

## UM ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO GPR PARA A ANÁLISE DE TERRENOS DE RISCO BASEADO NA ANÁLISE SISTÊMICA DA LITERATURA INTERNACIONAL

Kastelli Pacheco Sperandio<sup>1</sup>, Rogério Cabral de Azevedo<sup>2</sup>, Tauana de Oliveira Batista<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, FACIG, kastelli@sempre.facig.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, CEFET-MG, rogerio@civil.cefetmg.br

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, FACIG, tauana@sempre.facig.edu.br

**Resumo** - Na área da engenharia, conhecer as características e condições do solo é essencial para entender e prever seu comportamento durante as obras realizadas como forma de garantir a segurança. Diversos métodos são utilizados para este fim, mas um tem se destacado por sua eficiência e facilidade de aplicação nas mais diversas situações: o GPR. Sendo assim, este método tem potencial para atuar como ferramenta de caracterização e análise da estabilidade de terrenos de risco, auxiliando na prevenção de acidentes geotécnicos. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo evidenciar o estado da arte do tema “Utilização de GPR para análise de terrenos de risco”, através da ferramenta *ProKnow-C (Knowledge Development Process – Construtivist)*, utilizado para selecionar um portfólio de artigos e realizar as análises bibliométricas e sistêmica dos mesmos. O Portfólio Bibliográfico final é composto por seis artigos relevantes, atuais e alinhados com o tema. Com a análise bibliométrica estimou-se o reconhecimento científico dos artigos, o grau de relevância dos periódicos e autores, além das palavras-chave mais utilizadas. Por meio da análise sistêmica foram evidenciadas algumas carências nos artigos que podem ser exploradas em trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** GPR; Análise de terrenos de risco; ProKnow-C; Análise Bibliométrica; Análise Sistêmica.

**Área do Conhecimento:** Engenharias

### 1 INTRODUÇÃO

Conhecer as características e condições do subsolo é essencial na área da engenharia. Através desse conhecimento pode-se entender e prever o comportamento, tanto mecânico quanto hidráulico, do solo, informações estas que são indispensáveis para garantir a segurança de obras geotécnicas e prever os custos associados a esse tipo de serviço (SCHNAID, ODEBRECHT, 2012).

Caracterizar o subsolo, definindo suas características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas, é importante, principalmente, por essas informações poderem ser utilizadas em programas de prevenção de desastres naturais como deslizamento de encostas e inundações, tão presentes em períodos de chuvas intensas no Brasil (CARVALHO, GALVÃO 2006; SCHNAID, ODEBRECHT, 2012). Sabe-se que a frequência, o tipo e o tamanho dos escorregamentos de terra estão diretamente relacionados com as características do solo associadas aos fatores climáticos e ação antrópica (VAN ASCH *et al.*, 1999).

O reconhecimento do subsolo, que é realizado através de métodos de investigação geotécnica, pode ser dividido, basicamente, em direto e indireto. O primeiro método, de natureza empírica ou semiempírica, é caracterizado por permitir a observação direta do subsolo, seja através de amostras coletadas, posteriormente utilizadas para realizar ensaios laboratoriais visando à determinação das características do material e suas propriedades de engenharia, ou medição das propriedades *in situ*.

Os métodos indiretos para investigação geotécnica são aqueles em que a determinação das propriedades das camadas do subsolo é feita indiretamente pela medida de algum parâmetro, sem alterar as características físicas do material pesquisado. A geofísica, ciência que realiza essa

investigação utilizando conceitos físicos, vem sendo largamente utilizada para essa finalidade, uma vez que permite a obtenção das características do solo de forma não destrutível e mais rápida, em áreas e profundidades maiores.

Os principais métodos de investigação geofísica são os métodos potenciais, sísmicos e geolétricos. Este último, que possibilita a obtenção de parâmetros físicos através de equipamento específico permitindo assim a caracterização do subsolo, engloba a utilização de ondas eletromagnéticas. Nesse sentido, destaca-se a utilização do GPR (*Ground Penetrating Radar*), por sua eficiência em obter imagens da subsuperfície além da ampla aplicação nas mais diversas situações (ANNAN, 2001).

O Radar de Penetração em Solo, comumente chamado de georadar ou GPR, da sigla em inglês, é um método de investigação indireta da subsuperfície realizado através de um equipamento composto por antenas, que emitem e captam ondas eletromagnéticas, gerando perfis denominados radargramas, que descrevem a subsuperfície ao longo do terreno estudado.

Reconhecida a importância de caracterizar o subsolo e prever seu comportamento nas mais diversas condições, a utilização de métodos mais rápidos, operacionais e não destrutivos, se faz pertinente. Sendo assim, o emprego do GPR pode atuar como ferramenta para a caracterização e análise da estabilidade de terrenos de risco, auxiliando na prevenção dos possíveis desastres naturais.

Nesta perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo abordar o estado da arte do tema “Utilização de GPR para análise de terrenos de risco”, verificando como essa técnica de investigação da subsuperfície tem auxiliado na prevenção de acidentes geotécnicos. De forma a atingir esse objetivo, este estudo adotou a ferramenta ProKnow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*) para a seleção e análise de artigos científicos relevantes sobre o tema.

## **2 METODOLOGIA**

No presente trabalho, a fim de atingir os objetivos e resultados finais, foi utilizada uma metodologia específica, proposta por Ensslin *et al.* (2010), denominada ProKnow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*). O processo ProKnow-C, desenvolvido para auxiliar na seleção e análise de artigos científicos, é composto por quatro etapas: (i) seleção de um portfólio de artigos sobre o tema da pesquisa; (ii) análise bibliométrica do portfólio; (iii) análise sistêmica; e (iv) definição da pergunta e objetivo da pesquisa.

Para fins desta pesquisa, o processo ProKnow-C não será utilizado integralmente, sendo aplicadas apenas as três primeiras etapas da metodologia: a seleção de um portfólio de artigos científicos sobre o tema da pesquisa, análise bibliométrica do portfólio e análise sistêmica.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO**

O subprocesso de seleção do portfólio bibliográfico, que tem como resultado um conjunto de artigos científicos que estejam alinhados com o tema da pesquisa e que são considerados relevantes pelo pesquisador, foi realizado no mês de novembro de 2016.

Esta etapa tem início com a definição das palavras-chave a serem pesquisadas, que devem estar alinhadas com as principais características do tema da pesquisa. Para o presente trabalho, foram definidos os seguintes eixos de pesquisa: Eixo 1 – Análise do solo, Eixo 2 – Terrenos de risco e Eixo 3 – Investigação geofísica.

O Eixo 1 diz respeito à principal e mais abrangente característica do tema da pesquisa: análise do solo. Sendo assim, foram definidas as seguintes palavras-chave: “Characterizing underground”, “Properties soil”, “Properties underground”, “Geotechnical analysis”. Já o Eixo 2 está relacionado com o tipo de terreno a ser estudando, limitando o eixo anterior, tendo como palavras-chave definidas “Risk land” e “Slope stability”. O Eixo 3 relaciona-se com o tipo de equipamento utilizado para realizar a investigação geofísica, que no presente trabalho é o Geo Radar. Portanto, para esse eixo foram definidas as palavras-chave: “Ground Penetrating Radar” e “GPR”. As palavras-chave utilizadas no presente trabalho podem ser conferidas na tabela abaixo.

Tabela 1: Palavras-chave utilizadas no presente trabalho.

DEFINIÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE		
Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Characterizing underground	Risk land	Ground Penetrating Radar
Properties soil		
Properties underground	Slope stability	GPR
Geotechnical analysis		

Fonte: Autores.

O cruzamento entre as quatro palavras-chave do Eixo 1, duas do Eixo 2 e duas do Eixo 3 resultou num total de 16 diferentes combinações de palavras-chave a serem utilizadas na busca por artigos científicos dentro das bases de dados de publicações disponibilizadas pela CAPES.

Na sequência, buscou-se, no portal da CAPES, bases de dados que estivessem alinhadas às áreas de conhecimento “Engenharias” e subcategoria “Engenharia Civil”. Essa busca resultou em 18 bases, sendo que apenas 8 delas continham textos completos. Dentre estas que disponibilizavam os artigos completos, optou-se por realizar a pesquisa através da *ScienceDirect (Elsevier)* devido à sua relevância e reconhecimento no meio científico.

Sendo assim, buscou-se pelas 16 combinações de palavras-chave nos campos título (*article title*), resumo (*abstract*) e palavras-chave (*keywords*), na base de dados definida *ScienceDirect*, com tempo amostral de 10 anos (2006-2016) e delimitando a tipologia de publicação (*journal article*). A busca resultou em 1629 artigos, todos encaminhados para o gerenciador de referências EndNote, que, segundo Reuters (2009), permite identificar a tipologia do documento e suas duplicatas, facilitando a filtragem do banco de artigos brutos, seleção e definição portfólio bibliográfico.

O primeiro processo de filtragem aplicado no banco de artigos brutos teve como finalidade selecionar apenas os artigos científicos, excluindo assim os de outra tipologia que foram encontrados durante a pesquisa, como livros, citações e patentes. Dentre os 1629 resultados encontrados foram excluídos 200 publicações, restando 1429 artigos no banco.

A próxima etapa de seleção foi a análise de redundância, identificando e removendo os artigos repetidos. Nesta etapa foram excluídos 845 artigos duplicados, restando 584 artigos científicos para a etapa seguinte, que é a leitura dos títulos. Antes, porém, excluíram-se do banco 15 artigos que não apresentavam seu ano de publicação, restando 569.

Dos 569 artigos que tiveram seus títulos analisados, foram eliminados 548 por não estar em alinhamento com o tema de pesquisa, restando 21 para a próxima etapa que seria o reconhecimento científico. Contudo, esta etapa não foi realizada uma vez que o volume de artigos científicos resultantes da etapa anterior viabilizou a análise dos resumos de todos os artigos.

Após a análise do resumo de cada um dos 21 artigos, foram selecionados 9 para serem lidos integralmente. Destes artigos que tiveram seus textos integralmente analisados, 3 foram excluídos por não estarem alinhados com o tema da pesquisa. Sendo assim, o processo de filtragem realizado resultou em um Portfólio Bibliográfico composto por 6 artigos, listados e numerados, alfabeticamente, na Tabela 2.

Tabela 2 – Portfólio final de artigos.

PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	
1	Friedel, S.; Thielen, A.; Springman, S. M. Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. <i>Journal of Applied Geophysics</i> 60, 100-114, 2006.
2	Gokturkler, G.; Balkaya, Ç.; Erhan, Z.. Geophysical investigation of a landslide: The Altindag landslide site, Izmir (western Turkey). <i>Journal of Applied Geophysics</i> 65, 84-96, 2008.
3	Jeng, Y.; Chen, C. S. Subsurface GPR imaging of a potencial collapse area in urban environments. <i>Engineering Geology</i> 147-148, 57-67 2012.
4	Perrone, A.; Lapenna, V.; Piscitelli, S. Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review. <i>Earth- Science Reviews</i> 135, 65-82, 2014.
5	Sass, O.; Bell, R.; Glade, T. Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). <i>Geomorphology</i> 93, 89-103, 2008.
6	Tran <i>et al.</i> High-resolution space–time quantification of soil moisture along a hillslope using joint analysis of ground penetrating radar and frequency domain reflectometry data. <i>Journal of Hydrology</i> 523, 252-261, 2015.

Fonte: Autores.

### 3.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Segundo Ensslin *et al.* (2013), esta etapa consiste na análise dos artigos objetivando quantificar as informações existentes de um dado assunto e fornecer as características das publicações. A análise bibliométrica para o portfólio bibliográfico selecionado considerou os seguintes fatores: (i) estimar o reconhecimento científico dos artigos; (ii) estimar o grau de relevância dos periódicos; (iii) estimar o grau de relevância dos autores; e (iv) estimar as palavras-chave mais utilizadas.

Entende-se por reconhecimento científico de um artigo como sendo a quantidade de citações relacionadas a ele presentes do Google Scholar (ENSSLIN, ENSSLIN e PACHECO, 2012). Segundo essa primeira análise, o artigo de Friedel, Thielen e Springman (2013) é o que possui mais citações na plataforma, com 113, enquanto que o artigo de Tran *et al.* (2015) é o que tem menos, com 11. A relação do reconhecimento científico dos artigos baseado nesta análise pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3 – Número de citações dos artigos do portfólio.

TÍTULO	ANO	CITAÇÕES
Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing	2006	113
Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany)	2008	58
Geophysical investigation of a landslide: The Altindag landslide site, Izmir (Western Turkey)	2008	31
Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review	2014	31
High-resolution space–time quantification of soil moisture along a hillslope using joint analysis of ground penetrating radar and frequency domain reflectometry data	2015	11
Subsurface GPR imaging of a potencial collapse area in urban environments	2012	10

Fonte: Autores.

A segunda forma de avaliar o reconhecimento científico dos artigos do Portfólio Bibliográfico é quantificar as citações do artigo nas referências do próprio Portfólio Bibliográfico. Como pode ser observado na Tabela 4, que faz o cruzamentos dos artigos do portfólio e suas referências, 3 desses artigos são referenciados nos outros, cada qual com uma citação cada: Friedel, Thielen e Springman (2006), Gokturkler, Balkaya e Erhan (2008) e Sass, Bell e Glade (2008).

Tabela 4 – Presença dos artigos do Portfólio Bibliográfico nas referências dos demais.

		Referências						Autores
		1	2	3	4	5	6	
Artigos	1	-	✓	x	x	x	x	Friedel, Thielen e Springman (2006)
	2	x	-	x	✓	x	x	Gokturkler, Balkaya e Erhan (2008)
	3	x	x	-	x	x	x	Jeng e Chen (2012)
	4	x	x	x	-	x	x	Perrone, Lapenna e Piscitelli (2014)
	5	x	x	x	✓	-	x	Sass, Bell e Glade (2008)
	6	x	x	x	x	x	-	Tran <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Autores.

O grau de relevância dos periódicos pode ser estimado através de um sistema de classificação seguindo critérios previamente estabelecidos por área de conhecimento e aprovados pelo Conselho Técnico Científico da Educação Superior (CTC-ES). Esta classificação, que é realizada pelas áreas de avaliação e atualizada anualmente, é dividida em estratos indicativos de qualidade: A1, o mais elevado; A2; B1; B2; B3; B4; B5; C, com peso zero (CAPES, 2014). De acordo com o evento de classificação Qualis 2014, os periódicos do Portfólio Bibliográfico apresentam a seguinte classificação:

Tabela 5: Classificação dos periódicos do Portfólio Bibliográfico segundo a Qualis 2014.

PERIÓDICO	Nº ARTIGOS	QUALIS 2014
Earth - Science Reviews	1	A1
Engineering Geology	1	A2
Geomorphology	1	A1
Journal of Applied Geophysics	2	B1
Journal of Hydrology	1	A1

Fonte: Autores.

Segundo esta classificação, 3 periódicos são classificados como A1, 1 periódico como A2 e 2 periódicos como B1. Portanto, os artigos do Portfólio Bibliográfico podem ser considerados relevantes no meio científico, uma vez que se encontram nos três primeiros níveis desta classificação.

Outra forma de estimar o grau de relevância dos periódicos é através do Índice h, que indica a quantidade de citações que os artigos publicados em determinado periódico receberam nos últimos anos. O Índice h expressa que o periódico teve “h” publicações com pelo menos “h” citações (HIRSCH, 2005). O índice h5, disponibilizado pelo Google Scholar, faz referência a um conjunto “h” de artigos de um periódico com, no mínimo, “h” citações nos últimos 5 anos. A mediana h5 refere-se à média de citações entre os artigos presentes no h5.

Tabela 6: Fator de impacto dos periódicos segundo o Índice h5.

PERIÓDICO	ÍNDICE h5	MEDIANA h5
Earth - Science Reviews	58	85
Engineering Geology	36	45
Geomorphology	48	62
Journal of Applied Geophysics	25	30
Journal of Hydrology	64	78

Fonte: Autores.

De acordo com esta classificação, o periódico de maior impacto é o “*Journal of Hydrology*”, enquanto que o de menor impacto é o “*Journal of Applied Geophysics*”.

O grau de relevância dos autores dos artigos que constam no Portfólio Bibliográfico pode ser estimado verificando quantas vezes estes autores estão presentes nas referências do Portfólio. Conforme a Tabela 7, dentre os 19 autores dos artigos, o com maior relevância é o A. Perrone, com 14 citações nas referências do Portfólio Bibliográfico.

Tabela 7: Autores e suas respectivas citações nas referências no Portfólio Bibliográfico.

AUTORES	CITAÇÃO NAS REFERÊNCIAS
Perrone, A.	14
Lapenna, V.	12
Piscitelli, S.	10
Lambot, S.	8
Glade, T.	7
Springman, S. M.	6
Jeng, Y.	6
Chen, C. S.	6
Sass, O.	6
Friedel, S.	5
Thielen, A.	4
Tran, A. P.	4
Gokturkler, G.	3
Vanclooster, M.	3
Bell, R.	2
Bogaert, P.	2
Balkaya, Ç.	1
Erhan, Z.	1
Wiaux, F.	1

Fonte: Autores.

A estimativa das palavras-chave mais utilizadas nos artigos do Portfólio Bibliográfico foi realizada analisando cada um dos artigos. Apenas 4 palavras-chave foram utilizadas mais de uma vez no Portfólio: “*Electrical resistivity*”, “*Tomography*”, “*Landslide*” e “*Ground - penetrating radar*”, utilizadas 2 vezes cada, conforme pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 8: Palavras-chave e suas respectivas utilizações no Portfólio Bibliográfico.

PALAVRAS-CHAVE	UTILIZAÇÃO NO PORTFÓLIO	PALAVRAS-CHAVE	UTILIZAÇÃO NO PORTFÓLIO
Electrical resistivity	2	Sub-component	1
Tomography	2	Review	1
Landslide	2	Electrical resistivity tomography	1
Ground - penetrating radar	2	2D	1
Slope stability	1	3D	1
Rainfall-induced landslides	1	Time-lapse	1
Seismic refraction	1	Landslides	1
Izmir	1	2D - resistivity	1
Turkey	1	Swabian Alb	1
GPR	1	Soil moisture	1
Shallow imaging	1	Space-time variability	1
Logarithmic transform	1	Bayesian data fusion	1
EEMD	1	Temporal stability analysis	1

Fonte: Autores.

Além da análise das palavras-chave do Portfólio Bibliográfico, foi realizada uma comparação entre as palavras-chave definidas para o tema da presente pesquisa e as do Portfólio Bibliográfico,

identificando se havia semelhança entre elas. Evidenciou-se que três das oito palavras-chave definidas para o tema da pesquisa (“*Ground - penetrating radar*”, “*Slope stability*” e “*GPR*”) eram semelhantes às do Portfólio Bibliográfico, sendo que a primeira foi utilizada duas vezes.

### 3.2 ANÁLISE SISTÊMICA

A análise sistêmica consiste em um processo científico utilizado para, a partir de uma visão de mundo (filiação teórica) definida e explicitada por suas lentes, analisar uma amostra representativa de artigos de um dado assunto de pesquisa, objetivando evidenciar, para cada lente e globalmente, para a perspectiva estabelecida, os destaques e as oportunidades (carências) de conhecimentos encontrados na amostra (ENSSLIN *et al.*, 2010).

Tabela 8: Lentes de pesquisa.

NÚMERO	LENTE	PERGUNTA DA LENTE
1	Metodologia	Qual o método geofísico utilizado?
2	Antena	Qual a antena (frequência) utilizada?
3	Investigação Direta	Realizou algum método de investigação direta?
4	Características do solo	Havia conhecimento prévio do terreno estudado?
5	Método de prevenção	O método geofísico foi utilizado para auxiliar em prevenção de acidentes?

Fonte: Autores.

#### 3.2.1 Método Geofísico

Existem diversos tipos de métodos geofísicos para investigação da subsuperfície. Segundo Lago, Elis e Giacheti (2006), o método geofísico da eletrorresistividade é um dos mais utilizados devido à possibilidade de aplicação nos mais diversos campos de estudo, inclusive em estudos ambientais, como o tema de pesquisa.

O material do deslizamento de terra é geralmente argiloso e bastante molhado, favorecendo a utilização do método Electrical Resistivity Tomography (ERT) (MAURITSCH *et al.*, 2000; ISRAIL, PACHAURI, 2003; AGNESI *et al.*, 2005). Os altos teores de argila e água encontrados neste tipo de material resultam em elevada condutividade e consequente alta taxa de atenuação dos sinais, o que prejudica a utilização do GPR para este tipo de investigação (XAVIER, 2006).

Nos artigos presentes no Portfólio Bibliográfico, o método *Electrical Resistivity Tomography (ERT)* foi o mais utilizado que o *Ground Penetrating Radar (GPR)*, estando presente em quatro dos seis artigos. Segundo Sass, Bell e Glade (2008), que realizaram uma análise comparativa entre os dois métodos, ambas as técnicas podem ser utilizadas neste tipo de investigação, embora os resultados obtidos com o GPR sejam limitados quando comparados aos do ERT.

Dessa forma, surge a oportunidade de realizar mais estudos que contemplem a utilização do GPR como método de investigação geofísica em estudos ambientais e deslizamentos de terra, de forma a entender suas limitações e vantagens, buscando ampliar sua aplicação nestes campos.

#### 3.2.2 Antena

A propagação do sinal do GPR em superfície, profundidade de penetração e a resolução da investigação dependem diretamente da frequência do equipamento utilizado, além das propriedades elétricas do subsolo (DAVIS e ANNAN, 1989). Segundo Annan (2001), quanto maior a frequência menor a capacidade de exploração em profundidade.

Dentre os artigos do Portfólio Bibliográfico que utilizaram o GPR como equipamento para investigação da subsuperfície apenas dois utilizaram antenas de 200 MHz. Sendo assim, encontrou-se uma oportunidade de utilização de antenas com esse tipo de frequência em trabalhos futuros.

#### 3.2.3 Investigação Direta

Fernandes (1984) afirma que a prospecção geotécnica indireta, como é o caso dos métodos geofísicos, não oferece qualquer informação a cerca do tipo de solo ou rocha investigado. As técnicas

de investigação diretas fornecem informações verdadeiras sobre as características do terreno, porém apenas para aquele ponto onde foi realizada a coleta de amostras, não sendo representativa para grandes áreas (PETLEY *et al.*, 2005; MARCATO *et al.*, 2012).

A coleta de amostras do material retirada próximas da área de levantamento com GPR e posteriores ensaios laboratoriais, com o objetivo de determinar algumas propriedades do material, pode auxiliar na compreensão dos dados coletados. Como ambos os métodos (geofísico e investigação direta) possuem limitações, o ideal é que sejam conciliados nesse tipo de estudo, permitindo assim uma interpretação mais precisa dos radargramas e a validação da investigação geofísica. A maioria dos artigos do Portfólio Bibliográfico contemplou a utilização das técnicas diretas e indiretas combinadas em seus respectivos estudos, confirmando a importância deste tipo de combinação para garantir bons resultados.

### 3.2.4 Características do solo

Segundo Popini (2001), possuir conhecimento prévio das características geológicas do solo e feições estruturais da área pode facilitar o trabalho de interpretação dos resultados obtidos de investigações geofísicas. Além disso, solos caracterizados por alto teor de água, sais solúveis e argila, resultam em aumento de condutividade e, conseqüente, taxa de atenuação dos sinais (XAVIER, 2006).

Ainda segundo este mesmo autor, nestas condições desfavoráveis, os dados obtidos pelo GPR necessitam de ser submetidos a um processamento digital adequado, corrigindo os efeitos indesejáveis relacionados às essas características e obtendo qualidade satisfatória de imageamento (XAVIER, 2006).

Reconhecida a importância de possuir conhecimento prévio das características do solo, confirmada pela abordagem deste ponto em todos os artigos do Portfólio Bibliográfico, deve-se contemplar este tipo de informação quando da utilização de métodos geofísicos, a fim de não gerar erros na interpretação dos resultados obtidos.

### 3.2.5 Método de prevenção

Como foi mencionada anteriormente, a caracterização do subsolo, através das características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas é importante na análise de terrenos sujeitos a escorregamento de terra, uma vez que a frequência, o tipo e tamanho deste tipo de acidente tem relação direta com as características do solo (VAN ASCH *et al.*, 1999; CARVALHO, GALVÃO 2006; SCHNAID, ODEBRECHT, 2012).

Todos os artigos do Portfólio Bibliográfico que abordaram a utilização de métodos geofísicos em acidentes geotécnicos, o fizeram após o ocorrido. Sendo assim, encontrou-se uma oportunidade de pesquisa em utilizar o método geofísico para adquirir informações sobre o solo no intuito de auxiliar em programas de prevenção de desastres ambientais.

## 4 CONCLUSÃO

Buscou-se com a presente pesquisa investigar o estado da arte sobre o tema “Utilização de GPR para análise de terrenos de risco” através da seleção de artigos relevantes e atuais que abordam este assunto. De forma a atingir esse objetivo utilizou da metodologia ProKnow-C de forma parcial, abordando as três primeiras etapas do processo: a seleção de um portfólio de artigos científicos sobre o tema da pesquisa, análise bibliométrica do portfólio e análise sistêmica.

A busca e seleção dos artigos para compor o Portfólio Bibliográfico se basearam na combinação das seguintes palavras-chave: “*Characterizing underground*”, “*Properties soil*”, “*Properties underground*”, “*Geotechnical analysis*”, “*Risk land*”, “*Slope stability*”, “*Ground Penetrating Radar*” e “GPR”. A busca foi submetida na base de dados *Science Direct*, com tempo amostral de 10 anos e delimitação da tipologia de publicação como “*Journal Article*”, retornando em um total de 1629 artigos.

A filtragem desse banco de artigos bruto contemplou a eliminação de publicações que não fossem artigos, como livros, citações e patentes. De posse exclusivamente de artigos científicos, deu-se a exclusão de artigos que se encontravam duplicados ou não informavam seu ano de publicação, que não tinham seus títulos e resumos alinhados com o tema de pesquisa. Após a leitura integral dos artigos, foram eliminados aqueles que não estavam totalmente alinhados com o tema de pesquisa, resultando em Portfólio Bibliográfico de 6 artigos científicos.

A análise bibliométrica realizada permitiu concluir que, dentre os artigos do Portfólio Bibliográfico, o com maior reconhecimento científico é o “*Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing*”, com 113 citações no *Google Scholar*. Quanto ao periódico de maior relevância, segundo a classificação Qualis 2014 os periódicos



“*Earth – Science Reviews*”, “*Geomorphology*” e “*Journal of Hydrology*” são classificados como A1 estrato mais elevado, sendo este último o de maior impacto segundo o Índice h5.

Ainda através da análise bibliométrica, pode-se concluir que o autor dos artigos de maior relevância é o A. Perrone, com 14 citações nas referências do Portfólio Bibliográfico. Analisando as palavras-chave do Portfólio Bibliográfico, foi constatado que 4 delas foram utilizadas mais de uma vez: “*Electrical resistivity*”, “*Tomography*”, “*Landslide*” e “*Ground - penetrating radar*”, utilizadas duas vezes cada. Foi realizada também uma comparação entre as palavras-chave definidas para o tema da presente pesquisa e as do Portfólio Bibliográfico, evidenciando que três das oito palavras-chave definidas para o tema da pesquisa (“*Ground - penetrating radar*”, “*Slope stability*” e “*GPR*”) eram semelhantes às do Portfólio Bibliográfico.

Através da análise sistêmica realizada notaram-se algumas carências nas pesquisas realizadas que podem ser abordadas em trabalhos futuros. A utilização do GPR na análise de terrenos de risco como ferramenta auxiliar na prevenção de acidentes geotécnicos, por exemplo, é uma lacuna a ser preenchida por novas pesquisas.

## 5 REFERÊNCIAS

AGNESI, V., CAMARDO, M., CONOSCENTI, C., DIMAGGIO, C., DILIBERTO, I.S., MADONIA, P., ROTIGLIANO, E. A multidisciplinary approach to the evaluation of the mechanism that triggered the Cerda landslide (Sicily, Italy). *Geomorphology* v. 65, p. 101–116, 2005.

ANNAN, A. P. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors & Software Inc, Canadá, 2001.

CAPES, F. Classificação da produção intelectual. 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/instrumentos-de-apoio/classificacao-da-producao-intelectual>>. Acessado em Novembro/2016.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. Prevenção de riscos de deslizamento em encostas: Guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

DAVIS, J. L., ANNAN, A. P. Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of oil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, v. 37, p. 531-551, 1989.

ENSSLIN, L. *et al.* ProKnow-C, Knowledge Development Process -Constructivist: processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil: [s.n.], 2010.

ENSSLIN, L., ENSSLIN, S. R.; PACHECO, G. C. Um estudo sobre segurança em estádios de futebol baseado na análise bibliométrica da literatura internacional. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 17, n. 2, p. 71-91, 2012.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PINTO, H. D. M. Processo de investigação e Análise bibliométrica: Avaliação da Qualidade dos Serviços Bancários. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 17, n. 3, p. 325-349, 2013.

FERNANDES, C. E. M. Fundamentos de prospecção geofísica. Rio de Janeiro: Interciência, 1984.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Science of United States of America*, v. 102, p. 16569-16572, 2005.

ISRAEL, M., PACHAURI, A.K. Geophysical characterization of a landslide site in the Himalayan foothill region. *Journal of Asian Earth Sciences* v. 22, p. 253–263, 2003.

LAGO, A. L., ELIS, V. R., GIACHETTI, H. L. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru – SP. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 24, n. 3, 2006.

MARCATO, G., MANTOVANI, M., PASUTO, A., ZABUSKI, L., BORGATTI, L. Monitoring, numerical modelling and hazard mitigation of the Moscardo landslide (Eastern Italian Alps). *Eng. Geol.* V. 128, p. 95–107, 2012.

MAURITSCH, H.J., SEIBERL, W., ARNDT, R., RÖMER, A., SCHNEIDERBAUER, K., SENDLHOFER, G.P. Geophysical investigations of large landslides in the Carnic region of southern Austria. *Engineering Geology* v. 56, p. 373–388, 2000.

PETLEY, D. N., MANTOVANI, F., BULMER, M. H., ZANNONI, A. The use of surfacemonitoring data for the interpretation of landslide movement patterns. *Geomorphology*, v. 66, p. 133–147. 2005.

POPINI, M. V. F. Processamento de dados de GPR utilizando métodos da sísmica de reflexão. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2001.

REUTERS, T. EndNote X3. The Thomson Corporation, 2009.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

VAN ASCH, Th. W. J.; BUMA, J.; VAN BEEK, L. P. H. A view on some hydrological triggering systems in landslides. *Geomorphology*, v. 30, p. 25-32, 1999.

XAVIER, Pedro Neto. Processamento e interpretação de dados 2D e 3D de GPR: Aplicações no imageamento de feições Kársticas e estruturas de dissolução no campo de petróleo de Fazenda Belém – CE. Tese de Doutorado (Doutor em Geofísica) – Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio