



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS ERECHIM  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**JOÃO HENRIQUE POLETTI**

**AVALIAÇÃO DAS CORRELAÇÕES E APRESENTAÇÃO  
PRELIMINAR DO PERFIL GEOTÉCNICO DO SOLO DE  
ERECHIM/RS**

**ERECHIM / RS**

**2020**

**JOÃO HENRIQUE POLETTI**

**AVALIAÇÃO DAS CORRELAÇÕES E APRESENTAÇÃO PRELIMINAR DO  
PERFIL GEOTÉCNICO DO SOLO DE ERECHIM/RS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado na Universidade Federal da  
Fronteira Sul – UFFS como requisito  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental e Sanitária.  
Orientador: Me Pedro Eugênio Gomes  
Boehl

**ERECHIM / RS**

**2020**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Poletti, João Henrique  
AVALIAÇÃO DAS CORRELAÇÕES E APRESENTAÇÃO PRELIMINAR  
DO PERFIL GEOTÉCNICO DO SOLO DE ERECHIM/RS / João  
Henrique Poletti. -- 2020.  
14 f.

Orientador: Me. Pedro Eugênio Gomes Boehl

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,  
Erechim, RS, 2020.

I. Boehl, Pedro Eugênio Gomes, orient. II.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

**JOÃO HENRIQUE POLETTI**

**AVALIAÇÃO DAS CORRELAÇÕES E APRESENTAÇÃO PRELIMINAR DO  
PERFIL GEOTÉCNICO DO SOLO DE ERECHIM/RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção de grau  
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária  
da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

16/12/2020

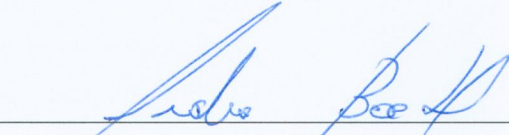
BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Marilia Teresinha Hartmann  
UFFS

---

Prof. Me. Alan Rempel  
UFFS



---

Prof. Me. Pedro Eugênio Gomes Boehl  
Orientador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por ter me guiado até aqui. Agradeço a empresa Pavibras pela disponibilização das sondagens. Agradeço especialmente meu orientador, o Me. Pedro Eugênio Gomes Boehl, por toda a ajuda, dedicação e disponibilidade prestada. Agradeço a professora que ministrou a disciplina de TCC II, a Dra. Marília Teresinha Hartmann por todo o apoio e prestatividade. Agradeço ao professor Me. Alan Rempel por aceitar o convite para compor a banca. Agradeço também minha família por estarem ao meu lado em todos os momentos, aos amigos, todos os Professores e colaboradores da UFFS e a todos que de alguma maneira contribuíram para que eu tivesse condições de concluir mais essa etapa da minha vida.

## RESUMO

Este trabalho avalia e compara, preliminarmente, o ângulo de atrito interno ( $22,74^\circ$  a  $41,45^\circ$ ) e a coesão (30Kpa e 350Kp) obtidos através de correlações com o Ensaio de Sondagem à Percussão (SPT), comparando-os com dados experimentais. A análise conjunta obteve valores para o coeficiente de Pearson ( $R^2$ ) muito próximos de 1. Obteve-se para o ângulo de atrito:  $y = 1,0817x^3 - 11,28x^2 + 37,648x - 12,36$ ;  $y = -0,1646x^3 + 1,9089x^2 - 4,7443x + 25,777$ ; e para a coesão:  $y = 21,667x^3 - 225x^2 + 743,33x - 696$ ;  $y = -3,0357x^2 + 45,893x - 57,857$ ; todas em função da profundidade. Os dados experimentais são muito próximos aos dados obtidos por correlação. Essas equações viabilizam a obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de forma rápida e prática para projetos.

**Palavras-chave:** Sondagem SPT, ângulo de atrito, coesão.

## ABSTRACT

This work evaluates and compares, preliminarily, the intern friction angle ( $22,74^\circ$  to  $41,45^\circ$ ) and the cohesion (30Kpa and 350Kp) obtained through correlation to the Standart Penetration Test (SPT) comparing it to experimental data. The joint analysis obtained values for Pearson coefficient ( $R^2$ ) quite close to 1. It was obtained for the friction angle:  $y = 1,0817x^3 - 11,28x^2 + 37,648x - 12,36$ ;  $y = -0,1646x^3 + 1,9089x^2 - 4,7443x + 25,777$ ; and for the cohesion:  $y = 21,667x^3 - 225x^2 + 743,33x - 696$ ;  $y = -3,0357x^2 + 45,893x - 57,857$ ; all according to the depth. The experimental depth is much close to the data obtained by correlation. These equations enable the obtainment of resistance parameters to quicker shear and project pratics.

**Keywords:** SPT sounding, friction angle, cohesion.

## SUMÁRIO

<b>1-INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
<b>3-MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
<b>4-DISSCUSSÕES E RESULTADOS .....</b>	<b>12</b>
<b>5-CONCLUSÕES .....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>13</b>



# **AValiação DAS CORRELAÇÕES E APRESENTAÇÃO PRELIMINAR DO PERFIL GEOTÉCNICO DO SOLO DE ERECHIM/RS**

**João Henrique Poletti**

Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim-/RS, Brasil,  
joao\_hp7@hotmail.com

**Pedro Eugênio Gomes Boehl**

Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim-/RS, Brasil,  
pedro.boehl@uffs.edu.br

**RESUMO:** este trabalho avalia e compara, preliminarmente, o ângulo de atrito interno ( $22,74^\circ$  a  $41,45^\circ$ ) e a coesão (30Kpa a 350Kp) obtidos através de correlações com o Ensaio de Sondagem à Percussão (SPT), comparando-os com dados experimentais. A análise conjunta obteve valores para o coeficiente de Pearson ( $R^2$ ) muito próximos de 1. Obteve-se para o ângulo de atrito:  $y = 1,0817x^3 - 11,28x^2 + 37,648x - 12,36$ ;  $y = -0,1646x^3 + 1,9089x^2 - 4,7443x + 25,777$ ; e para a coesão:  $y = 21,667x^3 - 225x^2 + 743,33x - 696$ ;  $y = -3,0357x^2 + 45,893x - 57,857$ ; todas em função da profundidade. Os dados experimentais são muito próximos aos dados obtidos por correlação. Essas equações viabilizam a obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de forma rápida e prática para projetos.

**Palavras-chave:** Sondagem SPT, ângulo de atrito, coesão.

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo a definição da NBR 6502 de 1995, o solo é um material que se origina da decomposição e também da desintegração das rochas através do intemperismo agindo de forma contínua, podendo este ser através de agentes químicos e/ou físicos e podendo ou não ter matéria orgânica.

O solo pode também ser definido como o produto remoto ou imediato da alteração das rochas, portanto, da ação conjunta, da decomposição química e da desintegração física, causada pelos agentes físicoquímicos, geológicos e biológicos de alteração e transporte atmosféricos, conseqüentemente do remanejo e da organização das camadas superiores da crosta terrestre e por fim da ação do homem (BOEHL, 2011).

Conforme a norma da ABNT (NBR 6502) solo é definido como um material que é proveniente da ação de agentes físicos ou químicos causando decomposição das rochas, que podem ou não ter matéria orgânica, ou simplesmente ser produto da ação de agente de agentes físicos ou

químicos causando decomposição das rochas, que podem ou não ter matéria orgânica, ou simplesmente ser produto da ação de agentes atmosféricos ocasionando a decomposição e desintegração da rocha.

Erechim/RS é um município brasileiro, do estado do Rio Grande do Sul, situado na região do Alto Uruguai, nas coordenadas  $27^\circ 38' 03'' S$   $52^\circ 16' 26'' W$ , altitude de 783 metros, com uma população de 106.633 habitantes, clima subtropical úmido, e possui um PIB per capita de R\$ 47.080,69 segundo dados do IBGE de 2018.

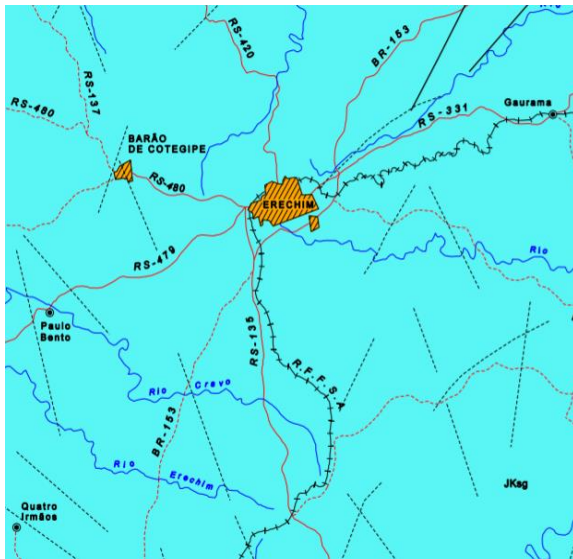
## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

SACHETTI et. al em 2014 realizaram ensaios para os solos e rochas de Passo Fundo/RS e Erechim/RS, identificando a presença de argilos minerais do tipo caulínico e a rocha de passo fundo como ácida do tipo riodacito.

O perfil geológico do município de Erechim-RS é visualizado na Figura 1, que classifica o solo como Formação Serra Geral (JKsg), que refere-se a formação de

serra geral, do grupo São Bento, caracterizada por rochas efusivas básicas, continentais, toleíticas, comumente basaltos e fenobasaltos, normalmente, capeando as efusivas, ocorre uma sequência de rochas na composição ácida( $\alpha$ ), constituídas por riolitos felsíticos, riolitos felsíticos, dacitos felsíticos e seus correspondentes termos vítreos (IBGE, 2003).

Figura 1- Mapa geológico da região de Erechim



Fonte: IBGE, 2003.

A região do Alto Uruguai é constituída basicamente por solos lateríticos (intemperizados) de clima tropical à subtropical em que a ação predominante de degradação das rochas é o intemperismo químico, característico de áreas bem drenadas e com predominância da fração argilo-siltosa, estruturados por agentes cimentantes, influenciados pela presença de óxidos de alumínio e ferro como material aglutinador (BOEHL, 2011).

De acordo com o descrito por Strehl (2016), o solo encontrado na cidade de Erechim é estruturado naturalmente, grande parte devido a presença de argilo-minerais, que são identificados como halositas hidratadas, e são constituídos principalmente de argilas-siltosas e siltes-argilosos e ainda compostas por uma fração de areia.

Conforme a NBR 6484 quando no ensaio de avanço da perfuração forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 min ou quando, após a realização de quatro ensaios consecutivos, não for alcançada a profundidade de execução do SPT, que comumente ocorre na fronteira entre os solos e rochas ocorre a impenetrabilidade da sondagem SPT, e este deve ser substituído pela sondagem rotativa. Dos testemunhos obtidos neste ensaio é possível adquirir os principais parâmetros geomecânicos.

O ensaio de penetração padronizado, também chamado de Standart Penetration Test (SPT), é executado no transcorrer da sondagem a percussão com o propósito de se obterem índices de resistência à penetração do solo (Norma ABNT NBR 6484)

Figura 1 – Tabela de denominação do solo

Anexo A (informativo)  
Tabela dos estados de compactidade e de consistência

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação <sup>1)</sup>
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)

<sup>1)</sup> As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Fonte: ABNT NBR 6484

Para que fosse possível obter as correlações, foram utilizadas as equações do ângulo de atrito e da coesão, conforme segue abaixo:

a) GODOY & TEIXEIRA (1996)

$$C = 10.N \quad (1)$$

Onde:

C = intercepto coesivo

N = número de golpes

b) TEIXEIRA (1996)

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N} + 15^\circ \quad (2)$$

Onde:

$\phi$  = ângulo de atrito

N = número de golpes

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A empresa PAVIBRAS, cedeu os dados das sondagens à percussão tipo SPT, que realizou no município de Erechim-RS em dois pontos. No ponto 1 a perfuração máxima é de 9 metros e o local pode ser visto na Imagem 1, onde hoje encontra-se o Passarela Center, na Avenida José Oscar Salazar, nº 95, Bairro Santa Catarina, com as coordenadas 27°38'10"S 52°17'16"W. No ponto 2 a perfuração máxima é de 7 metros e o local pode ser visualizado na Imagem 2, onde hoje encontra-se uma residência particular, na Rua Espírito Santo, nº 12, quadra nº4, Bairro Bela Vista, com as coordenadas 27°38'33"S 52°15'54"W.

Imagem 1: localização Sondagem SPT 1



Fonte: Google Maps.

Imagem 2: localização Sondagem SPT 2



Fonte: Google Maps.

Com os dados das sondagens foram então montados os quadros 1 e 2 de descrição do solo estudado, utilizando como referência a tabela de sondagem SPT da Norma ABNT NBR 6484, que segue abaixo.

Quadro 1- SONDAGEM SPT 1.

Profundidade (m)	NSPT Médio	Descrição do solo (NBR 6484)
1	0	-
2	3	Mole
3	4	Mole
4	7	Média
5	11	Rija
6	11	Rija
7	11	Rija
8	60	Dura
9	79	Dura

Fonte: PAVIBRAS, 2018. Adaptado pelo Autor.

Quadro 2- SONDAGEM SPT 2.

Profundidade	NSPT Médio	Descrição do solo
1	-	-
2	7	Média
3	7	Média
4	10	Média
5	8	Média
6	35	Dura
7	30/10	Dura

Fonte: PAVIBRAS, 2018. Adaptado pelo Autor.

#### 4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Utilizando-se dos dados das sondagens 1 e 2 e aplicando as correlações com as equações 1 e 2, foi possível compilar os dados e obter os ângulos de atrito ( $\phi$ ) e a coesão (C), conforme mostram as Tabelas 1 e 2 abaixo.

Tabela 1 – Análise dos parâmetros de resistência ao cisalhamento em relação ao longo da profundidade sondagem 1

Profundidade	NSPT	$\phi$ (°)	C (Kpa)
2	3	22,74	30
3	4	23,94	40
4	7	26,83	70
5	11	29,83	110
6	11	29,83	110
7	11	29,83	110

Fonte: o Autor

Tabela 2 – Análise dos parâmetros de resistência ao cisalhamento em relação ao longo da profundidade sondagem 2

Profundidade	NSPT	$\phi$	C
2	7	26,83	70
3	7	26,83	70
4	10	29,14	100
5	8	27,65	80
6	35	41,45	350
7	30/10	-	-

Fonte: o Autor.

Por razões práticas foram considerados apenas valores de NSPT que tiveram 30 centímetros de penetração.

Tabela 3 – Dados obtidos na literatura

Profundidade e / autor	Denominação Do solo	$\phi$ (°)	C (Kpa)
1,4m (MATTÉ, 2016)	Argila-siltosa CH	17,7	10,4
1,6m (BIAVATTI, 2017)	Argila-siltosa CH	22,5	29,5

Fonte: o Autor

Com os dados das Tabelas 1, 2 e 3, foram gerados os gráficos das Figuras 1 e 2, para que fosse possível analisar o

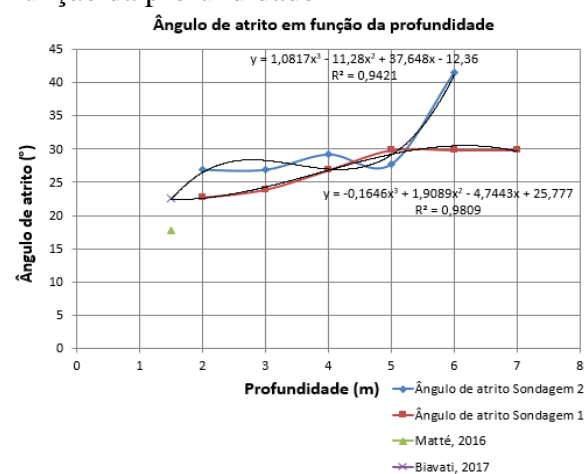
comportamento da mudança da coesão e do ângulo de atrito em função da profundidade. Valores excessivos de NSPT foram desprezados.

Figura 2 - Gráfico da coesão em função da profundidade



Fonte: o Autor

Figura 3 – Gráfico do ângulo de atrito em função da profundidade



Fonte: o Autor

Para a Figura 2, observa-se nas sondagens 1 e 2, com relação ao ângulo de atrito as seguintes equações:  $y = 1,0817x^3 - 11,28x^2 + 37,648x - 12,36$  e com  $R^2$  de 0,9572 e  $y = -0,1646x^3 + 1,9089x^2 - 4,7443x + 25,777$  com  $R^2 = 0,9268$ .

Para a Figura 3, observa-se nas sondagens 1 e 2, com relação a coesão as seguintes equações:  $y = 21,667x^3 - 225x^2 + 743,33x - 696$ ;  $y = -3,0357x^2 + 45,893x - 57,857$ ; todas em função da profundidade.

Com relação aos dados obtidos e tratados da literatura, conforme Tabela 3, os comportamentos das correlações obtidas no trabalho na mesma faixa de profundidade possuem alto grau de semelhança.

Tanto para o ângulo de atrito quanto para a coesão a melhor tendência estatística é a polinomial de terceira ordem. Nestas condições e para essa tendência existe uma correlação alta entre as variáveis.

## 5. CONCLUSÃO

A pesquisa pautou-se na aplicação das correlações do ângulo de atrito interno ( $22,74^\circ$  a  $41,45^\circ$ ) e a coesão (30Kpa a 350Kp) obtidos através de correlações com o SPT, comparando-os com dados experimentais. A aplicação das correlações ocorreu de forma satisfatória visto que a análise conjunta obteve valores para o coeficiente de Pearson ( $R^2$ ) muito próximos de 1. Com relação aos dados obtidos e tratados da literatura, o comportamento das correlações obtidas no trabalho na mesma faixa de profundidade possui alto grau de semelhança. Obteve-se para o ângulo de atrito as seguintes equações:  $y = 1,0817x^3 - 11,28x^2 + 37,648x - 12,36$ ;  $y = -0,1646x^3 + 1,9089x^2 - 4,7443x + 25,777$ ; assim como para a coesão as seguintes equações:  $y = 21,667x^3 - 225x^2 + 743,33x - 696$ ;  $y = -3,0357x^2 + 45,893x - 57,857$ ; todas em função da profundidade.

Pela sua simplicidade e pela alta aproximação estatística, estas equações podem ser aplicadas facilmente em projetos de engenharia de forma genérica para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. Para viabilização da aplicação das equações recomenda-se aumentar o campo amostral.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6502 - Rochas e solos. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6484 – Execução e sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, RJ, 2001.

BIAVATI, F. Determinação e análise dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo residual de basalto do Campus Erechim – RS em condições naturais e inundadas. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Fronteira Sul. Erechim, RS, 2017.

BOEHL, P. E. G. Algumas observações sobre as propriedades geotécnicas de solos estruturados derivados de granito da Grande Florianópolis. [dissertacao] /Pedro Eugenio Gomes Boehl; orientador, Marciano Maccarini. Florianópolis, SC, 2011, 228p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e estados. Brasil, Rio Grande do Sul, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/erechim.html>>. Acesso em: Janeiro de 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa Geológico de Erechim-RS. Brasil, Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa223023>>. Acesso em: Setembro de 2020.

MATTÉ, F. Determinação preliminar dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo residual do Campus UFFS – Erechim/RS. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim – RS, 2017.

SACHETTI, A.S. et al. Caracterização Geotécnica dos Solos de Passo Fundo e Erechim, e Geológica da Rocha de Passo Fundo. Revista de Engenharia Civil IMED. Passo Fundo, RS, 2014.

STREHL, M. J. Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo do campus Erechim – RS através dos ensaios de compactação tipo Proctor. Trabalho de Conclusão de Curso, UFFS, Erechim, 2016.

TEIXEIRA, A.H.; GODOY, N.S. “Análise, projeto e execução de fundações rasas”, in: HACHICH, W. et al. (ed.) Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini, 1996.