



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ
ENGENHARIA DE MINAS

AMANDA LUZIA SANTOS SILVEIRA

**PROPOSTA DE UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA
ESTABILIDADE EM TALUDES DE ENCOSTA POR MEIO DE
PLUVIÔMETROS**

ARAXÁ-MG

2021

AMANDA LUZIA SANTOS SILVEIRA

**TÍTULO: PROPOSTA DE UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA
ESTABILIDADE EM TALUDES DE ENCOSTA POR MEIO DE
PLUVIÔMETROS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador(a): Me. Allan Erlikhman
Medeiros Santos

Coorientador(a): Dr. Kleber Lopes
Fontoura

ARAXÁ-MG

2021

AMANDA LUZIA SANTOS SILVEIRA

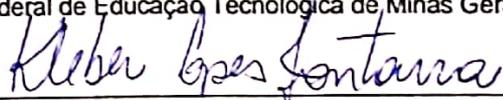
**TÍTULO: PROPOSTA DE UM SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA
ESTABILIDADE EM TALUDES DE ENCOSTA POR MEIO DE
PLUVIÔMETROS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais -
Unidade Araxá, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Minas.

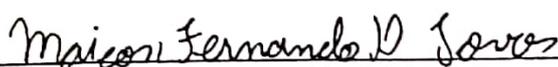
Araxá, 9 de Setembro de 2021.



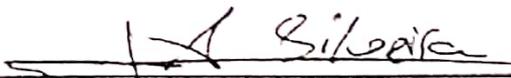
Prof.º Me. Allan Edikman Medeiros Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá



Prof.º Dr. Kleber Lopes Fontoura
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá



Me. Maicon Fernando Dias Torres
Instale Tecnologia



Prof.º Dr. Alexander Martin Silveira Gimenez
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Vanilda e Magno,
que me apoiaram e ajudaram em toda minha trajetória.
Ao meu namorado, Alexandre, que esteve ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por ter me guiado durante toda minha trajetória até aqui. Por me permitir está ao lado de pessoas especiais e ter me ajudado em todos os momentos de dificuldades.

Agradeço aos meus pais, Vanilda e Magno, que sempre estiveram juntos de mim nesse caminho. Obrigada pelo incentivo, dedicação, ajuda e todo amor.

Ao meu companheiro de vida, Alexandre, por toda ajuda e companheirismo nesses anos.

Ao meu orientador Me. Allan Erlikhman e coorientador Kleber Lopes por todo o suporte para que fosse possível desenvolver esse projeto.

À todos os amigos que sempre me ajudaram nessa caminhada, aos professores e funcionários que me guiaram durante todo esse processo.

EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

Os taludes infinitos são estruturas em rocha e/ou solo que possuem grande extensão e espessura, sendo comumente presente em encostas naturais e retaludadas em rodovias. Problemas de estabilidade nesses taludes são uma questão de suma importância em virtude dos diversos prejuízos que podem ser desencadeados com estes deslizamentos. Os danos podem ser indiretos ou diretos, destacando danos econômicos, estruturais e perdas de vidas. Um dos gatilhos mais influenciadores destes deslizamentos é a percolação de água no solo proveniente de períodos chuvosos. Posto isso, o acompanhamento em tempo real desses taludes, em especial em períodos chuvosos, é imprescindível para evitar ou mitigar possíveis catástrofes. Uma maneira de monitorá-los é por meio do fator de segurança, que é uma relação das forças atuantes e resistentes no maciço. Diante disso, a pesquisa em questão propõe uma metodologia para um sistema de monitoramento da estabilidade de taludes em função da precipitação na área. A metodologia foi baseada em um sistema que é composto por um pluviômetro digital que envia os dados de volume de chuva, via wireless, a um software que computa estes valores e fornece o fator de segurança em tempo real. No software é feito o cálculo do fator de segurança baseado nas alterações que a percolação de água causa nos índices físicos do maciço em solo, e assim um gráfico do fator de segurança em relação ao tempo é plotado para que o monitoramento possa ser realizado. Desta maneira o monitoramento é realizado em tempo contínuo, registrando as oscilações do fator de segurança periodicamente. Assim, com os resultados obtidos têm-se a proposta de uma ferramenta para utilização dos órgãos públicos na segurança em obras de engenharia onde se encontram taludes de encostas e na gestão de riscos geológicos nos vários municípios que enfrentam os problemas de deslizamentos nos períodos chuvosos do Brasil, onde o ciclo chuvoso é muito bem definido.

Palavras-chave: Estabilidade de Talude. Pluviosidade. Monitoramento. Índices Físicos.

RESUMO

Infinite slopes are structures in rock and/or soil that have great extension and thickness, commonly present on natural slopes and curved in highways. Slope stability problems are an extremely important issue due to the various damages that can be triggered by these landslides. Damage can be indirect or direct, highlighting damage, occurring and loss of life. One of the most influencing triggers of these landslides is the percolation of non-soil water from rainy periods. That said, real-time monitoring of these slopes, especially during rainy periods, is essential to avoid or mitigate possible catastrophes. One way to monitor them is through the safety factor, which is a list of the active and resistant protectors in the massif. Therefore, the research in question offers a methodology for a system to monitor the stability of slopes as a function of the area's function. The methodology was based on a system that consists of a digital rain gauge that sends the rain volume data wirelessly, a software that computes these values and offers the safety factor in real time. No software is made to calculate the factor of safety based on the changes that water percolation causes in the physical indices of the mass in soil, and thus a graph of the factor of safety over time is plotted so that monitoring can be carried out. In this way, the monitoring is carried out in continuous time, registering as fluctuations in the safety factor periodically. Thus, with the results obtained, there is a proposal for a tool for the use of public agencies in safety in engineering works where slope slopes are obtained and in the management of geological risks in the various municipalities that face the problems of landslides in the rainy periods of the Brazil, where the rainy cycle is very well defined.

Keywords:/ Palabras clave:/ Mots clefs: Slope stability. Randall. Monitoring. Physical indices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Composição de um talude.....	19
Figura 2: Ruptura por rastejo	23
Figura 3: Ruptura por corridas.....	24
Figura 4: Ruptura por queda	25
Figura 5: Ruptura por Escorregamento (planar, circular e cunha).....	26
Figura 6: Geometria do escorregamento.....	27
Figura 7: Mortes em deslizamentos de terra na Grande SP ano a ano.....	33
Figura 8: Maior desastre em SC.....	34
Figura 9: Tragédia em Nova Friburgo.	35
Figura 10: Pluviômetro digital e suas partes.....	37
Figura 11: Sistema de funcionamento do reed switch em básculas.....	38
Figura 12: Metodologia geral.....	40
Figura 13: Pluviômetro utilizado	41
Figura 14: Módulo ESP 8266 e cabo serial usb	42
Figura 15: Fluxograma da captação de pluviosidade e transmissão de dados.	42
Figura 16: Esquemático do programa	43
Figura 17: Esquemático simplificado do projeto	45
Figura 18: Circuito pluviômetro, módulo ESP e painel fotovoltaico	46
Figura 19: Conexão computador e módulo ESP	47
Figura 20: Interface Inicial	48
Figura 21: Interface Variáveis.....	48
Figura 22: Janela Porta Serial	49
Figura 23: Interface Monitoramento	50
Figura 24: Interface Monitoramento	51
Figura 25: Talude analisado	52
Figura 26: Janela inicial do programa	53
Figura 27: Página inicial	54
Figura 28: Segunda aba.....	54
Figura 29: Janela variáveis – talude hipotético.....	55
Figura 30: Janela Portas - talude hipotético	55
Figura 31: Janela monitoramento – 10 mm de chuva.	56

Figura 32: Janela monitoramento – 20 mm de chuva.	56
Figura 33: Janela monitoramento – 30 mm de chuva.	57
Figura 34: Janela monitoramento – 30 mm de chuva.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos movimentos de massa por grupo.....	20
Quadro 2: Classificação dos movimentos de massa por grupo.....	21
Quadro 3: Fatores deflagradores dos movimentos de massa	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação por velocidade.	22
Tabela 2: Classificação por profundidade.	22
Tabela 3: Nível de segurança contra a perda de vidas humanas.....	29
Tabela 4: Nível de segurança contra os danos materiais e ambientais	29
Tabela 5: Fator de segurança admissível	30
Tabela 6: Características de alguns métodos de equilíbrio limite.....	31
Tabela 7: Variáveis.....	52
Tabela 8: Valores do índice de vazios por classificação de solos granulares	53

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	28
Equação 2	31
Equação 3	32
Equação 4	32
Equação 5	43
Equação 6	44
Equação 7	44
Equação 8	44
Equação 9	44
Equação 10	44
Equação 11	45

LISTA DE SÍMBOLOS

τ_{mob} - tensões cisalhantes mobilizadas

τ_f - resistência ao cisalhamento

FS - fator de segurança

c' - coesão efetiva do material superficial

γ - peso específico do material superficial

H - altura da camada de solo superficial passível de movimentação

α - inclinação do terreno do talude

i - inclinação do terreno do talude

ϕ' - ângulo de atrito interno efetivo do material superficial

γ_w - peso específico da água

H - altura da coluna d'água

α - inclinação do terreno do talude analisado;

n - porosidade

w - umidade

C - Calibrar

Vc - Volume de chuva

P_s - Peso da amostra seca

P_w - Peso da água

γ_s - Peso específico das partículas sólidas

γ_d - Peso específico solo seco

γ_{sat} - Peso específico do solo saturado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Taludes	19
2.2	Tipos de movimentos de massa	20
2.2.1	ESCOAMENTOS	23
2.2.2	SUBSIDÊNCIAS	24
2.2.3	RUPTURA POR QUEDA.....	24
2.2.4	ESCORREGAMENTOS.....	25
2.3	Causas gerais de escorregamentos	26
2.4	Análise de estabilidade	28
2.4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	28
2.4.2	TEORIA DE EQUILÍBRIO LIMITE.....	30
2.4.3	MÉTODOS DE ESTABILIDADE – TALUDE INFINITO.....	31
2.5	Histórico de desastres oriundos de instabilidades em encostas no Brasil no período de 1997 à 2016.....	33
2.6	Técnicas para monitoramento e/ou previsão de estabilidade de encostas ..	35
2.7	Pluviômetro	36
2.8	Sistema <i>reed switch</i>	37
2.9	Linguagem <i>c#</i> e o <i>Sharpdevelop</i>	38
2.10	Módulo ESP 8266	38
2.11	Wi-Fi	39
2.12	Sistema fotovoltaico.....	39
3	METODOLOGIA	40
3.1	Captação do volume de chuva.....	40
3.2	Envio de dados do pluviômetro.....	41
3.3	Cálculo do fator de segurança no software e monitoramento	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	Montagem da infraestrutura para captação da precipitação e transmissão de dados.....	46
4.2	Desenvolvimento do software para monitoramento	47
4.3	Simulação de um talude hipotético	51

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Os taludes infinitos são estruturas em rocha e/ou solo que possuem grande extensão e espessura, estando comumente presente em encostas naturais e retaludadas em rodovias. Um dos grandes desafios da geotecnia está justamente relacionado aos problemas de estabilidade de taludes. Isso ocorre, principalmente, devido aos impactos com caráter potencialmente catastróficos gerados por movimentação de massa. Os danos relacionados a deslizamentos são de natureza direta e indireta, com destaque para impactos estruturais, econômicos e sociais. Dentro dos danos diretos é possível citar a perda de vidas humanas, bloqueio de vias de acesso e pessoas desabrigadas. Já para os danos indiretos têm-se a falta de energia elétrica e falta de água.

As causas envolvendo rupturas de taludes podem estar associadas a diversos aspectos como geográficos, geológicos, geomorfológicos e climáticos (CASTRO, 2012). Entre os fatores climáticos destaca-se a pluviosidade que é um fator externo capaz de gerar a mobilização quase imediata dos materiais que formam o talude, tanto pelo aumento rápido dos esforços como pela redução da resistência ao cisalhamento (MUÑOZ-HOYOS, 2014). Em muitas regiões do Brasil é corriqueiro, principalmente nos períodos chuvosos, ocorrer deslizamentos de massas acarretando problemas em vários segmentos de cunho social, ambiental e econômico.

O monitoramento de taludes em tempo real é uma maneira de controlar e evitar possíveis desastres, possibilitando a criação de ações preventivas em curto espaço de tempo, como a retirada da população que vive na área de risco eminente de ruptura de talude. Essa inspeção pode ser realizada com base no fator de segurança, que é uma relação das forças atuantes e resistentes no maciço sendo um dos métodos utilizados o de taludes infinitos. Para esse caso, considera-se que o talude tem grandes extensões e uma espessura de solo capaz de se movimentar (GUERRA, 2015).

A presente pesquisa tem como objetivo principal a criação de um sistema de monitoramento para taludes infinitos, por meio de monitoramento da percolação de água no solo. Os objetivos específicos deste trabalho são: realizar uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de equilíbrio limite, levantar os impactos e acidentes em deslizamentos de terra em períodos chuvosos no Brasil, realizar uma revisão

bibliográfica acerca dos métodos de monitoramento em taludes de encosta e dos índices físicos, construir e adaptar um pluviômetro digital, medir o volume de chuva por meio de um pluviômetro digital, estudar a correlação entre a quantidade de precipitação de chuva e o volume água infiltrado no talude, estudar e analisar a relação entre as forças resistentes e forças atuantes em um talude infinito e desenvolver um software para a análise da influência do volume de água percolado no talude sobre as condições de estabilidade do mesmo.

A metodologia está baseada no monitoramento do fator de segurança da encosta em resposta ao volume de chuva infiltrado no solo. Para isso, foi desenvolvido um sistema para receber os dados de pluviosidade de um pluviômetro e calcular o fator de segurança que foi determinado com base nas análises determinísticas para estabilidade de taludes. Neste contexto as variáveis relacionadas são o ângulo de atrito, inclinação do talude, coesão do solo, altura do talude, porosidade, peso específico seco, peso específico da água, peso específico das partículas sólidas. Por fim, um gráfico correlacionando o fator de segurança e tempo é plotado para que o monitoramento aconteça em tempo real.

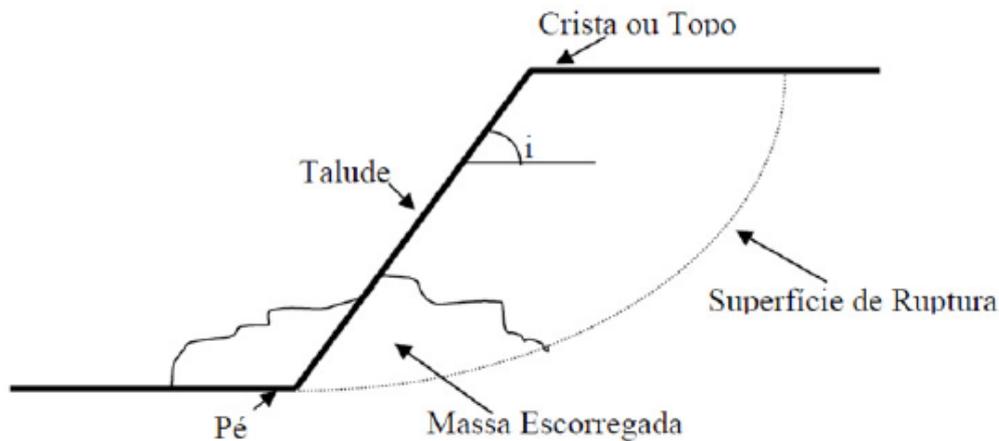
A presente pesquisa contribui com a proposta de mais uma ferramenta de monitoramento de taludes de encostas. Acredita-se que a proposta aqui apresentada possa ser utilizada por órgãos públicos na gestão de riscos geológicos nos vários municípios que enfrentam os problemas de deslizamentos nos períodos chuvosos do Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Taludes

Talude é o termo utilizado para descrever qualquer superfície inclinada podendo ser um maciço rochoso e/ou solo. A Figura 1 a seguir apresenta um perfil esquemático da composição de um talude com uma superfície de ruptura definida.

Figura 1: Composição de um talude.



Fonte: Londe e Bitar (2011).

Na Figura 1 alguns elementos são destacados tais como a crista e o pé do talude, a superfície de ruptura, a massa escorregada e o ângulo de inclinação do talude (i). A superfície de ruptura em destaque se trata de uma ruptura circular.

Os taludes podem ser estruturas naturais, chamadas de encostas, ou construídas pelo homem, como é o caso de cortes e aterros.

No primeiro caso, taludes naturais, há uma maior evidencia de problemas com movimentação já que a ação da gravidade é favorável a movimentação de massa. Nesses casos, o talude pode ser construído por solo residual, coluvionar ou ainda por rochas. Os solos residuais são derivados dos processos de alteração e decomposição in situ, ou seja, são aqueles que permanecem no mesmo local (SOARES, 2015). Esses solos são compostos por grãos, agregados e cristais de minerais alterados, pontes de cimentos depositadas entre outros. Já os coluvionares, de acordo com

Lacerda e Sandroni (1985), são blocos e/ou grãos de qualquer dimensão e são transportados de um local a outro pela gravidade. Esses são acumulados no sopé ou próximos de taludes mais íngremes, além disso, apresentam variabilidade de textura, comportamento mecânico dúctil-plástico com rede de fluxo definida em períodos chuvosos (SILVEIRA, 2003).

No segundo caso, taludes construídos, são aqueles construídos pelo o homem e são resultantes de cortes, escavações ou aterros. Para os gerados a partir de cortes existe uma maior preocupação com a altura e a inclinação do talude afim de se manter a estabilidade do talude. Já os construídos em aterros são conhecidas as características do solo o que o torna mais estável (GERSCOVICH, 2012).

2.2 Tipos de movimentos de massa

Os movimentos de massas configuram-se como eventos catastróficos e acontecem frequentemente em diversas localidades e com intensidades diferentes. Os mesmos apresentam um maior potencial em zonas tropicais e montanhosas visto que as características fisiológicas do relevo e das atividades antrópicas intensificam esses fenômenos (SCHUSTER, 1996). Para Oliveira (2012), esses acontecimentos são de suma importância tanto em questão da evolução das encostas como em relação as consequências econômico-sociais resultantes dos processos de risco.

As classificações dos movimentos de massas variam muito na bibliografia visto que cada autor se baseia em estudos que nortearam sua pesquisa. Abaixo são mostradas algumas classificações possíveis:

- Classificação por grupos:

Nesse tipo de classificação a mais usada internacionalmente é dada por Varnes (1978) e está descrita no quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos movimentos de massa por grupo.

Tipo de movimento	Tipo de material		
	Rocha	Solo (engenharia)	
		Grosseiro	Fino
Quedas	De rocha	De detritos	De terra
Tombamentos	De rocha	De detritos	De terra

Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
	Translacional	Muitas unidades	De blocos rochosos De rocha	De blocos de detritos De detritos	De blocos de terra De terra
Expansões laterais			De rochas	De detritos	De terra
Corridas/escorregamentos			De rocha (rastejo profundo)	De detritos	De terra
				(Rastejo de solo)	
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

Fonte: Varnes (1978).

Uma outra classificação que representa bem os movimentos de massa que ocorrem no Brasil é dada por Augusto-Filho (1992) conforme o quadro 2.

Quadro 2: Classificação dos movimentos de massa por grupo.

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidade de muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alternada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamento (Externos) Velocidade média (km/h) e altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. Rolamento de matacão Tombamento

Corridas	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades de médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas
----------	--

Fonte: Augusto-Filho (1992).

- Classificação por velocidade:

A classificação por velocidade de movimentação de massa também pode ocorrer variando em sete possíveis formas, a tabela 1 mostra como ocorre.

Tabela 1: Classificação por velocidade.

Nomeclatura	Velocidade
Extremamente rápido	> 3 m/s
Muito rápido	0,3 m/s a 3 m/s
Rápido	1,6 m/dia a 0,3 m/s
Moderado	1,6 m/mês a 1,6 m/dia
Lento	1,6 m/ano a 1,6 m/mês
Muito lento	0,06 m/ano a 1,6 m/ano
Extremamente lento	< 0,06 m/ano

Fonte: Gerscovich (2009).

- Classificação por profundidade:

Segundo Gerscovich (2009), a movimentação de massa também pode ser classificada por meio da profundidade em que ocorre, a tabela 2 descreve essa classificação.

Tabela 2: Classificação por profundidade.

Nomenclatura	Profundidade
Superficial	< 1,5m
Raso	1,5m a 5 m
Profundo	5m a 20m
Mais profundo	> 20m

Fonte: Gerscovich (2009).

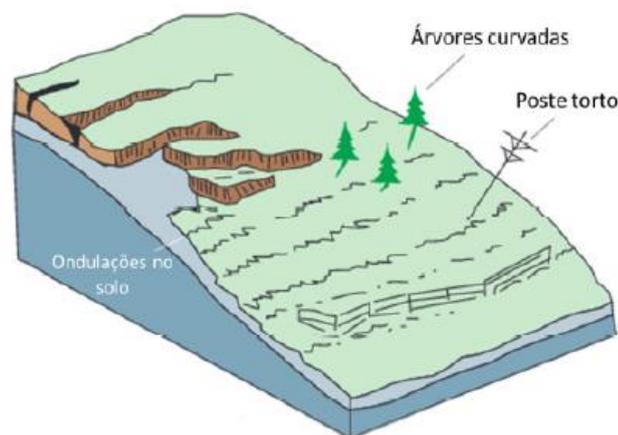
Uma diferenciação é feita por meio de dois fatores, a velocidade de movimentação e a forma de ruptura. A partir disso, é possível agrupar em quatro grupos os movimentos de massas: escoamentos, subsidências, escorregamentos e queda de blocos. O trabalho em questão se enquadra nos movimentos de massas do tipo escorregamento.

2.2.1 ESCOAMENTOS

Os escoamentos têm como característica a continuidade e não apresentam, necessariamente, uma superfície de deslocamento definida. Dentro desse grupo têm-se os rastejos, movimentos lentos, e as corridas, movimentos rápidos (GERSCOVICH, 2009).

O rastejo, são movimentos lentos, contínuos e não apresentam uma superfície de ruptura definida. Esses são identificados pela presença de estradas e postes tortos, árvores retorcidas, trincas no terreno entre outros. Na Figura 2 está esquematizado um bloco diagrama para o rastejo (FRITSCHER, 2016).

Figura 2: Ruptura por rastejo

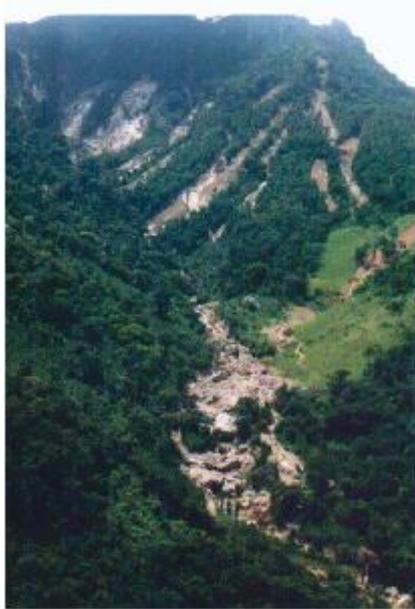


Fonte: adaptado de Highland e Bobrowsky (2008) apud Fritscher (2016).

Já as corridas, tem como característica os movimentos rápidos em decorrência da perda das características do solo como a perda de atrito interno. A adição de água (em solos arenosos), o efeito de vibrações (em solos tixotrópicos) e o amolgamento (em argilas sensíveis) fazem com que o solo se comporte como um fluido provocando um deslocamento de massa com grande extensão (GERSCOVICH,

2012; GUIDICINI E NIEBLE, 2013). A Figura 3 mostra uma representação desse tipo de movimento.

Figura 3: Ruptura por corridas



Fonte: Gerscovich (2009).

2.2.2 SUBSIDÊNCIAS

De acordo com Gerscovich (2012), Guidicini e Nieble (2013) as subsidências são movimentos gerados a partir do deslocamento vertical da superfície seja por afundamento ou adensamento de camadas. Tal fato pode ocorrer pela retirada de uma fase sólida, líquida ou gasosa e ocorre em grande extensão. São agrupados em: recalque e desabamento ou queda.

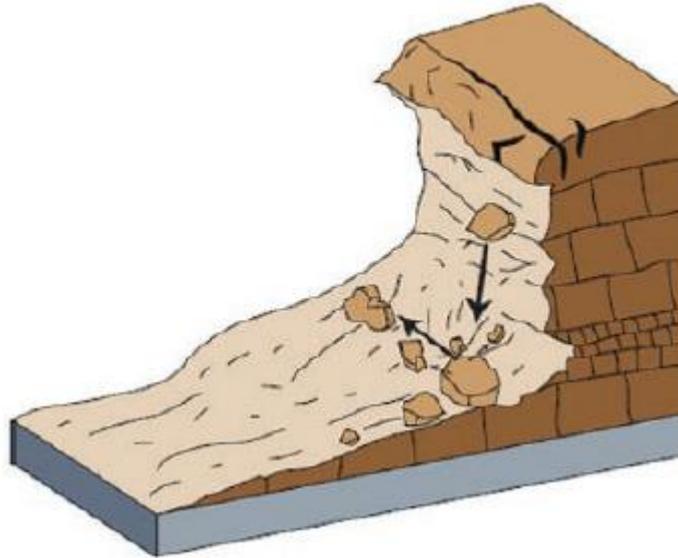
Os recalques, segundo os autores acima, são movimentos verticais de uma estrutura, causados pelo peso próprio, pela deformação do solo gerada pela variação no estado de tensão ou ainda pelo processo de compressão secundária.

2.2.3 RUPTURA POR QUEDA

Os desabamentos ou quedas acontecem de formas bruscas, em alta velocidade e estão relacionados ao colapso da superfície. Esses movimentos são do

tipo queda livre ou ao longo de um plano inclinado. A Figura 4 mostra um exemplo desse tipo de ruptura (GERSCOVICH, 2012; GUIDICINI E NIEBLE, 2013).

Figura 4: Ruptura por queda



Fonte: adaptado de Highland e Bobrowsky (2008) apud Fritscher (2016).

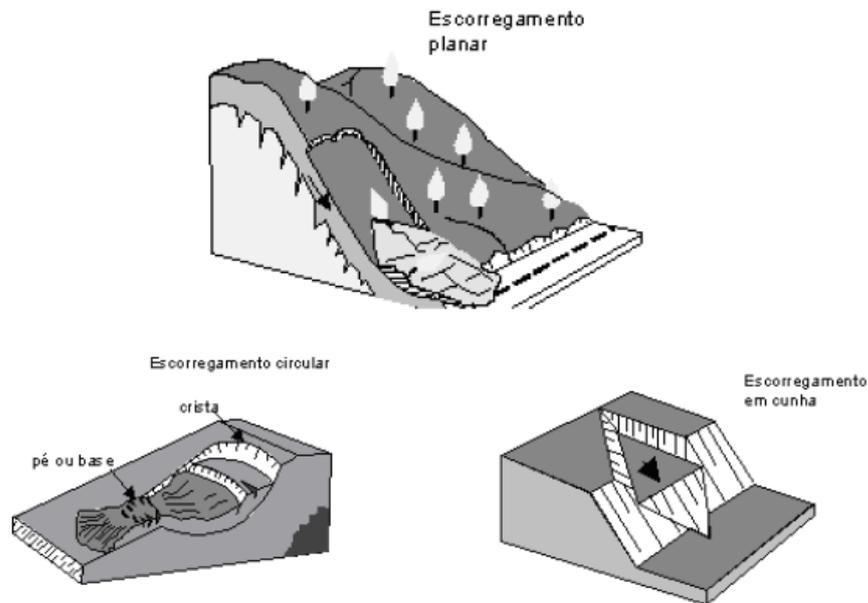
2.2.4 ESCORREGAMENTOS

Os escorregamentos são movimentos rápidos que rompem o maciço gerando um deslizamento de massas ao longo de uma superfície bem definida. Segundo Gerscovich (2012), esse tipo de fenômeno ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo atingem a resistência ao cisalhamento do material.

A forma da superfície de ruptura depende da resistência e tipo dos materiais presentes no talude. Podem ocorrer em geometria planar, circular ou em cunha e são classificados em dois tipos rotacional e translacional. O rotacional ocorre em solos homogêneos e podem ser múltiplos. Já os escorregamentos translacionais são identificados pela presença de discontinuidades ou planos de fraqueza. Eles podem ocorrer no contato entre colúvio e solo residual ou no manto de alteração do

solo residual. Na Figura 5 é possível observar as três geometrias em que ocorre a ruptura (GERSCOVICH, 2012).

Figura 5: Ruptura por Escorregamento (planar, circular e cunha)



Fonte: Gerscovich (2009).

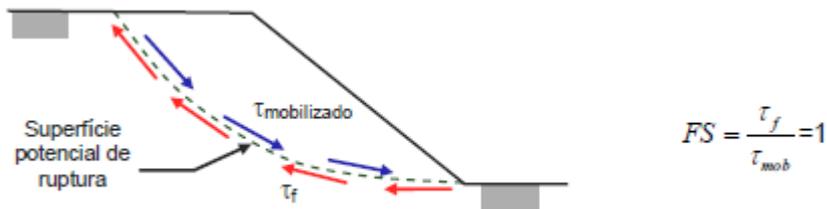
2.3 Causas gerais de escorregamentos

As principais causas de movimentos de massa em encostas naturais para Massad (2010) e Caputo (2003) estão relacionadas com o aumento de peso do talude e com as alterações de geometria do mesmo. O primeiro caso ocorre devido a uma sobrecarga no topo das encostas enquanto o segundo é resultado do descalçamento do pé do talude por meio de cortes e escavações.

Segundo Oliveira (2012) e Massad (2010), a precipitação é uma condicionante importante em todos os tipos de movimentação de massas, principalmente, em escorregamentos e corridas. A infiltração de água eleva as pressões neutras reduzindo a resistência do solo que suscita na diminuição dos parâmetros de resistência, como exemplo a coesão aparente. Nesses casos, a umidade e/ou saturação do solo deflagram a desagregação e transporte do material.

No caso dos escorregamentos, a instabilidade do talude ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas são iguais à resistência ao cisalhamento, ou seja, o fator de segurança do talude se torna 1. A Figura 6 retrata um esquemático das forças de resistência e mobilização em um plano de ruptura.

Figura 6: Geometria do escorregamento



Fonte: Gerscovich (2009).

Varnes (1978), divide em dois grupos as ações que geram os movimentos de massas, como é mostrado no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3: Fatores deflagradores dos movimentos de massa

Ação	Fatores	Fenômenos geológicos / antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão, escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água de chuva, neve, granizo etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais	Água em trincas, congelamento, material, tensões
Redução da resistência	Características inerentes ao material (geometria, estrutura etc.)	Características geomecânicas do material, tensões
	Mudanças ou fatores variáveis	Intemperismo: redução na coesão, ângulo de atrito Elevação do N.A

Fonte: Varnes (1978) apud Georío (2000, p. 13).

2.4 Análise de estabilidade

2.4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Dyminski (2011), os principais objetivos da análise de estabilidade de taludes são:

- a) Verificar a estabilidade de taludes das obras geotécnicas com diversas solicitações e ainda elaborar projetos para estabilizar taludes já rompidos.
- b) Avaliar a influência de alguns parâmetros em relação ao risco de escorregamento em taludes naturais ou artificiais;
- c) Compreender os mecanismos de ruptura e a influência de fatores ambientais em taludes já rompidos por meio de retroanálise.

De forma geral, a análise do fator de segurança possibilita averiguar o quanto uma encosta é e/ou será estável além de verificar movimentos já ocorridos. Existem duas abordagens possíveis: a análise probabilística e análise determinística. A primeira é descrita como sendo o primeiro passo para a quantificação do risco geotécnico sendo necessário conhecer as distribuições ou funções de densidade de probabilidade e a estatística das variáveis inerentes ao problema (CASTRO, 2012). Já a segunda está associada a obtenção de um fator de segurança e para tal é necessário obter valores fixos das variáveis de resistência ao cisalhamento (SOUZA E VIEIRA, 2007).

Segundo Gerscovich (2009), “por definição, FS é o fator pelo qual os parâmetros de resistência podem ser reduzidos de tal forma a tornar o talude em estado de equilíbrio limite ao longo de uma superfície;”. Com o resultado obtido com o fator de segurança é possível verificar se há ou não instabilidade no talude em questão, têm-se:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mob}} \quad \text{Equação 1}$$

FS > 1:obra estável

FS = 1:ocorre a ruptura por escorregamento

FS < 1:não tem significado físico

Em relação ao fator de segurança admissível, o mesmo irá variar de acordo com o tipo e vida útil da obra. Esse parâmetro representa um valor mínimo aceitável que será definido de acordo com as consequências de um possível rompimento. Além disso, tais valores podem ser mais ou menos conservadores de acordo com cada projetista (DELL' AVANZI E SAYÃO, 1998). A norma NBR 11682 trata das condições exigidas no estudo e controle da estabilidade de taludes de solo, rocha ou mistos. A tabela 3 traz o primeiro passo nessa análise em relação aos valores aceitáveis de fator de segurança.

Tabela 3: Nível de segurança contra a perda de vidas humanas.

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residências ou indústrias, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

A segunda etapa é verificar o nível de segurança admissível com base nos danos materiais e ambientais como descrito na tabela 4.

Tabela 4: Nível de segurança contra os danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetam serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos

Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

Por fim, utilizando a tabela 5 é possível fazer correlações com as tabelas citadas acima e obter um valor admissível para o fator de segurança.

Tabela 5: Fator de segurança admissível

Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Nível de segurança contra danos materiais e ambientais		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009).

2.4.2 TEORIA DE EQUILÍBRIO LIMITE

No âmbito da análise determinística existem duas teorias possíveis a de equilíbrio limite e a de análise de tensões. A segunda, por fugir do escopo deste trabalho, não será apresentada aqui.

A análise por equilíbrio limite é baseada no equilíbrio de uma massa ativa ao longo de uma superfície com potencial de ruptura. Essa superfície pode apresentar diferentes geometrias, porém para as análises determina-se um mecanismo de ruptura para a superfície podendo ser circular, planar etc. Além disso, os cálculos são realizados por meio das equações da estática tendo se o equilíbrio de forças subdividindo a massa de solo em fatias para análise em cada uma.

$$\sum F_v = 0, \sum F_h = 0, \sum M_v = 0 \quad \text{Equação 2}$$

É importante destacar que nos métodos do equilíbrio limite nem sempre as três equações da estática são satisfeitas. Cada método faz suas considerações para que seja possível realizar as análises. A tabela 6 retrata essas premissas:

Tabela 6: Características de alguns métodos de equilíbrio limite

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS
Fellenius (1927)	Superfície de ruptura circular Satisfaz o equilíbrio de momentos
Bishop Simplificado (1955)	Superfície de ruptura circular Satisfaz o equilíbrio de momentos Satisfaz o equilíbrio de forças verticais
Janbu Simplificado (1968)	Superfície de ruptura qualquer Satisfaz o equilíbrio de forças verticais e horizontais
Morgenstern e Price (1965)	Superfície de ruptura qualquer Satisfaz o equilíbrio de momentos Satisfaz o equilíbrio de forças verticais e horizontais
Spencer (1967)	Superfície de ruptura qualquer Satisfaz o equilíbrio de momentos Satisfaz o equilíbrio de forças verticais e horizontais

Fonte: Tonus (2009).

Para Massad (2010), os métodos de equilíbrio limite seguem as seguintes hipóteses:

- O material tem comportamento rígido-plástico, portanto não apresenta deformação e se rompe bruscamente;
- As equações estáticas são válidas até a iminência da ruptura visto que, depois o comportamento é dinâmico;
- Fator de segurança constante ao longo da superfície de ruptura.

2.4.3 MÉTODOS DE ESTABILIDADE – TALUDE INFINITO

Segundo Guerra (2015), na teoria do equilíbrio limite existem diversos métodos possíveis de serem usados para as análises de estabilidade. Cada um deles se propõe a verificar problemas diferentes sendo necessário assim seguir as premissas de cada método.

Um deles é o método de talude infinito que tem como premissa uma encosta natural com grandes extensões e uma espessura de solo fina capaz de se movimentar. A ruptura geralmente ocorre em contato com materiais de diferentes resistências com escorregamento translacional e paralelo a superfície (GUERRA, 2015).

Para o cálculo da estabilidade de talude infinito a equação 3 pode ser utilizada (GUERRA, 2015):

$$FS = \frac{c + (\gamma * H * (\cos\alpha)^2 - u) * \tan\varphi}{\gamma * H * \sin\alpha * \cos\alpha} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

FS - fator de segurança do talude para as condições dos parâmetros adotados;

c' - coesão efetiva do material superficial;

γ - peso específico do material superficial;

H - altura da camada de solo superficial passível de movimentação;

α - inclinação do terreno do talude;

φ' - ângulo de atrito interno efetivo do material superficial.

Para a poro-pressão (u) tem-se a equação 4:

$$u = \gamma_w * H * (\cos\alpha)^2 \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

γ_w - peso específico da água;

H - altura da coluna d'água, usualmente adotada igual à altura da camada de solo superficial passível de movimentação;

α - inclinação do terreno do talude analisado.

2.5 Histórico de desastres oriundos de instabilidades em encostas no Brasil no período de 1997 à 2016.

No Brasil, várias são as cidades e zonas metropolitanas que tem registro de ocorrência de movimentos de massa, com vítimas fatais e danos materiais decorrentes. Em São Paulo de 1997 a 2016, duzentas e duas pessoas morreram em virtude de deslizamentos de terra o que leva a uma média de dez casos por ano. Um levantamento feito pelo canal de notícias Uol com base nos dados compilados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), abrange o período de 1997 a 2016 e é mostrada na Figura 7.

Figura 7: Mortes em deslizamentos de terra na Grande SP ano a ano



Fonte: Azevedo e Ramaloso (2017) apud IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) (2017).

Um outro exemplo de desastre envolvendo deslizamentos de massas ocorreu no final 2008, sendo o período de chuvas mais intensas entre 20 e 24 de novembro, no estado de Santa Catarina. Esse acidente foi uma das maiores catástrofes naturais ocorridas no Brasil no que tange a escorregamentos de encostas. De acordo com o levantamento realizado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/SC), conforme citado por Silva (2019), a catástrofe afetou mais de 60 cidades e mais de 1,5 milhões de pessoas, com 133 mortes, 22 desaparecidos e mais de 78.000 habitantes que tiveram que abandonar suas casas. Estima-se que mais de 4000 escorregamentos de encosta ocorreram nesse período sendo escorregamentos translacionais, circulares, corridas de lama e de detritos. A Figura 8 mostra esse desastre.

Figura 8: Maior desastre em SC.



Fonte: Eldorado (2008).

Em 2011 uma tragédia também atingiu o Rio de Janeiro nos dias 11 e 12 de janeiro, quando fortes chuvas provocaram enchentes e deslizamentos em sete

municípios: Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto, Sumidouro e Areal. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), foi registrado uma chuva de 130 mm por dia, quando o normal no período é 60 mm, em 24 horas choveu metade do que se esperava para o mês. Segundo Bruschi e Amorim (2011), o número registrado foi de 905 mortos, 345 desaparecidos, 34.600 pessoas desabrigadas ou desalojadas na região. Só em Nova Friburgo houve cerca de 3.000 deslizamentos. A Figura 9 retrata o desastre que ocorreu em Nova Friburgo.

Figura 9: Tragédia em Nova Friburgo.



Fonte: Bonin (2011).

2.6 Técnicas para monitoramento e/ou previsão de estabilidade de encostas

Existem uma tendência crescente do uso de sensoriamento em diversas áreas inclusive para monitoramento ambiental. Um exemplo desse uso é citado por Baleiro (2008), que mostra um sistema desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Loughborough e do Serviço Britânico que utilizam da análise dos ruídos no solo para detectar a eminência do deslizamento. Com isso, eles conseguem constatar movimentos de solo sob a superfície que aumenta de forma gradativa à medida que a inclinação se torna instável.

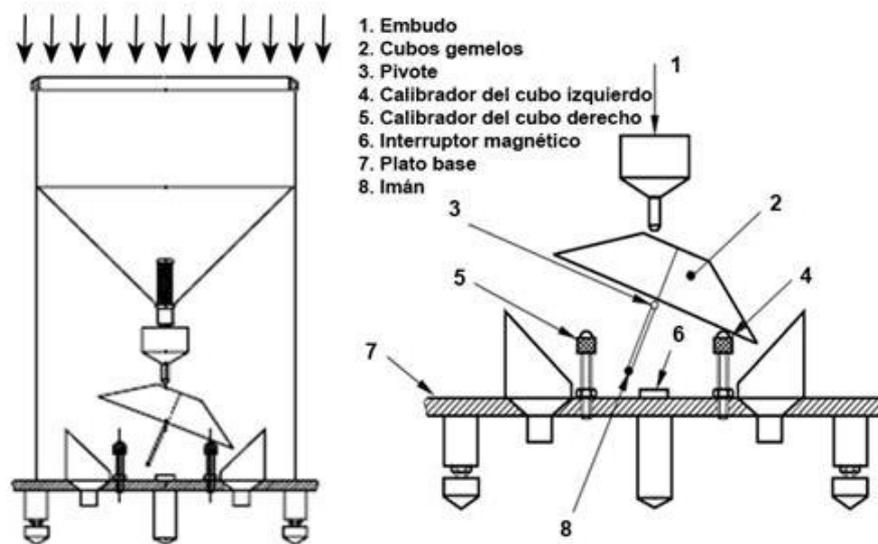
Uma outra forma de prever possíveis áreas com instabilidade de taludes é por meio da utilização dos modelos matemáticos que trazem informações detalhadas das encostas e são baseados nos princípios da mecânica dos solos. O seu objetivo consiste em diminuir a subjetividade na análise de rupturas, quantificando os graus de suscetibilidade em valores absolutos com base no cálculo do Fator de Segurança (TERLIEN et al., 1995). O primeiro deles é SHALSTAB que já foi aplicado em diversas regiões apresentando bons resultados, um exemplo disso é o uso na costa oeste dos Estados Unidos por Montgomery e Dietrich (1994) e no Brasil por Ramos et al. (2002). Nesse caso, o modelo utiliza-se da equação do talude infinito, um modelo hidrológico com fluxos superficiais constantes, parâmetros topográficos da região e as propriedades físicas do solo para compilar e gerar os resultados. O segundo é o modelo TRIGRS, que consiste em calcular a estabilidade a escorregamentos translacionais rasos com solos de diferentes espessuras e levando em consideração a infiltração de água ao longo do tempo com base na sua intensidade e duração. (INVERSON, 2000; BAUM et al., 2002). O mesmo já foi utilizado por Godt et al. (2006) na região de Seattle (EUA).

2.7 Pluviômetro

O pluviômetro é um instrumento meteorológico utilizado para recolher e medir a quantidade de líquidos ou sólidos como chuva ou granizo. O mesmo tem como principal funcionalidade a captação de precipitação de água com a área de coleta conhecida. Porém, existe um outro equipamento conhecido como pluviógrafo ou pluviômetro automático que apresenta a mesma função, mas se diferencia por ser capaz de registrar o tempo de ocorrência do evento.

Em relação ao pluviômetro automático seu funcionamento se dar por meio de um sensor de precipitação tipo balança, que se move e aciona um componente magnético que gera pulsos transmitidos ao registrado. Neste caso, é necessário um software de coleta e tratamento de dados para se ter as melhores análises. A Figura 10 mostra um modelo esquemático desse tipo de equipamento.

Figura 10: Pluviômetro digital e suas partes



Fonte: Méndez et al. (2013).

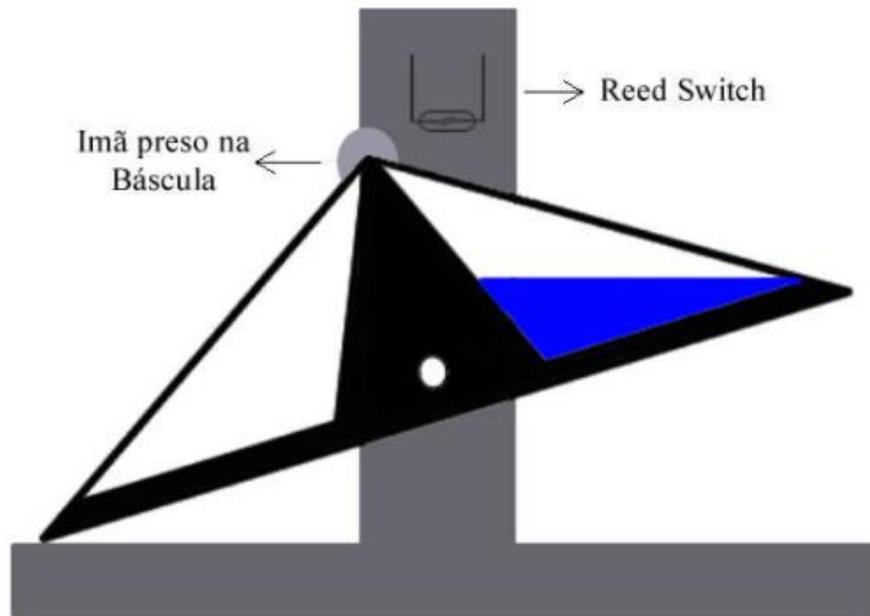
O pluviômetro é um equipamento e que pode ser utilizado junto com outros sensores a fim de realizar um monitoramento mais assertivo, sensores de umidade, temperatura, movimentação de solo e piezômetros são algumas das opções disponíveis. Além disso, também são importantes para a confecção de climatograma.

2.8 Sistema *reed switch*

O *reed switch* também conhecido como interruptor de lâminas, é um componente com vasta utilidade podendo ser usado como interruptor e sensor magnético em aplicações, como mecatrônicas, robóticas e automação (BRAGA, 2011).

De acordo com Straub (2018), o *reed switch* é composto por duas lâminas flexíveis separadas hermeticamente seladas dentro de um tubo de vidro com atmosfera interna inerte. Quando um campo magnético provoca alguma influência no mesmo ele faz com que suas lâminas se magnetizem fechando um contato elétrico possibilitando a passagem de corrente elétrica. É essa corrente elétrica que é capaz de enviar os dados para o programa em forma de pulsos. A Figura 11 mostra os componentes desse sistema.

Figura 11: Sistema de funcionamento do reed switch em básculas



Fonte: Straub (2018).

2.9 Linguagem c# e o Sharpdevelop

Segundo Althmann (2011), o C# é uma linguagem de programação moderna criada pela Microsoft orientada a objeto e de tipo seguro. Com ele é possível desenvolver muitos tipos de aplicativos que são executados no framework do .NET e com maior facilidade. Isso é possível devido a sua criação que é basicamente a junção de outras linguagens com a C melhorando as implementações e adicionando novos recursos.

Ainda de acordo com o autor, o sharpdevelop é uma IDE de desenvolvimento gratuita disponível para a criação de diversos software. Ele é usado para o desenvolvimento no .NET e suporta as linguagens C#, C++, Boo, VB.NET, Python e F#.

2.10 Módulo ESP 8266

O ESP8266 pela fabricante chinesa Espressif Systems com sede em Xangai e é um microchip Wi-Fi com comunicação TCP / IP completa e capacidade de microcontrolador (ALOI, 2013).

De acordo com Campos (2015), o chip feito por Ai-Thinker, fabricante terceirizado, chamou a atenção dos fabricantes ocidentais em agosto de 2014 com o módulo ESP-01. O mesmo permite que microcontroladores se conectem a uma rede Wi-Fi e façam conexões TCP / IP com comandos simples.

Além disso, é uma placa desenvolvimento que combina três fatores: um chip, uma interface usb-serial e um regulador de tensão 3.3V. O mesmo impressiona pelo preço, tamanho e, principalmente, pelo amplo uso devido a possibilidade de conectar diversos aparelhos a internet (CURVELLO, 2015).

2.11 Wi-Fi

De acordo com Silva (2014), o Wi-Fi Alliance é o responsável pela padronização do wi-fi seguindo a normativa IEEE 802.11. É responsabilidade da norma determinar as camadas física e de enlace para a implementação de uma rede local sem fio (WLAN) nas frequências de banda 2.4GHz, 5GHz e 60GHz.

Devido a facilidade de inserção de outros dispositivos e a comunicação sem fio muitos usuários optam por utilizarem esse tipo de padrão.

2.12 Sistema fotovoltaico

Segundo Imhoff (2007), a energia solar fotovoltaica é basicamente a geração de energia por meio de uma conversão direta da radiação solar em eletricidade e para que isso seja possível é utilizado o efeito fotoelétrico. Atualmente, o material com maior utilização para a confecção de células fotovoltaicas é o silício (Si) podendo ser explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

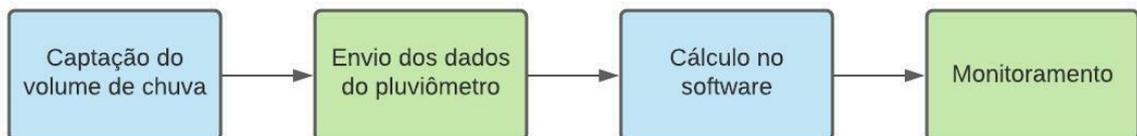
O efeito fotovoltaico é descrito segundo Severino e Oliveira (2010) como sendo a diferença de potencial na estrutura do material semicondutor produzida pela absorção da luz solar. Nascimento (2004, p.14) ressalta algo importante sobre esse efeito: “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela”.

3 METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa foi feito inicialmente levantamentos bibliográficos de trabalhos publicados acerca das técnicas de monitoramento de taludes, a estabilidade de taludes infinitos e os sistemas de monitoramento existentes. A partir dos estudos realizados optou-se por utilizar a análise determinística com a teoria do equilíbrio limite sendo escolhido o método de talude infinito.

A pesquisa bibliográfica, segundo Marconi e Lakatos (2003), é um resumo geral sobre os principais trabalhos já realizados que são capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema proposto. Neste sentido, para se obter um embasamento teórico foram utilizados artigos científicos, dissertações de mestrados, teses de doutorado entre outros meios que sejam de fontes confiáveis. A Figura 12 mostra a metodologia geral que consistiu na coleta de dados de chuva com a utilização de um pluviômetro e recebimento dos mesmo por um software capaz de realizar o monitoramento.

Figura 12: Metodologia geral



3.1 Captação do volume de chuva

O primeiro passo consistiu na captação da pluviosidade por um pluviômetro digital que emite pulsos a cada 0,25 mm de chuva. O pluviômetro contém um sensor reed switch de alta qualidade, sensor de auto esvaziamento, diâmetro do coletor de 147mm e uma bolha de nível para regulagem durante a fixação. A Figura 13, mostra o pluviômetro utilizado no projeto sendo possível verificar a presença do nível de bolha para auxílio durante a fixação, o cabo para conectar ao captador/transmissor de dados e seu interior.

Figura 13: Pluviômetro utilizado



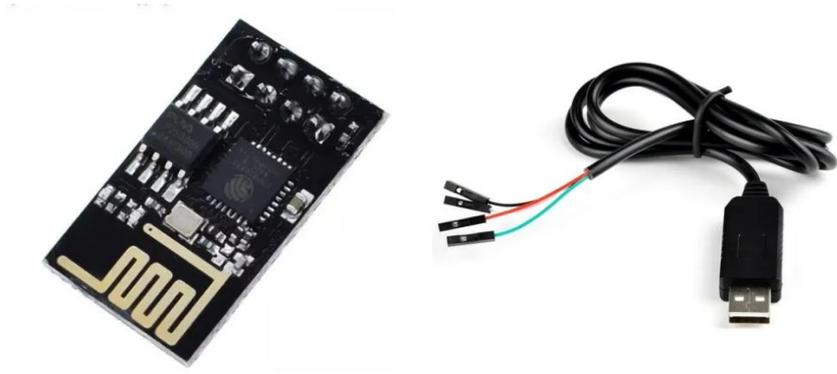
Na parte interior do equipamento, têm-se uma caçamba dividida em duas partes realizando um movimento de gangorra. A medida que a chuva atinge o nível de 0,25 mm o sistema de *reed switch* é acionado gerando um pulso e quando é atingido o volume máximo de 0,50 mm, a caçamba báscula, descarrega a água e aciona novamente o sistema de *reed switch* que registra no programa 2 pulsos, ou seja, 0,50 mm de precipitação de chuva. O volume em mm de chuva representa um litro em uma área de 1m², ou seja, têm-se uma lâmina de água de altura de 0,50 mm, para esse caso, em uma área de 1 m².

3.2 Envio de dados do pluviômetro

A transmissão desses dados de campo foi feita utilizando um módulo ESP 8266, plugado ao pluviômetro, que é um microcontrolador capaz de ler os pulsos e enviar via wireless os dados de chuva. A conversão dos pulsos em milímetros de chuva foi feita usando um firmware que acompanha o pluviômetro. Como receptor, também foi usado um módulo ESP8266 conectado a um cabo serial-usb que por sua vez se conecta na entrada USB do computador. Dessa forma, os dados obtidos são convertidos em serial antes de chegar ao computador permitindo que o programa criado faça a leitura a partir de uma porta serial. A Figura 14 abaixo mostra o módulo

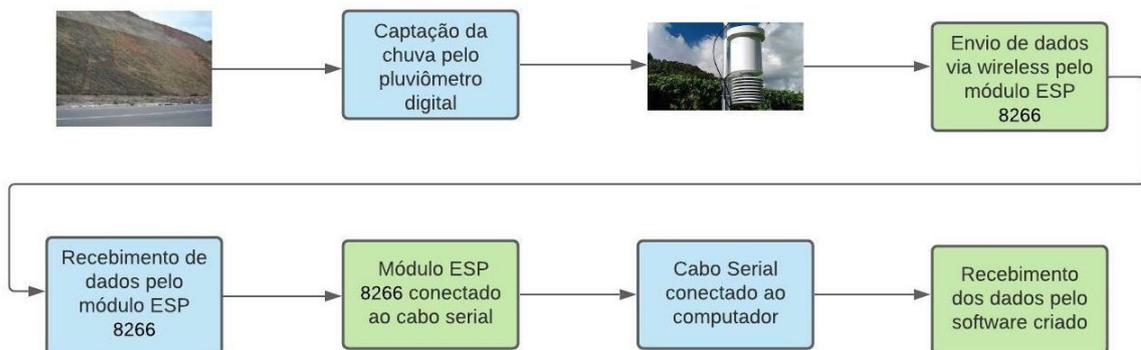
ESP 8266 e o cabo serial-usb utilizado. Também foi usado um sistema fotovoltaico, já existe no CEFET-MG Campus IV, para a alimentação do circuito do transmissor.

Figura 14: Módulo ESP 8266 e cabo serial usb



A Figura 15 mostra o esquema de captação da pluviosidade e a transmissão de dados até o software.

Figura 15: Fluxograma da captação de pluviosidade e transmissão de dados.



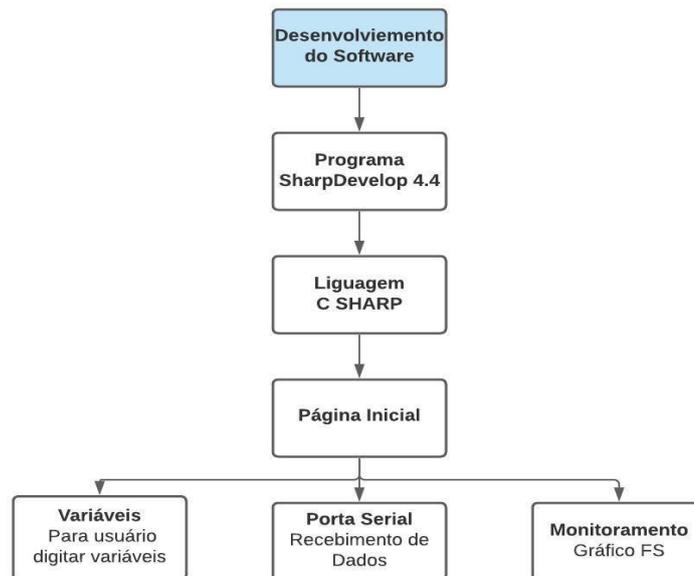
3.3 Cálculo do fator de segurança no software e monitoramento

O software para recebimento dos dados, cálculo do fator de segurança e monitoramento foi desenvolvido em uma plataforma livre, SharpDevelop 4.4, tendo como linguagem escolhida a “C SHARP”. O programa é capaz de receber os dados de campo e realizar os cálculos necessários.

As variáveis de entrada são intrínsecas ao material, especificamente os índices físicos, sendo elas a coesão, ângulo de atrito, porosidade, peso da amostra seca, peso específico das partículas sólidas. A geometria da encosta também deve

ser fornecida ao software, sendo elas a altura e inclinação. A partir dessas variáveis, o software calcula o fator de segurança baseado nas alterações que a percolação de água causa nos índices físicos do maciço. A Figura 16 mostra o esquema simplificado para criação do software.

Figura 16: Esquemático do programa



O fator de segurança foi baseado em análises determinísticas para estabilidade de taludes e, para tanto, estudos acerca dos índices físicos foram realizados. As equações 5, 6, 7, 8 e 9 são descritas por Noqueira (1976), apenas a equação 5 foi adaptada para o trabalho. A primeira equação utilizada é a do peso da água dado por:

$$P_w = 9,81 \times V_c \times C \text{ KN/m}^3 \quad \text{Equação 5}$$

P_a = Peso da água (KN/m³);

V_c : volume de chuva, valor de precipitação captado pelo pluviômetro (m³);

C : variável calibrar que permite o usuário definir a quantidade de chuva infiltrada no talude, varia de 0 a 1.

Com o peso dos sólidos fornecidos pelo usuário foi possível calcular a umidade pela equação 6.

$$w = \frac{P_w}{P_s} \quad \text{Equação 6}$$

Ps: peso da amostra seca.

A terceira equação consistiu no cálculo do peso específico do solo seco conforme a equação 7.

$$\gamma_d = (1 - n) \times \gamma_s \quad \text{KN/m}^3 \quad \text{Equação 7}$$

Para esse cálculo é necessário a porosidade que inserida pelo usuário e também pode ser obtida pela fórmula de índices vazios. A equação 8 mostra a relação entre a porosidade e os índices de vazios.

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad \text{Equação 8}$$

e: índice de vazios;

n: porosidade.

O próximo passo foi o cálculo do peso específico do solo saturado utilizando a umidade e peso específico do solo seco obtidos anteriormente. A equação 9 traz esse cálculo.

$$\gamma_{sat} = \gamma_d \times (1 + w) \quad \text{KN/m}^3 \quad \text{Equação 9}$$

Por fim, usando os valores obtidos e aqueles digitados pelo o usuário, ângulo de atrito, ângulo de ruptura, altura e coesão foi possível realizar o cálculo do fator de segurança. A equação utilizada é descrita por Gerscovich (2009):

$$FS = \frac{c' + (\gamma \cdot h \cdot \cos^2 \beta - u) \cdot \tan \phi}{\gamma \cdot h \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad \text{Equação 10}$$

A equação acima pode ser modificada pelas variáveis disponíveis tornando-se conforme a equação 11:

$$FS = \frac{c' + (\gamma_{sat} - \gamma_w) x h x \cos^2 i x \tan \phi}{\gamma_{sat} x h x \sin i x \cos i}$$

Equação 11

c' : coesão efetiva do material superficial;

ϕ : ângulo de atrito;

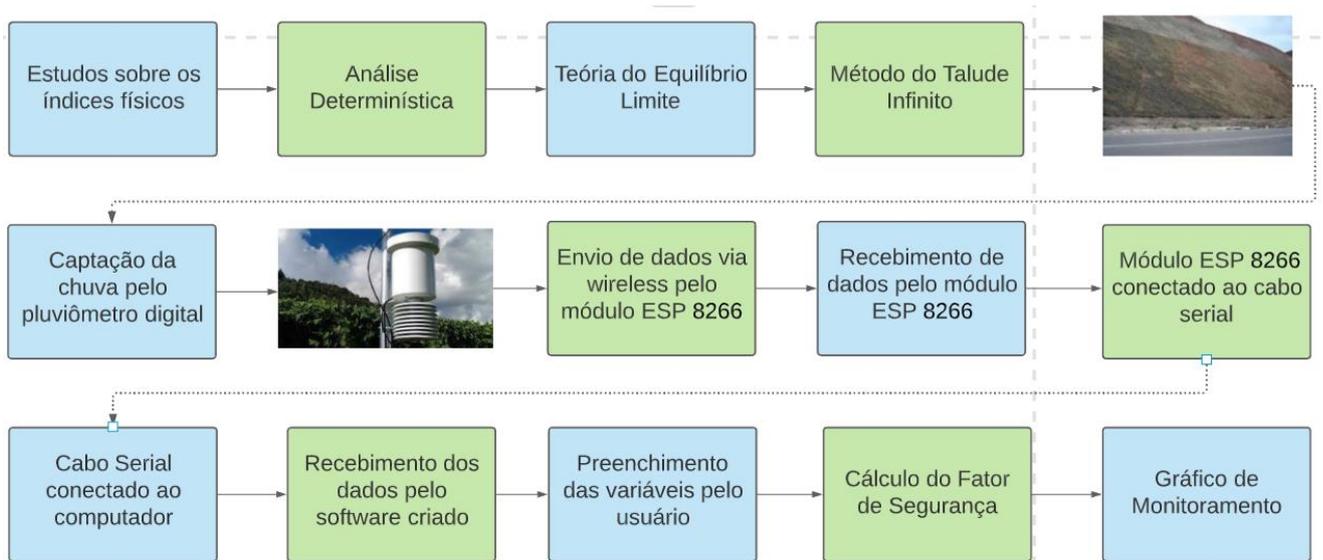
h : altura da camada de solo superficial passível de movimentação;

α : inclinação do terreno do talude.

Para o monitoramento do talude é plotado um gráfico dentro do software com o valor do fator de segurança em relação ao volume de chuva infiltrado. O código de programação usado para criação do software é apresentado no apêndice A.

Na Figura 17, é mostrado um esquemático de todo o projeto, iniciando nos estudos realizados até o monitoramento do talude.

Figura 17: Esquemático simplificado do projeto



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Montagem da infraestrutura para captação da precipitação e transmissão de dados

Os dados obtidos na primeira etapa da pesquisa que consiste na captação da precipitação de chuva pelo pluviômetro foram condizentes com a realidade o que permitiu pontuar que o pluviômetro estava funcionando de maneira correta.

Em relação a incertezas na tomada de dados o pluviômetro apresenta uma faixa de erro entre 3 a 7%. Além disso, o sistema fotovoltaico utilizado para carregar duas baterias de lítio-ion que alimentam o circuito de transmissão funcionou perfeitamente sendo uma alternativa limpa e econômica para o sistema. A Figura 18 mostra o pluviômetro conectado ao módulo ESP que por sua vez é alimentado pelo painel fotovoltaico.

Figura 18: Circuito pluviômetro, módulo ESP e painel fotovoltaico



A transmissão dos dados coletados na etapa anterior foi condizente com o esperado sendo possível o envio via wireless por meio do módulo ESP 8266 que

reconhece os pulsos gerados pelo pluviômetro. Para o recebimento dos dados foi utilizado o mesmo módulo de transmissão. Com um cabo específico foi feita a conversão dos dados recebidos pelo microcontrolador em serial possibilitando a leitura dos mesmos pelo computador e, conseqüentemente, pelo software. A Figura 19 mostra a conexão do módulo com o computador.

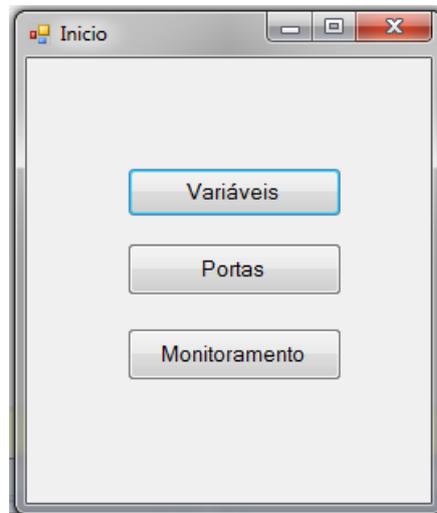
Figura 19: Conexão computador e módulo ESP



4.2 Desenvolvimento do software para monitoramento

Em relação ao software desenvolvido foi feita uma interface limpa e simplificada contendo três janelas importantes sendo a de entrada de variáveis, a porta serial e o gráfico de monitoramento. A janela de entrada de variáveis permite ao usuário a entrada das variáveis que são intrínsecas ao material e as relacionadas a geometria do talude como a coesão, ângulo de atrito, porosidade, peso da amostra seca, peso específico das partículas sólidas, altura e inclinação. A janela porta serial é necessária para receber o volume de chuva enviado pelo módulo ESP 8266. A janela do gráfico de monitoramento permite o controle do fator de segurança em tempo real. A Figura 20 mostra a página principal do software desenvolvido.

Figura 20: Interface Inicial



A janela denominada de variáveis foi destinada para que o usuário possa digitar todos os valores necessários para o cálculo do fator de segurança. A variável denominada “calibrar” representa a parcela de água infiltrada no maciço permitindo que o usuário possa escolher a porcentagem de infiltração a partir do total de volume precipitado. Caso escolha o valor 1, o mesmo está assumindo que todo o volume de chuva infiltrou no maciço. A Figura 21 apresenta a interface da janela variáveis.

Figura 21: Interface Variáveis

 A screenshot of a software window titled 'Variáveis'. The window contains a list of parameters, each with a text input field and a unit label to its right. At the bottom center, there is a 'Salvar' button.

Calibrar (0 - 1)	<input type="text" value="1"/>	
Altura do Talude	<input type="text" value="3"/>	m
Ângulo de Atrito	<input type="text" value="20"/>	°
Coesão	<input type="text" value="15"/>	kN/m ³
Inclinação Talude	<input type="text" value="60"/>	°
Porosidade	<input type="text" value="0,595"/>	
Peso dos Sólidos	<input type="text" value="0,49"/>	kN
Peso Part. Sólidas	<input type="text" value="20"/>	kN/m ³

A segunda janela do software é referente as portas seriais, nela é possível verificar as portas disponíveis nas quais o software pode se comunicar. Por meio

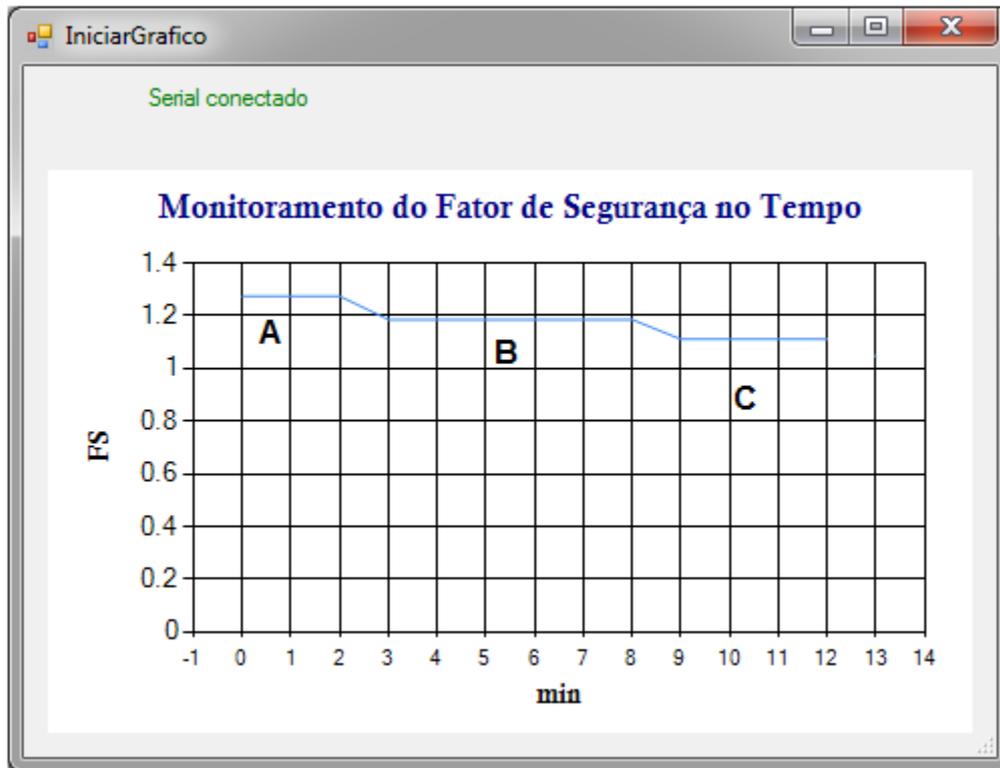
destas portas que o programa é capaz de receber os valores enviados pelo módulo ESP 8266 conectado ao computador. A Figura 22 mostra como ficou essa seção.

Figura 22: Janela Porta Serial



A última janela do programa é referente ao monitoramento, que é um gráfico que apresenta o fator de segurança em tempo real. No eixo x tem-se o tempo em minutos e no eixo y o valor do fator de segurança calculado. O gráfico permite que seja feito o monitoramento acompanhando as variações do FS em um determinado tempo que pode ser configurado de acordo com a necessidade do usuário. A Figura 23 mostra como ficou essa interface.

Figura 23: Interface Monitoramento

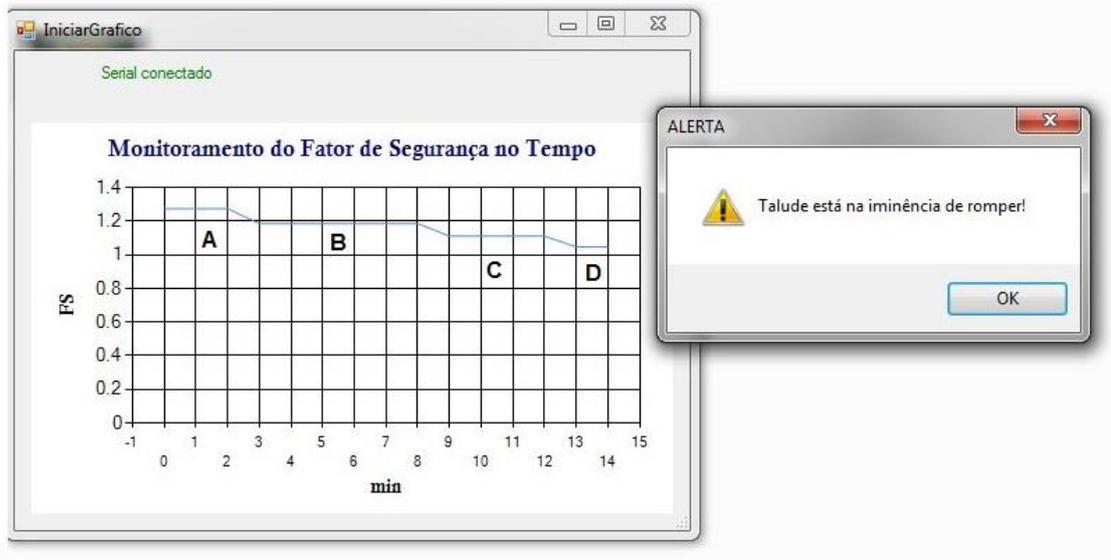


Na imagem acima, o gráfico mostra a variação do FS conforme o volume de chuva aumenta. No trecho A o volume de precipitação era de 5 mm, no ponto B de 10 mm e no ponto C de 15 mm. Para esse exemplo foi definido um monitoramento a cada minuto sendo observado a variação do FS com 2 e 8 minutos. A escrita “serial conectado” mostra para o usuário que a porta de recebimento de dados está conectada, e por tanto, está recebendo os dados de volume de chuva. Essa tela permite que o usuário fique monitorando em tempo real as variações de FS, principalmente, quando está chovendo e dessa forma é possível agir de forma rápida retirando populações do local e isolando a área antes que o mesmo atinja o valor de 1 e se rompa.

A Figura 24 apresenta o gráfico anterior, porém com o ponto D que representa 20 mm de chuva. Nesse caso simulado, o FS ficou em 1,047 e para tal foi configurado um alerta do software para valores abaixo de 1,05 por isso uma mensagem de alerta é exibida na tela informando que o talude está na eminência de

se romper, ou seja, fator de segurança chegando próximo de 1. Esse alerta pode ser configurado de acordo com o FS que o usuário deseja.

Figura 24: Interface Monitoramento



4.3 Simulação de um talude hipotético

Devido ao cenário excepcional vivido em decorrência da COVID 19 não foi possível realizar uma simulação em campo com dados coletados. Portanto, para que fosse validado o software foi realizado uma simulação utilizando dados presentes na literatura e dados de chuva disponíveis.

O talude escolhido para a simulação foi citado por Fritscher (2016), estando localizado no interior do município de Teutônia, Rio Grande do Sul, nas coordenadas geográficas 29°30'06.8"S e 51°50'35.7"W. Na Figura 25 é possível visualizar o talude em questão.

Figura 25: Talude analisado



Fonte: Fritscher (2016).

O primeiro passo consistiu em buscar os dados disponíveis por Fritscher (2016) das variáveis necessárias. Para tal, foi usado os dados pertencentes a hipótese 3 e seção A. A Tabela 7 mostra essas variáveis bem como seus valores.

Variáveis	Valores
H	8,57 m
C	45 kPa
ϕ	27,83°
i	79°
Ynat	19,50 kN/m ³
Ys	26,39 kN/m ³
e	0,95
n	0,49
w	22,57%
S	88%
Ps	0,588 N

Para a determinação do índice de vazios foi usado uma descrição da autora classificando o material como areia mal graduada pelo Sistema Unificado de Classificação Unificado (*Unified Classification System - U.C.S*) e como areia fina pela

AASHTO (1973) – *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Por tanto, utilizou-se a tabela 8 para definir o índice de vazios.

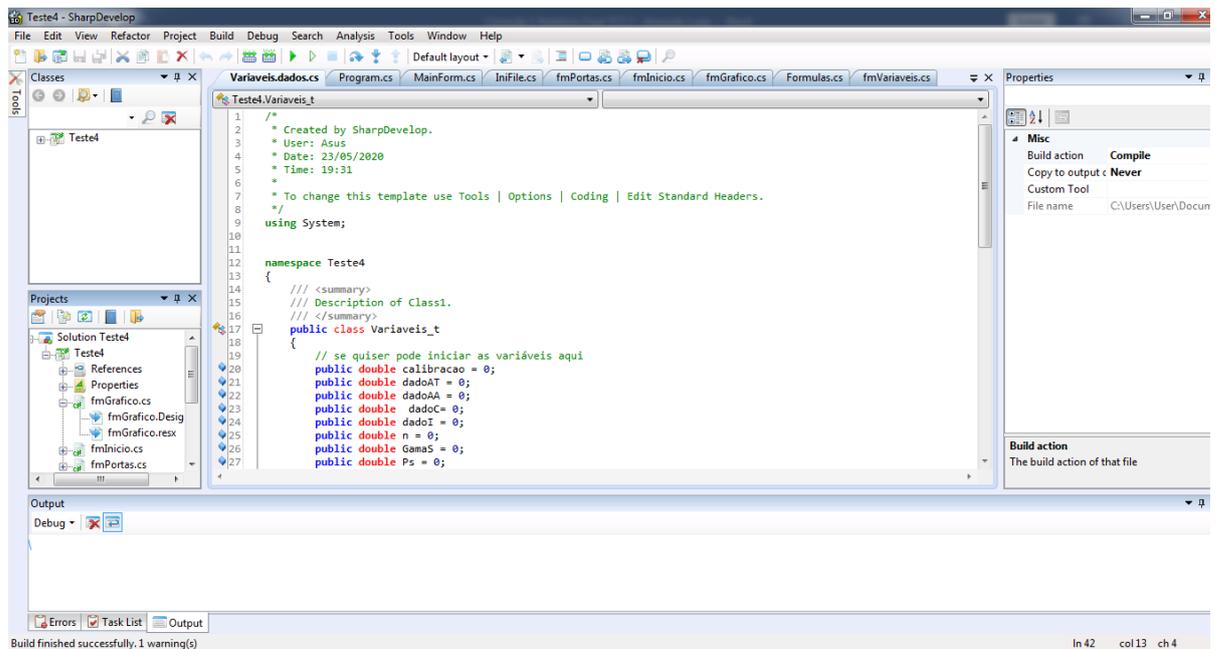
Tabela 8: Valores do índice de vazios por classificação de solos granulares

	Índice de Vazios	
	$e_{\text{máx}}$	$e_{\text{mín}}$
Esferas de igual diâmetro	0,91	0,35
Areia uniforme	1,00	0,40
Silte uniforme e inorgânico	1,10	0,40
Areia siltosa	0,90	0,30
Areia (mistura de fina e grossa)	0,95	0,20
Areia com mica	1,20	0,40
Areia silte e pedregulho misturados	0,85	0,14

Fonte: Fernandes, (2016).

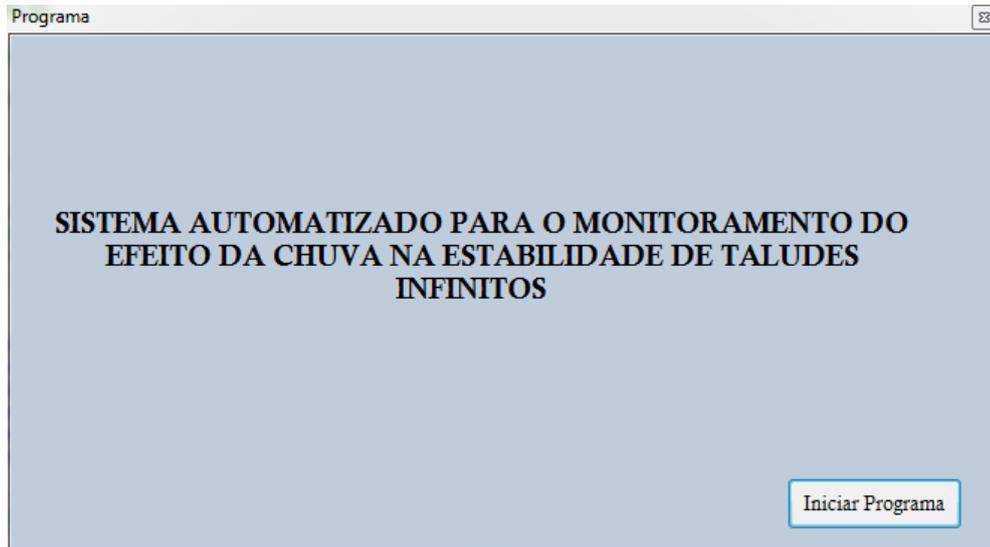
Os próximos passos já são no software SharpDevelop, quando o programa é aberto o mesmo apresenta uma janela com a formatação da Figura 26.

Figura 26: Janela inicial do programa



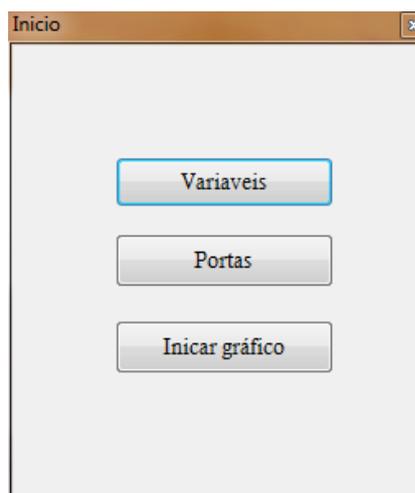
Na figura acima é possível observar na parte superior as páginas nas quais foram realizadas toda a programação sendo ao todo 9 páginas. Quando o mesmo inicia abre-se a janela de início mostarda na Figura 27.

Figura 27: Página inicial



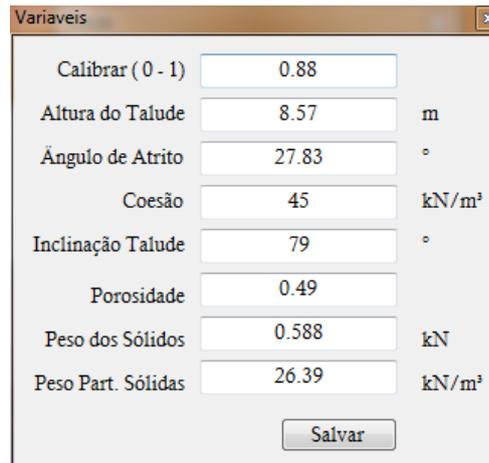
Ao clicar em Iniciar Programa a janela representada na Figura 28 é aberta nela é possível navegar por três abas: variáveis, portas e iniciar gráfico.

Figura 28: Segunda aba



Na janela variáveis foi colocado todos os valores referentes ao talude em análise conforme os dados mencionados anteriormente. A Figura 29 exemplifica esse processo. Ao clicar em salvar, o programa armazena as variáveis e volta para a segunda aba.

Figura 29: Janela variáveis – talude hipotético

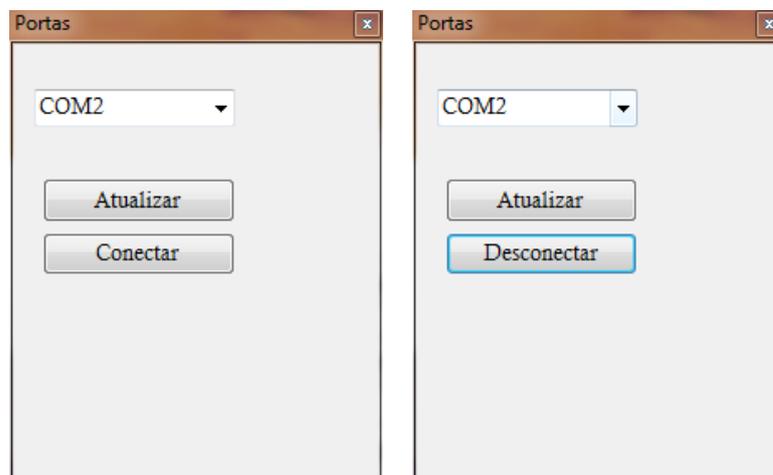


Parâmetro	Valor	Unidade
Calibrar (0 - 1)	0.88	
Altura do Talude	8.57	m
Ângulo de Atrito	27.83	°
Coesão	45	kN/m ³
Inclinação Talude	79	°
Porosidade	0.49	
Peso dos Sólidos	0.588	kN
Peso Part. Sólidas	26.39	kN/m ³

Salvar

Já na janela Portas é possível verificar as portas seriais disponíveis e escolher aquela que esteja recebendo os dados de precipitação por meio do módulo ESP8266. A Figura 30 mostra à esquerda janela sem ainda ter conectado e a direita a mesma janela, porém com a porta serial COM2 já conectada.

Figura 30: Janela Portas - talude hipotético



Estado	Porta	Botões
Desconectado	COM2	Atualizar, Conectar
Conectado	COM2	Atualizar, Desconectar

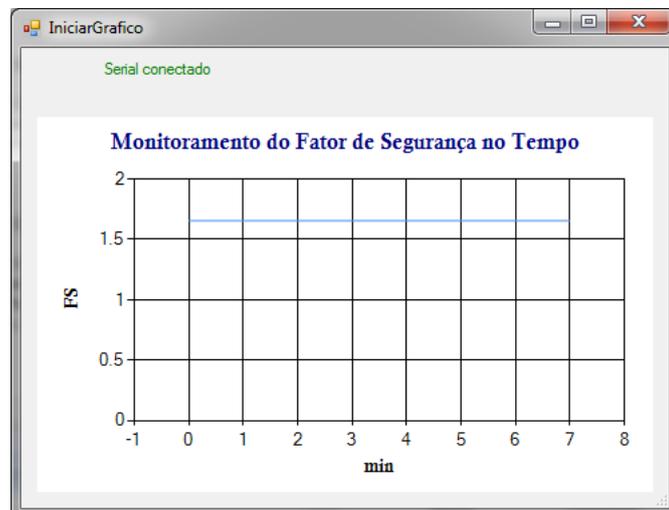
Para a simulação do volume de chuva foi utilizado um simulador adquirido que é capaz de simular a conexão em uma porta serial e é possível enviar dados por meio dele simulando os dados enviados pelo pluviômetro. No teste os dados são enviados a cada minuto. Para esse exemplo foi testado o volume de 10mm, 20mm, 30mm e 60mm. A Figura 31 mostra o gráfico gerado com 10mm de chuva.

Figura 31: Janela monitoramento – 10 mm de chuva.



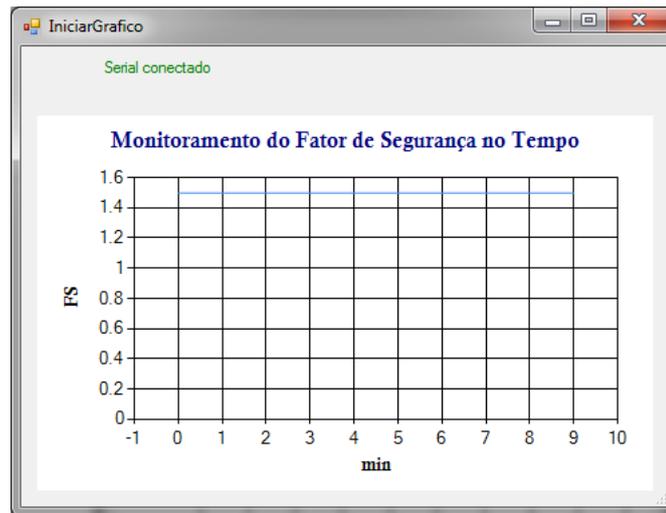
Logo após, realizou-se o teste com 20mm, a Figura 32 traz o gráfico plotado. É perceptível que com o aumento do volume de chuva infiltrado o FS é reduzindo chegando, nesse caso, a aproximadamente 1,66.

Figura 32: Janela monitoramento – 20 mm de chuva.



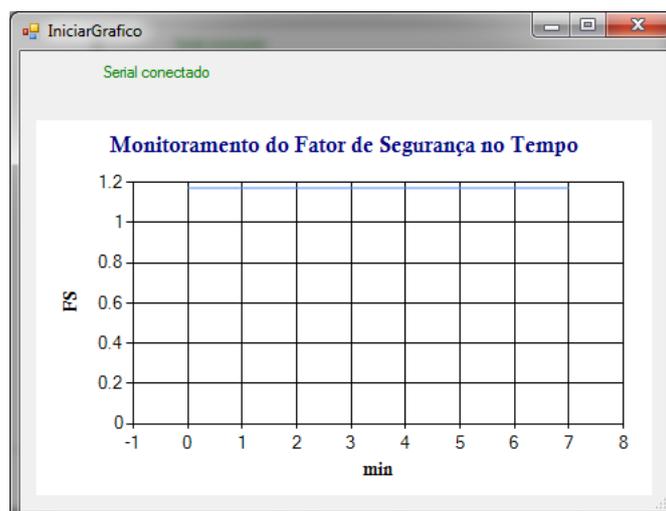
O próximo teste foi com 30mm de chuva o gráfico está representado na Figura 33. O fator de segurança nessa etapa chegou ao valor de aproximadamente 1,50.

Figura 33: Janela monitoramento – 30 mm de chuva.



Por fim, para um valor de 60mm de chuva o FS ficou em 1,17, ou seja, para que o mesmo se rompa seria necessária uma chuva mais intensa. A Figura 34 representa esse valor de precipitação.

Figura 34: Janela monitoramento – 60 mm de chuva.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento de taludes é extremamente importante para evitar possíveis catástrofes de cunho ambiental, social e econômico. A pesquisa em questão apresentou resultados pertinentes ao seu objetivo principal de criar um sistema automatizado para monitoramento de taludes infinitos.

O objetivo do trabalho foi alcançado, o pluviômetro utilizado funcionou para a ideia proposta não sendo necessário nenhuma adaptação. O sistema de conexão via wireless conseguiu se comunicar com eficiência ao software desenvolvido. O programa por sua vez conseguiu entregar um sistema de monitoramento preciso e leve.

Com os resultados alcançados fica evidente a possibilidade de fazer monitoramentos de taludes de forma simples e econômica bem como a sua importância para a sociedade. Apesar de ser um método limitado por ter um único valor de fator de segurança representando toda a área o sistema pode ser utilizado para o controle e se necessário é possível fazer adaptações.

A metodologia apresenta vantagens como simplicidade de aplicação, baixo custo de implementação, alta aplicabilidade a problemas de deslizamentos em encostas naturais. Além disso, o software é em código aberto e livre o que permite aos usuários as modificações às suas necessidades e sem precisar de investimentos. Em contraponto uma limitação pode ser destacada, como o conservadorismo no cálculo do fator de segurança o que pode implicar em mais ações mitigadoras em algumas áreas de monitoramento, porém melhora as tomadas de medidas de segurança.

Como sugestão de trabalhos futuros tem-se a adaptação da metodologia para outros tipos de deslizamento, como as rupturas circulares; adaptação da metodologia para problemas de maciço em rocha, especificamente percolação em descontinuidades; implementação de cálculos de poropressão; e testes em taludes reais. Além disso, sugere-se para novos trabalhos análise em conjunto com mapas hidrogeológicos das regiões e outros métodos determinísticos afim de se aumentar a precisão e a confiabilidade do monitoramento. Dentro dos métodos determinísticos existem uma gama de análises que podem ser utilizadas podendo criar inclusive vários cálculos de FS por diferentes métodos permitindo ao usuário escolher aquele

que melhor se adequa. Em relação a transmissão de dados sugere-se testar a distância alcançada entre módulos e verificar outras alternativas como a transmissão via *zigbee*. Por fim, outro aspecto muito relevante é a criação de um banco de dados capaz de armazenar as leituras por um período de tempo.

REFERÊNCIAS

ALOI, R. **Códigos da Aula. Serial Link.** 2013. Disponível em: <<http://renatoaloi.blogspot.com/>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ALTHMANN, M. F. **SharpDevelop 4: Ótima IDE gratuita para desenvolvedores. NET.** 2011. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/meiobit/79311/sharpdevelop-4-otima-ide-gratuita-para-desenvolvedores-net/>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO M 145: Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.** 1973.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682/1991: Estabilidade de Taludes.** Brasil, 1991.

Augusto Filho, O. & Virgili, J.C. (1998). **Estabilidade de taludes. In: Geologia de Engenharia.** São Paulo, ABGE.

AZEVEDO, G.; RAMALHOSO, W. **Deslizamentos de terra mataram 202 pessoas nos últimos 20 anos na Grande SP.** 2017. São Paulo-SP. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/01/31/deslizamentos-de-terra-mataram-202-pessoas-nos-ultimos-20-anos-na-grande-sp.htm>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BALEIRO, R. L. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para aquisição via internet de dados de dispositivos de campus em um ambiente fieldbus.** Tese (Mestrado), Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo-SP. 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/917184-Desenvolvimento-de-uma-ferramenta-computacional-para-aquisicao-via-internet-de-dados-de-dispositivo-de-campo-em-ambientes-fieldbus.html>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BAUM; R. L.; SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W. 2002. **TRIGRS: A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis.** USGS.Colorado. 35 p.

BONIN. Notícias G1: **Confira imagens marcantes da tragédia de 2011 na Região Serrana do RJ.** 2011. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/confira-imagens-marcantes-da-tragedia-de-2011-na-regiao-serrana-do-rj.ghtml>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

BRAGA, N. C. 2011. **Como funciona o Reed-Switches (MEC089).** Disponível em: <<https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/3860-mec089>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

BRUSCH, A.; AMORIM, S. **A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas.** Casoteca de Gestão Pública. ENAP. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/328/2/A%20trag%c3%a9dia%20da%20re>

gi%c3%a3o%20serrana%20do%20Rio%20de%20Janeiro%20em%202011%20proc urando%20respostas.pdf>. Acesso: 01 mar. 2021.

CAMPOS, A. **Arduino e cartões SD, MicroSD e SDHC**. BR-Arduino.org, 2015.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

CASTRO, V. M. de. **Estudo Sobre a Estabilidade da Encosta do Morro de Sapinhatuba I, Angra dos Reis, RJ**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, 2012. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/70233498-Estudo-sobre-a-estabilidade-da-encosta-do-morro-de-sapinhatuba-i-angra-dos-reis-rj.html>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CURVELLO, A. **Apresentando o módulo ESP8266**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/modulo-esp8266/>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

DELL'AVANZI, E.; SAYÃO, A. S. F. J. **Avaliação da probabilidade de ruptura de taludes**. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, volume I, 1998.

DYMINSKI, A. S., 2011, **Noções de Estabilidade de Taludes e Contenções**. Notas de Aula de Estabilidade de Taludes, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2011. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/noco-es-de-estabilidade-de-taludes-e-contencoes/4825202/>>. Acesso em: 28 mar.2021.

ELDORADO. Notícias: **Dez anos da maior tragédia de SC**. 2018. Disponível em: <<http://www.am570.com.br/noticia.php?id=4737>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

FERNANDES, M. de. M. **Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais**. Oficina de Textos, 2016. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2020/01/APOSTILA-PROPRIEDADES-E-%C3%8DNDICES-F%C3%8DSICOS-DE-SOLOS.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

FRITSCHER, E. C. **Análise de estabilidade de talude: estudo de caso no município de Teutônia/RS**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 09 dez. 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1410>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

GEO-RIO – Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. **Manual Técnico de Encostas: Análise de Investigação**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Geo-Rio, 2000.

GERSCOVICH, Denise. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2009. 160 f.– Notas de Aulas - Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GERSCOVICH, Denise. M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

GODT, J. W.; BAUM, R. L; CHLEBORAD, A. F. (2006). **Rainfall Characteristics for shallow landsliding in Seattle, Washington, USA**. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/esp.1237>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

GUERRA, U. G. **Retroanálise de Rupturas de Taludes em Nova Friburgo – RJ**. 2015. Tese (Mestrado) - Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309223182_Retroanalise_de_rupturas_de_taludes_em_Nova_Friburgo_RJ>. Acesso em: 20 fev. 2021.

GUIDICINI, G; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2013.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides, Reston, Virginia, United States Geological Survey Circular**. 2008. 1325, 129p.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. 146 f. Disponível: <<https://docplayer.com.br/34579634-Desenvolvimento-de-conversores-estaticos.html>>. Acesso em: 01 fev. 2021.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Vítimas de Deslizamentos**. 2017. Disponível em: <https://www.ipt.br/noticia/1190vitas_de_deslizamentos.htm>. Acesso em: 22 mar. 2021.

INVERSON, R. M. (2000). **Landslide triggering by rain infiltration**. Water Resources Research (36). p. 1897-1910.

LACERDA, W. A; SANDRONI, S. S. 1985. Movimentos de massas coluviais. In: Mesa redonda sobre os aspectos geotécnicos de encosta, Rio de Janeiro. Anais: Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, p. III-1-19.

LONDE, P. R.; BITAR, N. A. **Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG)**. Perquirere: Patos de Minas: UNIPAM, 8(2):224-249, dez. 2011. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/11485217-Importancia-do-uso-de-vegetacao-para-contencao-e-combate-a-erosao-em-taludes-do-lixao-desativado-no-municipio-de-patos-de-minas-mg-1.html>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Planejamento e Execução de Pesquisas; Amostragens e Técnica de Pesquisas**; Elaboração, Análises e Interpretação de Dados. Editora Atlas, 5º Ed. São Paulo, 2003.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MENDEZ, A. J. M. et al. **Captación de lluvia con pluviógrafos de cubeta y su postprocesamiento**. 2013. RIHA, La Habana, v. 34, n. 2, p. 73-87. Disponível em <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200007&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 31 jul. 2021.

Microsoft. **Um tour pela linguagem C#**. 2021. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/tour-of-csharp>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MONTGOMERY, D.R. e DIETRICH, W.E. (1994). **A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding**. Water Resources Research (30). p. 1153-1171.

MUÑOZ-HOYOS, E. **Influência dos Parâmetros Hidrológicos e Geotécnicos na Estabilidade de Taludes**. 2014. Tese (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília-DF. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266375429_Influencia_dos_Parametros_Hidraulicos_e_Geotecnicos_na_Estabilidade_de_Taludes>. Acesso em: 19 mar. 2021.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

NOQUEIRA, J. B. **Índices físicos dos solos**. 1976. Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1976. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6222/Nogueira_Joao_IndicesFisicosSolos.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 mar. 2021.

OLIVEIRA, G. A. **Correlação entre Pluviometria, Piezometria e Movimentos das Encostas dos Quilômetros 87 e 101 da Rodovia BR 116/RJ (Rio-Teresópolis)**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

RAMOS, V. M. et al. **Aplicação do modelo shalstab, em ambiente arcview, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do quadrilátero ferrífero (MG)**. 2002. Espaço & Geografia, v. 5, n. 1, p. 49-67, 2002. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/14/13>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SILVEIRA, R. M. **Propriedades Geotécnicas dos Solos Coluvionares do Gsoduto Bolívia-Brasil em Timbé do Sul (SC)**. 2003. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6681/000444963.pdf?sequence=1>>.

SCHUSTER, R. L. **Socioeconomic significance of landslides**. In: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.), **Landslides: Investigation and Mitigation**. 1996. Washington: National Academy Press, p. 12-35, 1996.

SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. **Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas**. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados. Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010. Disponível: <<http://labfontes.ene.unb.br/geracao-distribuida/fontes-e-tecnologias-de-geracao-distribuida-para-atendimento-a-comunidades-isoladas>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

Silva, B. R. S. **Sistema de automação residencial de baixo custo para redes sem fio**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/101188>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SILVA, R. S. R. **Retroanálise de um Deslizamento de Talude Ocorrido no Morro da Praia Mole/SC-406**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204613/TCC_Ricardo_Rosa_Retroanalise.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SOARES, R. S. **Análise de Estabilidade de Talude do Shopping Via Café Garden em Varginha-MG**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário do Sul de Minas – Varginha-MG, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1073>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SOUZA, V. A. D.; VIEIRA, V. P. P. B. **Análise probabilística da estabilidade do talude de jusante de uma barragem de terra em regime de operação**. Comitê brasileiro de barragens. Xxvii seminário nacional de grandes barragens. Belém – Pa, 03 a 07 de junho de 2007. Disponível e: <<https://docplayer.com.br/74657380-Analise-probabilistica-da-estabilidade-do-talude-de-jusante-de-uma-barragem-de-terra-em-regime-de-operacao.html>>. Acesso em: 10 mar.2021

STRAUB, M. G. Usinainfo. **Pluviômetro arduino como sensor de chuva na estação meteorológica**. 2018. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/pluviometro-arduino-como-sensor-de-chuva-na-estacao-meteorologica/>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

TERLIEN, M T. J.; ASCH, T. W. J.; VAN WESTEN, C. J. **Deterministic in GIS - based landslide hazard assessment. 1995**. Disponível em: <<https://research.utwente.nl/en/publications/deterministic-modelling-in-gis-based-landslide-hazard-assessment>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

TONUS, B. P. A. **Estabilidade de taludes: avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/19152/Dissertacao_Bianca.pdf;jsessionid=9D017CF1DB10E381A14A6AF09859819D?sequence=1>. Acesso em: 30 mar. 2021.

VARNES, D. J. (1978). **Slope moviment types and processes**. In: Landslides Analysis and Control. Washington, National Academy of Sciences.

APÊNDICE A

- Página: Variaveis.dados.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 23/05/2020
 * Time: 19:31
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Description of Class1.
    /// </summary>
    public class Variaveis_t
    {
        // se quiser pode iniciar as variáveis aqui
        public double calibracao = 0;
        public double dadoAT = 0;
        public double dadoAA = 0;
        public double dadoC= 0;
        public double dadol = 0;
        public double n = 0;
        public double GamaS = 0;
        public double Ps = 0;

        public Variaveis_t()
        {

        }

        override public string ToString()
        {
            const string formato = "calibracao: {0}\ndadoAT: {1}\ndadoAA: {2}\ndadoC:
{3}\ndadol: {4}\nn: {5}\nPs: {6}\nGamaS: {7} ";
            string linha
= string.Format(formato, calibracao,dadoAT,dadoAA,dadoC,dadol, n, Ps,GamaS);
            return linha;
        }

        public void Salvar()

```

```

{
    IniFile Config = new IniFile("Settings.ini");
    string sessao = "variaveis";

    Config.WriteAsDouble(sessao, "calibracao", calibracao);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "dadoAT", dadoAT);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "dadoAA", dadoAA);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "dadoC", dadoC);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "dadol", dadol);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "n", n);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "Ps", Ps);
    Config.WriteAsDouble(sessao, "GamaS", GamaS);
}

public void Carregar()
{
    IniFile Config = new IniFile("Settings.ini");
    string sessao = "variaveis";

    calibracao = Config.ReadAsDouble(sessao, "calibracao", calibracao);
    dadoAT = Config.ReadAsDouble(sessao, "dadoAT", dadoAT);
    dadoAA = Config.ReadAsDouble(sessao, "dadoAA", dadoAA);
    dadoC = Config.ReadAsDouble(sessao, "dadoC", dadoC);
    dadol = Config.ReadAsDouble(sessao, "dadol", dadol);
    n = Config.ReadAsDouble(sessao, "n", n);
    Ps = Config.ReadAsDouble(sessao, "Ps", Ps);
    GamaS = Config.ReadAsDouble(sessao, "GamaS", GamaS);
}
}
}

```

- Página: Program.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 16/05/2020
 * Time: 11:25
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.Windows.Forms;

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Class with program entry point.

```

```

/// </summary>
internal sealed class Program
{
    /// <summary>
    /// Program entry point.
    /// </summary>
    [STAThread]
    private static void Main(string[] args)
    {
        Application.EnableVisualStyles();
        Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
        Application.Run(new MainForm());
    }
}
}

```

- Página: MainForm.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 16/05/2020
 * Time: 11:25
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Description of MainForm.
    /// </summary>
    public partial class MainForm : Form
    {
        public MainForm()
        {
            InitializeComponent();
        }

        void BlnicioClick(object sender, EventArgs e)
        {
            fmlInicio jan = new fmlInicio();
            this.Visible = false;
        }
    }
}

```

```

        jan.ShowDialog();
        Close();
    }
}
}

```

Página: fmPortas.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 17/05/2020
 * Time: 09:54
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections.Generic;
using System.Diagnostics;
using System.IO.Ports;

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Description of Portas.
    /// </summary>
    public partial class fmPortas : Form
    {
        // public Variaveis var = new Variaveis();

        // public string data;
        // public double Pw;
        // public double W;
        // public double Rs;
        // public double Rd;
        // public double Rsat;
        // public double FS;
        // public double cos;

        private SerialPort Serial;

        public fmPortas(SerialPort _Serial)
        {
            InitializeComponent();
            Serial = _Serial;
            cbPortas.Text = Serial.PortName;
        }
    }
}

```

```

void UpdatePorts()
{
    string[] ports = SerialPort.GetPortNames();
    cbPortas.Items.Clear();
    cbPortas.Items.AddRange(ports);
}

void PortasLoad(object sender, EventArgs e)
{
    UpdatePorts();
}

void BAtualizarClick(object sender, EventArgs e)
{
    UpdatePorts();
}

void BConectarClick(object sender, EventArgs e)
{
    if (Serial.IsOpen)
        Serial.Close();
    else {
        if (cbPortas.Text != string.Empty)
        {
            Serial.PortName = cbPortas.Text;
            try
            {
                Serial.Open();
            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("Erro ao abrir a porta serial, provavelmente já
está aberta por outro programa. (" + ex.Message + ").", "ERRO");
            }
        }
    }
    UpdateSerialStatus();

    if (Serial.IsOpen)
    {
        // Salva as configurações de portas se a conexão for bem sucedida
        Salvar();
    }
}

```

```

}

void UpdateSerialStatus()
{
    if(Serial.IsOpen)
        bConectar.Text = "Desconectar";
    else
        bConectar.Text = "Conectar";
}

void FmPortasShown(object sender, EventArgs e)
{
    UpdateSerialStatus();
}

public void Salvar()
{
    IniFile Config = new IniFile("Settings.ini");
    string sessao = "Serial";
    Config.Write(sessao,"PORTA",Serial.PortName);
}

public void Carregar()
{
    IniFile Config = new IniFile("Settings.ini");
    string sessao = "Serial";
    Serial.PortName = Config.Read(sessao,"PORTA",Serial.PortName);
    cbPortas.Text = Serial.PortName;
}

}

```

Página: IniFile.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 29/05/2020
 * Time: 11:30
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.IO;

```

```

using System.Reflection;
using System.Runtime.InteropServices;
using System.Text;

namespace Teste4
{
    public class IniFile
    {
        string Path;
        string EXE = Assembly.GetExecutingAssembly().GetName().Name;

        [DllImport("kernel32", CharSet = CharSet.Unicode)]
        static extern long WritePrivateProfileString(string Section, string Key, string Value, string FilePath);

        [DllImport("kernel32", CharSet = CharSet.Unicode)]
        static extern int GetPrivateProfileString(string Section, string Key, string Default, StringBuilder RetVal, int Size, string FilePath);

        public IniFile(string IniPath = null)
        {
            Path = new FileInfo(IniPath ?? EXE + ".ini").FullName;
        }

        private string Read(string Key, string Section = null)
        {
            var RetVal = new StringBuilder(255);
            GetPrivateProfileString(Section ?? EXE, Key, "", RetVal, 255, Path);
            return RetVal.ToString();
        }

        public string Read(string Section, string Key, string Default="")
        {
            if(KeyExists(Key,Section))
            {
                return Read(Key,Section);
            }
            return Default;
        }

        public double ReadAsDouble(string Section, string Key, double Default=0.0)
        {
            string Val = Read(Section,Key,Default.ToString());
            double result = 0.0;
            if(Double.TryParse(Val,out result))
            {
                return result;
            }
        }
    }
}

```

```

        return Default;
    }

    public void WriteAsDouble(string Section, string Key, double Value)
    {
        Write(Section,Key,Value.ToString());
    }

    public void Write(string Section, string Key, string Value)
    {
        WritePrivateProfileString(Section ?? EXE, Key, Value, Path);
    }

    public void DeleteKey(string Key, string Section = null)
    {
        Write(Key, null, Section ?? EXE);
    }

    public void DeleteSection(string Section = null)
    {
        Write(null, null, Section ?? EXE);
    }

    public bool KeyExists(string Key, string Section = null)
    {
        return Read(Key, Section).Length > 0;
    }
}

```

- Página: fmlInicio.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 16/05/2020
 * Time: 11:29
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.Diagnostics;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;
using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;
using System.Collections.Generic;
using System.IO.Ports;

```

```

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Description of Inicio.
    /// </summary>
    public partial class fmlInicio : Form
    {

        public Variaveis_t DadosVariaveis = new Variaveis_t();
        public fmGrafico Grafico;

        public Formulas Formula;
        public double PPw;

        public fmlInicio()
        {
            InitializeComponent();
            Formula = new Formulas(DadosVariaveis);
            Grafico = new fmGrafico(Serial);
            DadosVariaveis.Carregar();
        }

        void BVariaveisClick(object sender, EventArgs e)
        {
            fmVariaveis JanelaVariaveis = new fmVariaveis(DadosVariaveis);
            JanelaVariaveis.ShowDialog();
            Debug.WriteLine(JanelaVariaveis.Dados.ToString());
        }

        void BPortasClick(object sender, EventArgs e)
        {
            fmPortas jan = new fmPortas(Serial);
            jan.Carregar();
            jan.ShowDialog();
        }

        void BIniciarGraficoClick(object sender, EventArgs e)
        {
            Grafico.ShowDialog();
        }

        void SerialDataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
        {
            string data = Serial.ReadLine();
        }
    }
}

```

```

        ReceveDataLine(data);
    }

    void ReceveDataLine(string data)
    {
        BeginInvoke(new EventHandler(delegate
        {
            OnRecevedData(data);
        }));
    }

    void OnRecevedData(string data)
    {
        double chuva = double.Parse(data);
        double W = Formula.Calcula(chuva);
        Debug.WriteLine(W);
        Grafico.AdicionarPonto(W);
    }

    void FmInicioFormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
    {
        if (Serial.IsOpen)
            Serial.Close();
    }
}

```

- Página: fmGrafico.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 22/05/2020
 * Time: 16:21
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;
using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;
using System.IO.Ports;

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Description of IniciarGrafico.
    /// </summary>

```

```

public partial class fmGrafico : Form
{

    private int tempo = 0;
    public int QuantidadeMaxVisivel = 1440;
    private SerialPort Serial;

    public fmGrafico(SerialPort _Serial)
    {
        InitializeComponent();
        Serial= _Serial;
    }

    void IniciarGraficoLoad(object sender, EventArgs e)
    {
        chart1.Series[0].ChartType = SeriesChartType.Line;
    }

    private void AddXY(double x, double y)
    {
        int count = chart1.Series[0].Points.Count;
        if ( count > QuantidadeMaxVisivel)
        {
            chart1.ChartAreas[0].Axes[0].Minimum =
chart1.Series[0].Points[count - QuantidadeMaxVisivel].XValue;
        }
        chart1.Series[0].Points.AddXY( x,y);
    }

    public void AdicionarPonto(double valor)
    {
        AddXY(tempo, valor);

        if (valor <= 1.05)
        {
            MessageBox.Show("Talude está na iminência de
romper!", "ALERTA", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
        }
        tempo = tempo + 1;
    }
}

```

```

void TmrMonitorSerialTick(object sender, EventArgs e)
{
    if(Serial.IsOpen)
    {
        lblSerialStatus.Text = "Serial conectado";
        lblSerialStatus.ForeColor = Color.Green;
    }
    else
    {
        lblSerialStatus.Text = "Serial desconectado";
        lblSerialStatus.ForeColor = Color.Red;
    }
}
}
}

```

Página: Formulas.cs

```

/*
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 19/05/2020
 * Time: 15:00
 *
 * To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
 */
using System;
using System.Diagnostics;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;
using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;

namespace Teste4
{
    public class Formulas
    {
        private Variaveis_t Dados;

        public Formulas(Variaveis_t _Dados)
        {
            Dados = _Dados;
            Save();
        }

        public double Calcula(double chuva)
        {

```

```

    double volumechuva = chuva/1000.0;
    double Pw = 9.80 * volumechuva * Dados.calibracao;
    Debug.WriteLine(Pw);
//    Debug.WriteLine(Dados.dadol);
    double W = (Pw / Dados.Ps );
//    Debug.WriteLine(W);
    double Rd = (1 - Dados.n) * Dados.GamaS;
//    Debug.WriteLine(Rd);
    double Rsat = Rd * (1 + W);
    Debug.WriteLine(Rsat);
    double cos = Math.Cos(Dados.dadol*Math.PI/180.0);
    double tan = Math.Tan(Dados.dadoAA*Math.PI/180.0);
//    Debug.WriteLine(cos);
//    Debug.WriteLine(tan);
    double F = (Dados.dadoC + ((Rsat-
9.81) * Dados.dadoAT * Math.Pow(cos,2) * tan));
    double s
= (Rsat * Dados.dadoAT * Math.Sin(Dados.dadol*Math.PI/180.0) * Math.Cos(Dados.
dadol*Math.PI/180.0));
//    Debug.WriteLine(F);
//    Debug.WriteLine(s);
    double Fs = F / s ;
//    Debug.WriteLine(Fs);
    return Fs;
}

public void load()
{

}

public void Save()
{

}

}
}

```

Página: fmVariaveis.cs

```

/*[
 *
 * Created by SharpDevelop.
 * User: Amanda Luzia Santos Silveira
 * Date: 16/05/2020
 * Time: 11:36
 *

```

```

* To change this template use Tools | Options | Coding | Edit Standard Headers.
*/
using System;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;

namespace Teste4
{
    /// <summary>
    /// Description of Variaveis.
    /// </summary>
    public partial class fmVariaveis : Form
    {
        public Variaveis_t Dados;

        public fmVariaveis(Variaveis_t _Dados)
        {
            InitializeComponent();
            Dados = _Dados;
        }

        void BSalvarClick(object sender, EventArgs e)
        {
            Dados.calibracao = double.Parse(tbCalibrar.Text);
            Dados.dadoAT = double.Parse(tbAlturaDoTalude.Text);
            Dados.dadoAA = double.Parse(tbAnguloDeAtrito.Text);
            Dados.dadoC = double.Parse(tbCoesao.Text);
            Dados.dadoI = double.Parse(tbI.Text);
            Dados.n = double.Parse(tbn.Text);
            Dados.Ps = double.Parse(tbPs.Text);
            Dados.GamaS = double.Parse(tbGamaS.Text);

            if (Dados.calibracao > 1)
            {
                MessageBox.Show("Deve ser digitado um valor entre 0 (menos conservador) e 1 (mais conservador)!!", "Valor inválido", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
            }
            else
            {
                // Salva os dados em disco para não precisar adicionar na proxima vez
                Dados.Salvar();

                Close();
            }
        }
    }
}

```

// Atribuir essa função ao evento ONKeyPress de uma textBox evita valores que não são numéricos

```
private void textBox_number_only_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if(e.KeyChar == '!')
    {
        e.KeyChar = '!';
    }

```

```
    if(!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
        (e.KeyChar != '!'))
    {
        e.Handled = true;
    }

```

// only allow one decimal point

```
    if((e.KeyChar == '!') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

```

```
void FmVariaveisShown(object sender, EventArgs e)
{
    tbCalibrar.Text = Dados.calibracao.ToString();
    tbAlturaDoTalude.Text = Dados.dadoAT.ToString();
    tbAnguloDeAtrito.Text = Dados.dadoAA.ToString();
    tbCoesao.Text = Dados.dadoC.ToString();
    tbI.Text = Dados.dadoI.ToString();
    tbn.Text = Dados.n.ToString();
    tbPs.Text = Dados.Ps.ToString();
    tbGamaS.Text = Dados.GamaS.ToString();
}

```

```
}
}
```