contratantes e a estabilidade das políticas públicas. O estudo não analisa em profundidade estas condicionantes, que merecem tratamento específico no quadro da economia pública e da gestão de projectos de investimento.

Acresce que a abordagem proposta não aprofunda os aspectos quantitativos do dimensionamento geotécnico, que exigiriam o tratamento de casos concretos com dados de campo e laboratório, nem desenvolve modelos econométricos de relação entre investimento em investigação e derrapagens de custo, que exigiriam uma base de dados de obras angolanas ainda inexistente. Estas limitações abrem, contudo, oportunidades de investigação interdisciplinar entre engenharia e economia.

12. Proposta de Adaptação Simplificada ao Contexto Angolano

Propõe-se uma adaptação simplificada da abordagem, organizada em torno de um **Protocolo Geotécnico Mínimo** aplicável às obras públicas, em três níveis proporcionais ao risco.

Nível 1 – Obras de baixo risco (pequenos edifícios de um piso, vedações, pequenas obras de drenagem): estudo documental, reconhecimento de campo, poços de

reconhecimento e ensaios básicos; verificação da proximidade de ravinas, linhas de água e aterros; plano de drenagem do lote.

Nível 2 – Obras de risco moderado (escolas, centros de saúde, edifícios até quatro pisos, estradas secundárias): sondagens com ensaios SPT, ensaios laboratoriais de identificação, resistência e compressibilidade, caracterização de materiais de empréstimo, projecto de drenagem integrado e condições geotécnicas de referência no procedimento.

Nível 3 – Obras de risco elevado (pontes, barragens, estradas principais, edifícios altos, grandes escavações): programa completo segundo o Eurocódigo 7, ensaios in situ e laboratoriais avançados, relatório geotécnico de referência, revisão independente do projecto e plano de monitorização segundo o método observacional quando aplicável.

A classificação de cada obra deve atender não apenas à sua dimensão, mas à complexidade do terreno e às consequências de uma rotura. A implementação pode ser progressiva, começando pelo Nível 1 em todas as obras públicas, com apoio do LEA e das instituições de ensino superior regionais.

A proposta pode ser operacionalizada através de uma ficha geotécnica normalizada, a anexar a todos os processos de aprovação de projectos públicos, que registe a categoria atribuída à obra, a investigação realizada, as principais características do terreno, os riscos identificados e as medidas previstas. Esta ficha, de preenchimento simples, torna visível o tratamento dado ao terreno em cada obra, facilita a fiscalização e alimenta, ao longo do tempo, a base de dados geotécnica regional.

Complementarmente, propõe-se a elaboração de um **guia técnico simplificado**, em linguagem acessível, dirigido a técnicos municipais, pequenos empreiteiros e autoconstrutores, com orientações sobre a identificação de solos problemáticos, a distância mínima a ravinas e linhas de água, a drenagem de lotes e a profundidade mínima de fundações em obras correntes. Este guia, elaborado em parceria entre o LEA, as universidades e as administrações municipais, poderia ter um impacto considerável na qualidade da construção informal e semiformal, que representa uma parte significativa do edificado nas cidades angolanas.

13. Conclusão

Este artigo procurou demonstrar que o impacto da Geotecnia na construção civil em Angola é profundo e transversal, afectando a segurança, o custo, o prazo e a durabilidade das obras ao longo de todo o seu ciclo de vida. A literatura internacional consolidou métodos robustos de investigação do terreno, dimensionamento de fundações e obras de terra, melhoramento de terrenos, monitorização e gestão do risco geotécnico, cuja aplicação sistemática produz ganhos substanciais de eficiência.

No contexto angolano, a diversidade geológica, o clima tropical, a presença de solos problemáticos e a concentração da capacidade técnica nos grandes centros urbanos tornam o impacto da Geotecnia ainda mais determinante. A abordagem em seis eixos proposta (planeamento e concepção, fundações e suporte, obras de terra e pavimentos, água e estabilidade, risco e contratação, controlo e monitorização) oferece uma grelha prática para orientar as decisões dos diferentes intervenientes.

Conclui-se que o maior impacto positivo da Geotecnia se obtém quando esta é integrada precocemente, quando o risco do terreno é explicitamente alocado nos contratos e quando o comportamento das obras é monitorizado e registado. A adopção de um protocolo geotécnico mínimo nas obras públicas, o reforço da capacidade laboratorial regional e a formação de técnicos qualificados constituem medidas de custo moderado e retorno elevado, que podem contribuir de forma significativa para a qualidade e a sustentabilidade das infra-estruturas angolanas.

Em síntese, a Geotecnia deve deixar de ser vista como um custo técnico acessório para ser reconhecida como uma função estratégica de protecção do investimento e da vida humana. Esta mudança de perspectiva, que já se verificou noutros países com resultados documentados, está ao alcance de Angola, que dispõe de base institucional, de legislação de contratação pública recente e de instituições de ensino superior implantadas nas regiões mais expostas aos riscos geotécnicos.

Como agenda de investigação futura, sugere-se a constituição de uma base de dados de obras públicas angolanas, com informação sobre investigação geotécnica realizada, condições encontradas, alterações, trabalhos a mais e patologias, que permita quantificar empiricamente o impacto da Geotecnia no custo e na qualidade das obras. Sugere-se igualmente a elaboração de cartas de aptidão geotécnica urbana para as principais

ciudades da Região Leste e o estudo comparativo da eficácia de diferentes soluções de controlo de erosão em areias do Kalahari. Estas linhas oferecem oportunidades de cooperação entre universidades, o LEA, os governos provinciais e o sector empresarial, contribuindo para que a Geotecnia se afirme como instrumento central da qualidade do investimento em infra-estruturas.

Referências Bibliográficas

- Burland, J. B., & Wroth, C. P. (1975). Settlement of buildings and associated damage. In *Proceedings of the Conference on Settlement of Structures* (pp. 611–654). Pentech Press.
- CEN – European Committee for Standardization. (2004). *EN 1997-1: Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 1: General rules*. CEN.
- Charman, J. H. (1988). *Laterite in road pavements* (Special Publication 47). Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).
- Clayton, C. R. I., Matthews, M. C., & Simons, N. E. (1995). *Site investigation* (2nd ed.). Blackwell Science.
- Essex, R. J. (Ed.). (2007). *Geotechnical baseline reports for construction: Suggested guidelines*. American Society of Civil Engineers.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2002). Underestimating costs in public works projects: Error or lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279–295. <https://doi.org/10.1080/01944360208976273>
- Institution of Civil Engineers. (1991). *Inadequate site investigation*. Thomas Telford.
- 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.
- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 102(3), 197–228.
- Mitchell, J. K. (1981). Soil improvement: State-of-the-art report. In *Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (Vol. 4, pp. 509–565). Stockholm.
- Nogami, J. S., & Villibor, D. F. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. Editora Villibor.
- Peck, R. B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Géotechnique*, 19(2), 171–187. <https://doi.org/10.1680/geot.1969.19.2.171>
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile foundation analysis and design*. John Wiley & Sons.
- 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. (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.
- Site Investigation Steering Group. (1993). *Site investigation in construction: Vol. 1. Without site investigation ground is a hazard*. Thomas Telford.
- Skempton, A. W., & MacDonald, D. H. (1956). The allowable settlements of buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 5(6), 727–768.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Transport Research Laboratory. (1993). *Overseas Road Note 31: A guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries* (4th ed.). TRL.
- Van Staveren, M. (2006). *Uncertainty and ground conditions: A risk management approach*. Butterworth-Heinemann.
- Wesley, L. D. (2010). *Geotechnical engineering in residual soils*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470611364>