



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

DANIEL GRAL

**ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DAS CORRELAÇÕES PARA O
SOLO RESIDUAL BASÁLTICO.**

ERECHIM

2018

DANIEL GRAL

**ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DAS CORRELAÇÕES PARA O
SOLO RESIDUAL BASÁLTICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS –
Campus de Erechim, como parte das exigências para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária, defendido em banca
examinadora em 28/06/2018

Orientador: Prof. M.Sc Pedro Eugênio Gomes Boehl

ERECHIM

2018

DANIEL GRAL

**ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DAS CORRELAÇÕES PARA O
SOLO RESIDUAL BASÁLTICO.**

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

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

28/06/2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. M.Sc Pedro Eugênio Gomes Boehl - UFFS

Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann - UFFS

Prof. Dr. Mauro Leandro Menegotto - UFFS

RESUMO

O objetivo geral deste trabalho, foi estudar o comportamento inter-relacional dos parâmetros geotécnicos, adotando mecanismos de análise gráfico-estatísticas, para os solos residuais de basalto. Buscam-se dados existentes, através de uma revisão atualizada de trabalhos relacionados ao solo residual de basalto. Além disso coletou-se amostra indeformada de solo, do *Campus* UFFS Erechim, destinada ao ensaio de cisalhamento direto, nas condições inundadas. Integraram o banco de dados, 45 pontos de amostragem, respectivamente com suas características geotécnicas. O estudo correlacionou um conjunto de 18 parâmetros, aplicando os coeficientes de correlação e determinação para sua análise estatística. Destacam-se o ângulo de atrito pela fração de areia, índice de atividade pela coesão, grau de saturação pelo teor de umidade e índice de vazios pelo peso específico seco. O cruzamento destes parâmetros proporcionou um coeficiente de determinação considerado como satisfatório. Fração de argila pela coesão, grau de saturação pelo peso específico seco, peso específico seco pela coesão e ângulo de atrito pelo índice de vazios, apresentam tendência linear considerada moderada. Obteve-se para o solo do trabalho: ângulo de atrito interno $23,33^\circ$; intercepto coesivo 10 kPa. Através da investigação promovida, para reta de Coulomb genérica, utilizando-se todos os solos da pesquisa, obteve-se para o intercepto coesivo 18,21 kPa e para o ângulo de atrito interno de $25,16^\circ$. Observa-se que a aplicação de diferentes funções para a resistência ao cisalhamento, poderão suprir a falta da linearidade e homogeneidade dos solos residuais. As análises paramétricas foram realizadas de forma satisfatória.

Palavras-chave: Solo residual de basalto. Índices físicos. Parâmetros geotécnicos.

ABSTRACT

The general aim of this research is to study the inter-relational behavior of geotechnical parameters, adopting mechanisms from graphic-statistic analysis, in basaltic residual soils. Existing data was searched through review of updated researches regarding basaltic residual soil. Additionally, an undisturbed soil sample was collected at UFFS - Campus Erechim for direct shear test, under flooded conditions. The database is comprised of forty-five sampling points and their respective geotechnical characteristics. The study correlated a set of eighteen parameters, applying coefficients of correlation and determination, for statistical analysis. Highlights include the angle of friction by sand fraction, the activity ratio by cohesion, the saturation degree by moisture content, and the void ratio by specific dry weight. The crossing of these parameters provided a coefficient of determination deemed satisfactory. Clay fraction by cohesion, saturation degree by specific dry weight, specific dry weight by cohesion, and angle of friction by void ratio show a moderate linear tendency. Data obtained from the soil sample: internal angle of friction $23,33^\circ$; cohesion intercept 10kPa. For the generic Coulomb line, investigation employing all research soils obtained cohesion intercept 18,27 kPa and internal angle of friction $25,16^\circ$. Observation indicates that the application of different functions for shear resistance can overcome the lack of linearity and homogeneity of the residual soils. Parametric analyses were performed satisfactorily.

Keywords: Basaltic residual soil. Physical indexes. Geotechnical parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos de coleta de amostras.....	13
Figura 2 – Ângulo de Atrito x % Areia.	18
Figura 3 – Índice de atividade x Coesão.....	19
Figura 4 – Índice de vazios x Peso específico seco.	20
Figura 5 – Grau de saturação x Teor de umidade, descrito pela equação de 2º ordem.....	20
Figura 6 – Grau de saturação x Teor de umidade, descrito pelo comportamento exponencial.	21
Figura 7 – Coesão x % Argila.	22
Figura 8 – Grau de saturação x Peso específico seco.	22
Figura 9 – Coesão x Peso específico seco.	23
Figura 10 – Índice de vazios x Ângulo de Atrito.	23
Figura 11 – Índice de plasticidade pelo Ângulo de atrito inundado.....	24
Figura 12 – Índice de plasticidade pelo Ângulo de atrito inundado, sem resultados discrepantes.	24
Figura 13 – Índice de plasticidade x Fator adimensional de Skempton.	25
Figura 14 – Reta de Coulomb para o solo deste trabalho.....	25
Figura 15 – Reta de Coulomb de todos solos do trabalho.	26
Figura 16 – Função potência aplicada as tensões cisalhantes <i>versus</i> tensões normais.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros correlacionados.....	15
Tabela 2 – Coeficiente de correlação de Person (R).	15
Tabela 3 – Banco de dados.....	16
Tabela 4 – Critério $R^2 > 0,5$	17
Tabela 5 – Critério $R^2 < 0,5$ e R entre $\pm 0,4$ a $\pm 0,69$	17
Tabela 6 – Critério $R^2 < 0,5$ e $R < \pm 0,4$	18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Argila
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
G	Pedregulho
IA	Índice de Atividade
IP	Índice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
M	Silte
NBR	Norma Brasileira
S	Areia

LISTA DE SÍMBOLOS

γ_d	Peso específico seco
c	Coesão
w	Teor de umidade
ϕ	Ângulo de atrito
S_r	Grau de saturação
e	Índice de vazios
R	Coeficiente de correlação de Person
R^2	Coeficiente de determinação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	ÁREA DE ESTUDO	13
3	METODOLOGIA.....	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5	CONCLUSÕES.....	27
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

Devido aos processos diferenciados, que ocorrem para a formação dos solos residuais, comparados aos sedimentares (argila e areia), é de se esperar que também apresentem comportamentos geomecânicos distintos (MACCARINI, 1993).

Maccarini et al. (1989) e Ibañez (2008), destacam que para uma compreensão geral do comportamento de solos residuais, devem ser levados em consideração parâmetros como: grau de intemperismo, processos de formação, composição mineralógica, estrutura relíquia, porosidade, microestrutura e macroestrutura, bem como sua anisotropia e cimentações.

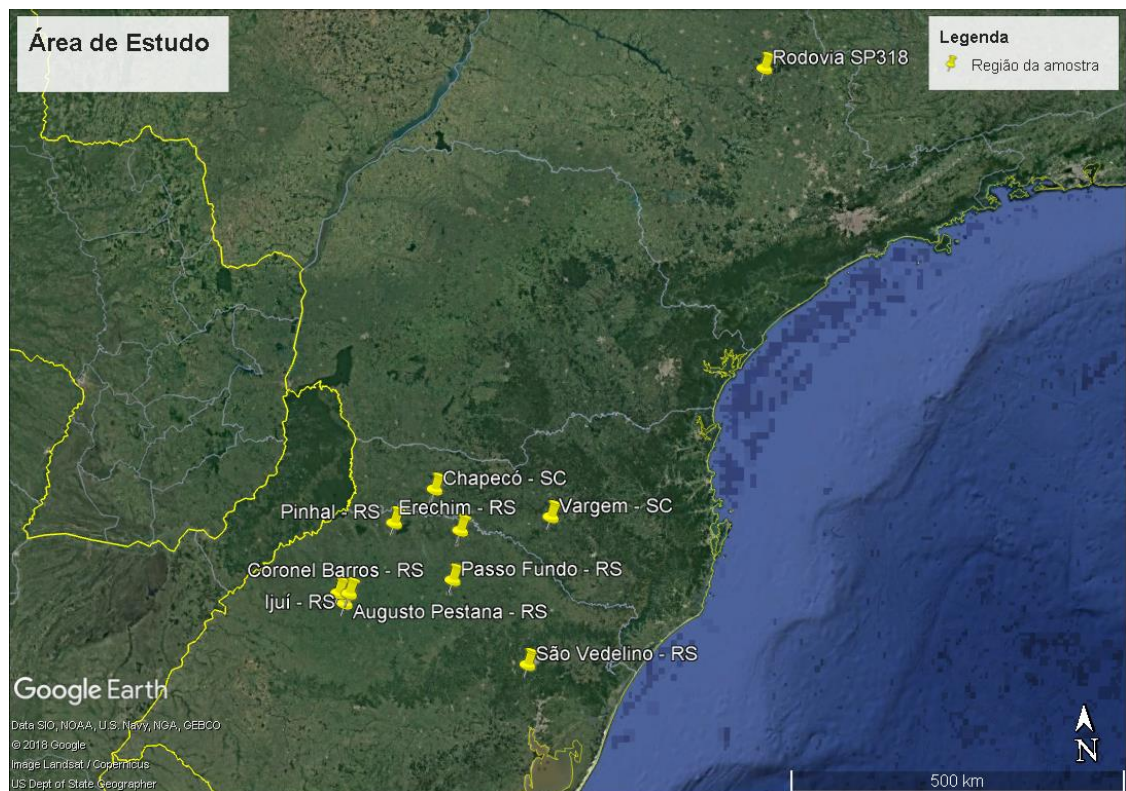
Os solos residuais de basalto, apresentam como característica boa capacidade de suporte, variando entre baixa e intermediária permeabilidade, bem como granulação fina. Apesar de argilosos tendem a apresentar alto risco de erosão, em relevos susceptíveis. Processos de compactação, tendem a diminuir significativamente sua permeabilidade e elevar sua capacidade de suporte (DIEMER, 2008). Boehl (2011), salienta que a cimentação entre partículas é uma componente importante da resistência de solos residuais.

Maccarini et al. (1989) para solos de gnaiss, e também Boehl (2011) para solos residuais de origem granítica da Grande Florianópolis – SC, após extensiva campanha de ensaios, correlacionaram estatisticamente dados geotécnicos, visando buscar afinidades. Autores como Braida et al. (2007), Thermann et al. (2006), McKyes et al. (1994), buscaram correlacionar parâmetros geotécnicos, que influenciariam a resistência ao cisalhamento do solo, como teor de umidade, forma, tamanho e distribuição dos grãos de solo. Sobre uma diferente perspectiva, autores como Braga et al. (2014), Hirata et al. (1990), Goktepe et al. (2007) procuraram obter uma estimativa dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos, através de regressão com análise multivariada.

2 ÁREA DE ESTUDO

O solo submetido ao ensaio de cisalhamento direto, estudado neste trabalho, apresenta coloração cinza clara, com a seguinte especificação geológica: K1 β – Formação Serra Geral (CPRM, 2006) amostrado do ponto UFFS Erechim, juntamente com os outros solos propostos na pesquisa, são residuais oriundos de rochas basálticas, constituídos por argilas-siltosas ou silto-argilosos, a origem geográfica destes solos é apresentada na Figura 1 e descrita na Tabela 3.

Figura 1 – Pontos de coleta de amostras.



Fonte: Próprio autor.

3 METODOLOGIA

Para a elaboração deste trabalho, buscaram-se dados existentes na literatura nacional, através da revisão atualizada de trabalhos da área, de solos residuais oriundos de rocha tipo basalto. Além da pesquisa, foi coletada amostra indeformada do solo seguindo as orientações da NBR 9604 (ABNT, 2016), das coordenadas latitude $27,727461^\circ$ Sul e longitude $52,283459^\circ$ Oeste, UFFS *Campus* Erechim. Destinou-se tal bloco de amostra para realizar o ensaio de cisalhamento direto, de forma a utilizar-se corpos de prova indeformados, com dimensões de 10,15 x 10,15 x 1,96 cm, sob tensões normais de 50, 100 e 200 kPa, nas condições inundadas por um período mínimo de consolidação igual a 24 horas, com velocidade de deslocamento de 0,036 mm/min.

Foram selecionados para integrar o banco de dados do trabalho, os seguintes autores: A -Bernardi (2006), B - Biavati (2017), C - Calle (2000), D - Cavelhão et al. (2011), E - Diemer et al. (2008), F - Ecks (2014), G - Martinello (2006), H - Matté (2017), I - Menegotto et al. (2016a), J - Menegotto et al. (2016b), K - Moreira (2014), L - Sachetti et al. (2014), M - Sala (2007), N - Santos et al. (2016), O - Serraglio (2017), P - Strehl (2016), Q - Thomé et al. (2012) e R - Viecili (2003). Buscaram-se extrair destes trabalhos dados de: índice de plasticidade (IP), limite de liquidez (LL), índice de atividade (IA), coesão (c), ângulo de atrito (ϕ), teor de umidade (w), peso específico seco (γ_d), Grau de saturação (Sr), Índice de vazios (e) e a granulometria com as frações de argila, silte, areia e pedregulho. Composto um total de 45 pontos analisados. De posse das informações e com o auxílio do *Software Microsoft Excel* 2016, foram realizados os cruzamentos dos parâmetros apresentados na Tabela 1.

Através do gráfico de dispersão apresentam-se as correlações entre variáveis e suas respectivas linhas de tendência. Estas linhas expressam o comportamento dos dados, através de equações, lineares, exponenciais, logarítmicas ou polinomiais de 2º ordem. Sob as funções obtidas, utilizam-se os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (R) e coeficiente de determinação (R²). Os mesmos permitem a comparação e análise entre os dados estimados e observados.

O coeficiente de correlação de Person (R), está associada a linearidade de duas variáveis, a Tabela 2, apresenta a interpretação de seus valores.

Tabela 1 – Parâmetros correlacionados.

Parâmetro	ϕ^* (°)	c^* (kPa)	LL (%)	Sr (%)	γ_d (kN/m ³)	c/100
Areia	X					
Argila		X				
Argila + Silte		X				
IA		X				
e	X	X			X	
IP	X	X	X			X
LL		X				
Sr		X			X	
w		X		X		
γ_d		X				

*Obs.: Sob condições inundadas.

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 – Coeficiente de correlação de Person (R).

Valor de R (\pm)	Interpretação
0,00 a 0,19	Uma correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Uma correlação fraca
0,40 a 0,69	Uma correlação moderada
0,70 a 0,89	Uma correlação forte
0,90 a 1,00	Uma correlação muito forte

Fonte: Próprio autor.

Com relação ao coeficiente de determinação (R^2), pode-se dizer que é uma medida descritiva da qualidade do ajuste, obtido pelo modelo de regressão. Adotou-se como critério de classificação o parâmetro proposto por Karunaprema e Edirisingh (2002), que estabelece como satisfatórias, somente as interações, que geram equações com R^2 superior a 0,5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta o banco de dados elaborado com base nos autores selecionados. Os resultados dos cruzamentos propostos pela Tabela 1 foram apresentados na Tabela 4, 5 e 6. A Tabela 4 apresenta os dados organizados, pelo critério proposto por Karunaprema e Edirisingh (2002). Na Tabela 5 é avaliado o critério do coeficiente de correlação, estar minimamente entre os valores ± 0.4 a ± 0.69 . Esta faixa de valores é considerada como uma correlação moderada.

Tabela 3 – Banco de dados.

Autor	Ponto	Local	IP (%)	LL (%)	IA	c (kPa)		ϕ (°)		w (%)	γ_d (kN/m ³)	γ_n (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	Sr (%)	e	Granulometria			
						Natural	Inundado	Natural	Inundado							Argila	Silte	Areia	Pedregulho
A	B	Ijuí - RS	27,84	66,00	0,38	-	19,63	-	31,87	37,91	13,61	18,77	28,34	-	-	78,80	10,30	10,43	0,47
	C	Ijuí - RS	24,36	60,50	0,38	-	21,70	-	31,20	34,25	14,30	19,20	28,25	-	-	71,43	12,17	16,40	0,00
	D	Augusto Pestana - RS	25,58	51,70	0,45	-	23,58	-	31,89	26,94	15,29	19,40	28,72	-	-	66,51	9,99	23,49	0,01
B	Único*	Erechim - RS	15,00	71,00	0,19	29,50	17,50	22,15	18,26	43,00	10,60	15,15	28,90	71,95	1,72	79,02	11,17	9,72	0,09
C	AL1	Rod SP318 - Km 261	-	-	-	-	-	-	-	21,50	12,85	15,70	28,45	52,10	1,20	-	-	-	-
	AL2	Rod SP318 - Km 262	-	-	-	-	-	-	-	16,90	15,11	17,66	28,45	55,50	0,88	-	-	-	-
	AL3	Rod SP318 - Km 263	-	-	-	-	-	-	-	21,00	12,95	15,70	28,45	50,90	1,20	-	-	-	-
D	1.2 m	Passo Fundo - RS	1,00	43,00	-	-	-	-	-	34,00	-	-	26,70	75,70	1,23	68,00	5,00	27,00	0,00
E	A	Ijuí - RS	11,00	59,00	-	-	15,80	-	24,27	34,52	-	-	28,52	54,96	1,79	-	-	-	-
	73.12	Vargem - SC	26,00	74,00	-	-	-	-	-	39,80	12,40	17,30	-	-	-	64,30	30,00	5,30	0,40
	74.12	Vargem - SC	29,00	70,00	-	-	-	-	-	32,10	13,40	17,70	-	-	-	63,50	31,00	5,30	0,20
F	75.12	Vargem - SC	18,00	52,00	-	-	-	-	-	27,20	15,70	19,90	-	-	-	44,50	42,20	7,50	1,70
	78.12	Vargem - SC	-	-	-	-	17,60	-	26,20	36,20	11,60	15,80	-	75,00	1,43	-	-	-	-
	351	São Vedelino - RS	18,00	60,00	-	-	-	-	-	32,50	-	-	29,50	-	-	41,00	41,00	16,00	2,00
G	360	São Vedelino - RS	16,00	56,00	-	-	-	-	-	26,60	11,90	15,00	28,90	53,70	1,44	40,00	45,00	13,00	2,00
	365	São Vedelino - RS	20,00	54,00	-	-	-	-	-	26,90	13,00	16,50	29,00	63,30	1,23	35,00	48,00	16,00	1,00
	Único*	Erechim - RS	6,00	56,00	0,10	-	10,40	-	17,74	36,90	10,60	14,55	27,50	65,00	1,55	61,82	29,82	8,41	0,12
H	0,5	Chapecó - SC	13,40	53,30	0,17	-	-	-	-	29,30	-	-	27,05	-	-	79,00	13,00	8,00	0,00
	1	Chapecó - SC	18,10	55,20	0,24	-	-	-	-	30,20	-	-	27,06	-	-	77,00	16,00	7,00	0,00
	1,5	Chapecó - SC	21,00	58,50	0,25	-	-	-	-	31,50	-	-	27,03	-	-	83,00	10,00	7,00	0,00
I	2	Chapecó - SC	16,40	54,60	0,20	-	-	-	-	30,60	-	-	26,95	-	-	84,00	13,00	3,00	0,00
	2,5	Chapecó - SC	20,90	64,10	0,25	-	-	-	-	30,80	-	-	27,09	-	-	84,00	11,00	5,00	0,00
	3	Chapecó - SC	16,00	67,30	0,20	-	-	-	-	30,80	-	-	27,37	-	-	79,00	14,00	7,00	0,00
J	3,5	Chapecó - SC	22,60	67,70	0,32	-	-	-	-	28,20	-	-	27,37	-	-	70,00	24,00	6,00	0,00
	4	Chapecó - SC	21,60	61,30	0,38	-	-	-	-	29,10	-	-	27,49	-	-	57,00	32,00	11,00	0,00
	Nat 1	Chapecó - SC	-	-	-	-	-	-	-	42,30	10,35	-	-	72,20	1,62	-	-	-	-
K	Nat 2	Chapecó - SC	-	-	-	17,00	-	28,40	-	41,40	10,68	-	-	74,40	1,53	-	-	-	-
	Nat 3	Chapecó - SC	-	-	-	-	-	-	-	41,30	10,21	-	-	69,00	1,65	-	-	-	-
	Inu 1	Chapecó - SC	-	-	-	-	-	-	-	41,60	9,66	-	-	63,70	1,80	-	-	-	-
L	Inu 2	Chapecó - SC	-	-	-	-	9,00	-	34,50	41,10	10,60	-	-	73,10	1,55	-	-	-	-
	Inu 3	Chapecó - SC	-	-	-	-	-	-	-	39,00	11,17	-	-	75,50	1,42	-	-	-	-
	Inu 4	Chapecó - SC	-	-	-	-	-	-	-	39,00	10,82	-	-	71,70	1,50	-	-	-	-
M	Único*	Pinhal - SC	32,00	65,00	-	-	-	-	-	-	-	-	28,46	-	-	-	-	-	-
	PF	Passo Fundo - RS	19,00	40,00	0,36	-	-	-	-	-	-	-	27,57	-	-	53,00	21,00	26,00	0,00
	Ere	Erechim - RS	15,00	62,00	0,24	-	-	-	-	-	-	-	27,27	-	-	62,00	22,00	16,00	0,00
N	C	Ijuí - RS	31,85	75,00	0,52	-	1,22	-	21,30	44,71	10,39	15,04	27,65	73,80	1,68	61,14	21,54	1,01	0,00
	D	Ijuí - RS	14,37	61,00	0,17	-	6,68	-	23,60	30,93	11,40	14,39	28,11	55,62	1,56	82,67	8,72	8,61	0,00
	E	Ijuí - RS	31,81	56,60	0,52	-	1,63	-	20,50	30,16	11,25	14,53	28,63	54,06	1,57	61,14	25,31	11,56	0,17
O	CB	Coronel Barros - RS	31,00	56,00	-	-	48,85	-	34,80	28,70	14,71	-	28,54	-	-	-	-	-	-
	A1	Erechim - RS	19,00	78,00	-	38,00	22,50	18,78	15,00	42,20	10,89	15,49	29,10	74,13	1,67	81,79	13,49	4,43	0,29
	A2	Erechim - RS	16,00	74,00	-	16,50	16,00	18,42	14,00	49,34	10,00	14,92	28,90	75,31	1,90	79,67	15,60	4,46	0,27
P	Único*	Erechim - RS	6,00	56,20	0,10	-	-	-	-	42,00	11,56	16,42	26,98	83,69	1,38	61,82	29,65	8,41	0,00
Q	Único*	Passo Fundo - RS	11,00	53,00	-	-	-	-	-	34,00	-	16,30	26,70	75,70	1,20	68,00	5,00	27,00	-
R	A	Ijuí - RS	11,97	59,00	0,14	47,00	15,80	19,90	24,14	34,53	10,21	13,74	28,52	55,50	1,79	85,00	10,00	5,00	0,00
	B	Ijuí - RS	20,63	81,00	0,25	56,50	38,90	22,58	23,17	37,30	10,74	14,75	29,04	64,00	1,71	82,25	11,50	6,25	0,00

*Obs.: Ponto único sem nomenclatura específica.

Fonte: Próprio autor

Os resultados que apresentaram um coeficiente de correlação e coeficiente de determinação, inferiores aos critérios propostos, estão destacados na Tabela 6.

Tabela 4 – Critério $R^2 > 0,5$.

(x , y)	R	Função	Equação	R^2
ϕ x % Areia	0,677	Poli. 2° Ord.	$y = 0.0512x^2 - 1.7681x + 21.036$	0,541
IA x c	-0,211	Poli. 2° Ord.	$y = -532.53x^2 + 322.28x - 20.873$	0,639
		Linear	$y = 0,6101x - 4,5371$	0,554
Sr x w	0,744	Exponencial	$y = 9,5499e0,0195x$	0,526
		Logarítmico	$y = 40,229\ln(x) - 132,4$	0,579
		Poli. 2° Ord.	$y = -0,0337x^2 + 5,0191x - 145,49$	0,652
		Linear	$y = 0,908x + 34,087$	0,554
w x Sr	0,744	Exponencial	$y = 39,34e0,0144x$	0,579
		Logarítmico	$y = 26,931\ln(x) - 28,901$	0,526
		Poli. 2° Ord.	$y = 0,0045x^2 + 0,6145x + 38,54$	0,555
		Linear	$y = -5,0386x + 18,904$	0,893
e x γ d	-0,945	Exponencial	$y = 21,227e-0,421x$	0,898
		Logarítmico	$y = -7,014\ln(x) + 14,092$	0,924
		Poli. 2° Ord.	$y = 3,3447x^2 - 14,547x + 25,455$	0,934
		Linear	$y = -0,1772x + 3,5124$	0,893
γ d x e	-0,945	Exponencial	$y = 6,6062e-0,132x$	0,924
		Logarítmico	$y = -2,131\ln(x) + 6,6649$	0,898
		Poli. 2° Ord.	$y = 0,008x^2 - 0,3716x + 4,6755$	0,898

Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 – Critério $R^2 < 0,5$ e R entre $\pm 0,4$ a $\pm 0,69$.

(x , y)	R	Função	Equação	R^2
Argila (%) x c	0,515	Poli. 2° Ord.	$y = -0.0897x^2 + 13.549x - 487.95$	0,427
Sr x γ d	0,475	Poli. 2° Ord.	$y = 0,0041x^2 - 0,6041x + 32,794$	0,295
γ d x c	0,482	Poli. 2° Ord.	$y = 1,0072x^2 - 21,991x + 134,95$	0,256
ϕ x e	-0,422	Logarítmico	$y = -0,258\ln(x) + 2,4455$	0,186
IP x ϕ	0,481	Poli. 2° Ord.	$y = -0,0033x^2 + 0,5099x + 14,859$	0,233

Fonte: Próprio autor.

Cabe ressaltar que as interações apresentadas nas Tabelas 5 e 6 obtiveram resultados inferiores a um R^2 de 0,5 somente abrangendo as equações do tipo lineares, exponenciais, logarítmicas ou polinomiais de 2° ordem, estando suscetíveis a apresentarem melhores resultados, sobre análise de equações de maior grau.

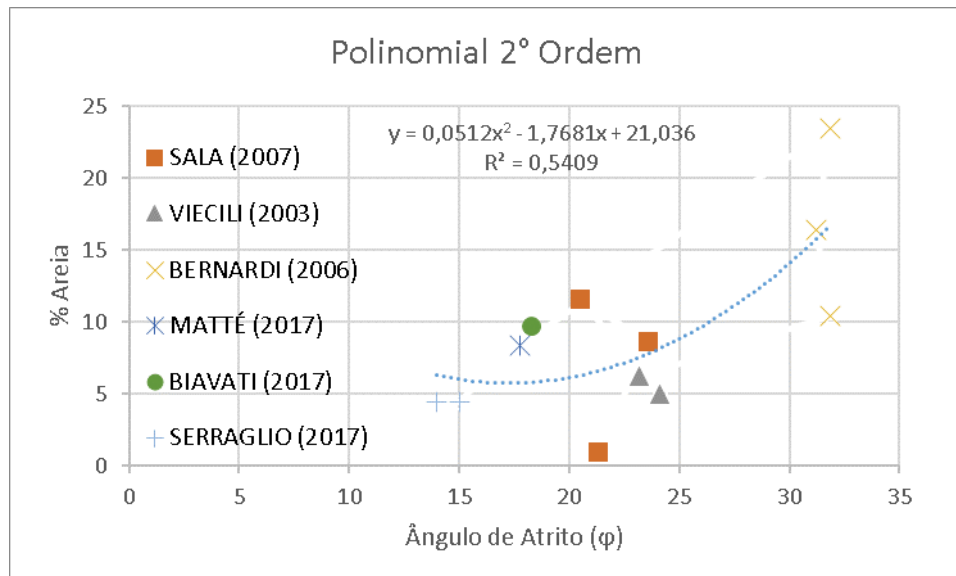
Tabela 6 – Critério $R^2 < 0,5$ e $R < \pm 0,4$.

(x , y)	R	Função	Equação	R ²
IP x LL	0,367	Logarítmico	$y = 6.1239\ln(x) + 43.7$	0,180
c x e	0,231	Poli. 2° Ord.	$y = -9E-05x^2 + 0,0063x + 1,5946$	0,063
LL x C	0,074	Poli. 2° Ord.	$y = 0.0821x^2 - 10.827x + 368.76$	0,179
c x IP	0,161	Poli. 2° Ord.	$y = 0.02x^2 - 0.8572x + 26.325$	0,287
c x Arg.+Sil. (%)	0,172	Logarítmico	$y = 1.5553\ln(x) + 85.438$	0,080
Sr x c	0,204	Poli. 2° Ord.	$y = -0,1128x^2 + 14,807x - 463,05$	0,242
c x W	0,232	Poli. 2° Ord.	$y = -0,0074x^2 + 0,2394x + 35,85$	0,116

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 2 observa-se que o comportamento das variáveis, ângulo de atrito pela porcentagem de areia, pode ser descrito através da utilização de uma equação polinomial de segunda ordem, desta forma obteve-se um R^2 de 0,541 e um coeficiente de correlação de 0,677. Percebe-se uma distribuição dos valores, um tanto homogênea em torno do ponto de amostragem para cada autor. De maneira geral os indicadores estatísticos tendem a predizer uma moderada afinidade entre as variáveis.

Figura 2 – Ângulo de Atrito x % Areia.

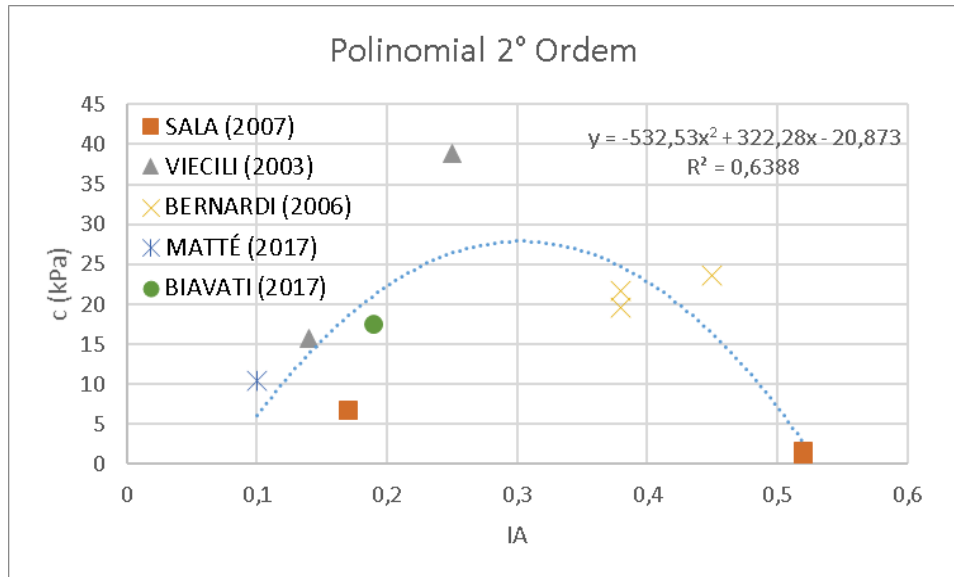


Fonte: Próprio autor.

Utilizando dos dados apresentados por cinco autores, a relação do índice de atividade dos solos pela coesão, apresenta sua curva de tendência com inicial crescimento e posterior declínio, separada por um ponto de inflexão de proporcionalidade. O comportamento proposto

através de uma função polinomial de segunda ordem obteve um R^2 de 0,639, apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Índice de atividade x Coesão



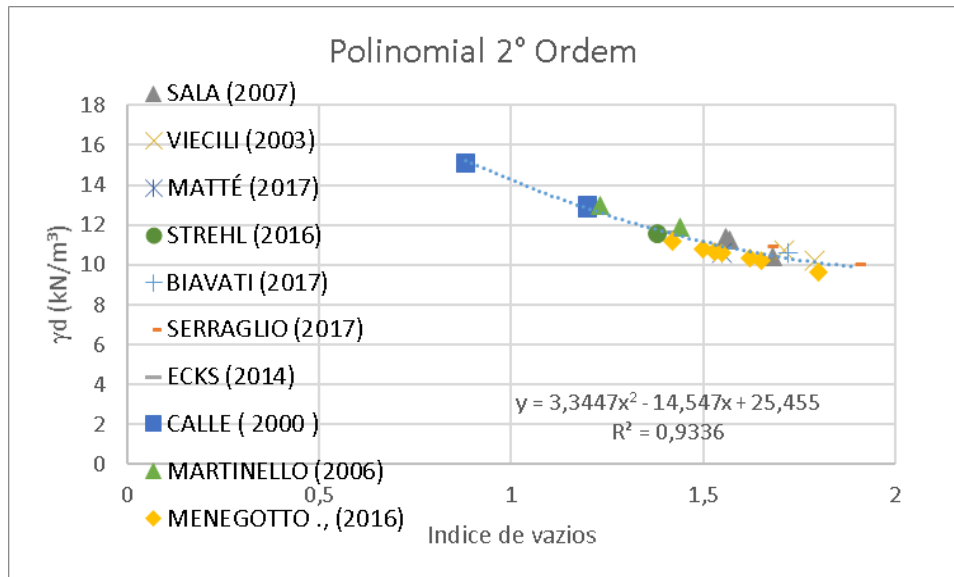
Fonte: Próprio autor.

A Figura 4 apresenta o resultado da interação da variável índice de vazios pelo peso específico seco. Sua linha de tendência, na faixa dos valores analisados obteve o melhor resultado, pela utilização de uma equação polinomial de segunda ordem. A mesma apresenta um comportamento de decréscimo do seu peso específico seco com o aumento do índice de vazios, gerando um R^2 extremamente satisfatório de 0,934, Boehl (2011) constatou comportamento semelhante para solos residuais de granito. Conjuntamente, seu coeficiente de correlação apresentou valor de -0,9450. Também se destacam as equações geradas pelo comportamento linear, logarítmico e exponencial para os dados analisados, apresentando pequenas diferenças no R^2 , conforme apresentados na Tabela 4.

Percebe-se na Figura 5 que a relação do grau de saturação com o teor de umidade, obteve como resultado mais expressivo um R^2 de 0,652, descrito por uma equação de 2º ordem, todavia questiona-se o comportamento proposto pela sua linha de tendência seja fisicamente possível, com seu final decréscimo do teor de umidade para com aumento da saturação. Concomitantemente ao se levar em conta o critério do valor mínimo satisfatório adotado de $R^2 > 0,5$, verifica-se na Tabela 3 que o mesmo também pode ser descrito pelo comportamento linear, exponencial e logarítmico. Apresenta na Figura 6 o comportamento exponencial proposto, que obteve R^2 de 0,579. Seu coeficiente de correlação apresenta valor de 0,744, enquadrando-se na classificação de Pearson como tendo forte correlação. Este valor

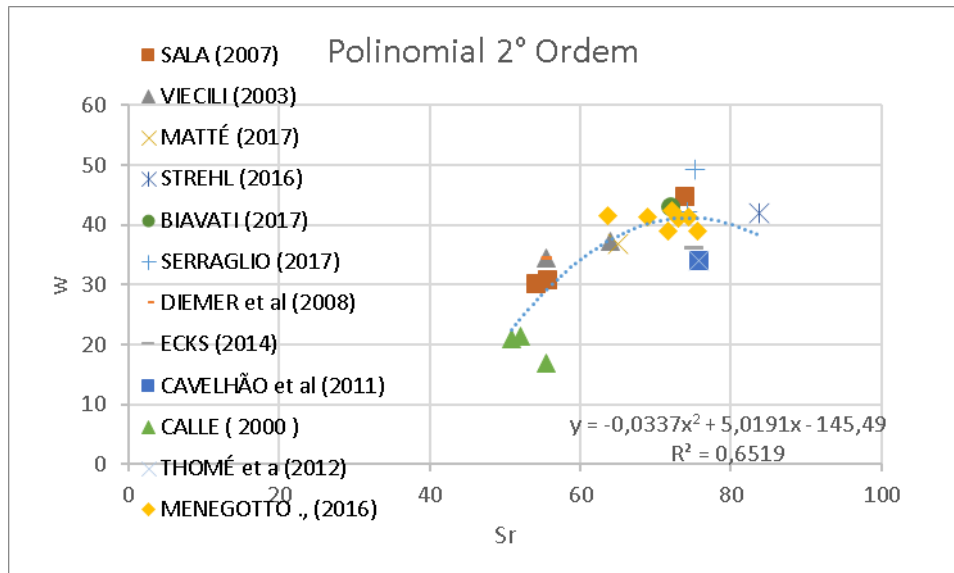
indica uma tendência a linearidade dos dados. Da mesma forma Boehl (2011) constatou mesma afinidade para solos de origem residual granítica, da região de Porto Alegre – RS e Florianópolis – SC.

Figura 4 – Índice de vazios x Peso específico seco.



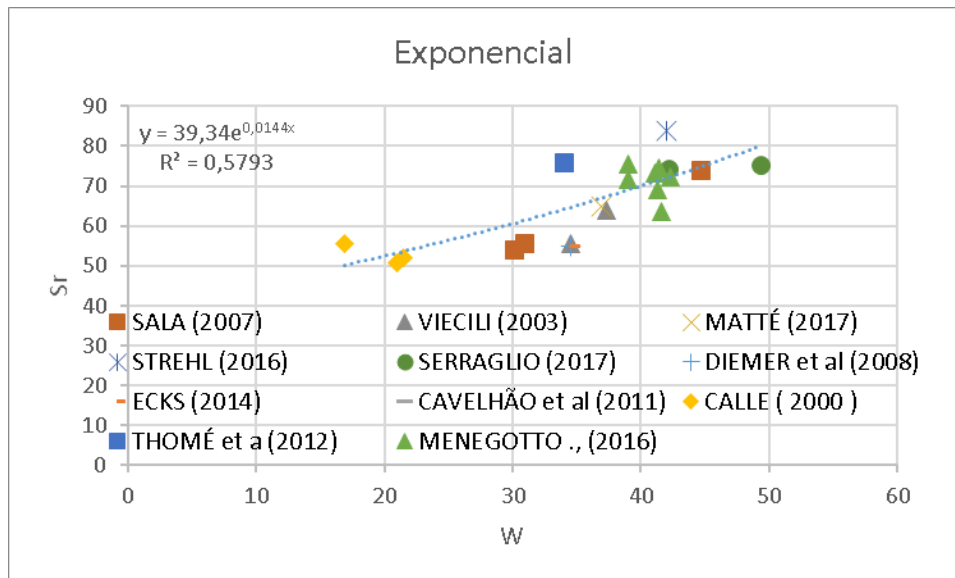
Fonte: Próprio autor.

Figura 5 – Grau de saturação x Teor de umidade, descrito pela equação de 2º ordem.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 – Grau de saturação x Teor de umidade, descrito pelo comportamento exponencial.



Fonte: Próprio autor

A equação proposta pelas correlações dos dados demonstrados nas Figuras 7, 8, 9 10 e 11 apresentaram coeficiente de determinação R^2 abaixo do valor considerado satisfatório, porém analisando-se o coeficiente de correlação apresentado na Tabela 5 o mesmo enquadrar-se na faixa considerada como de correlação moderada.

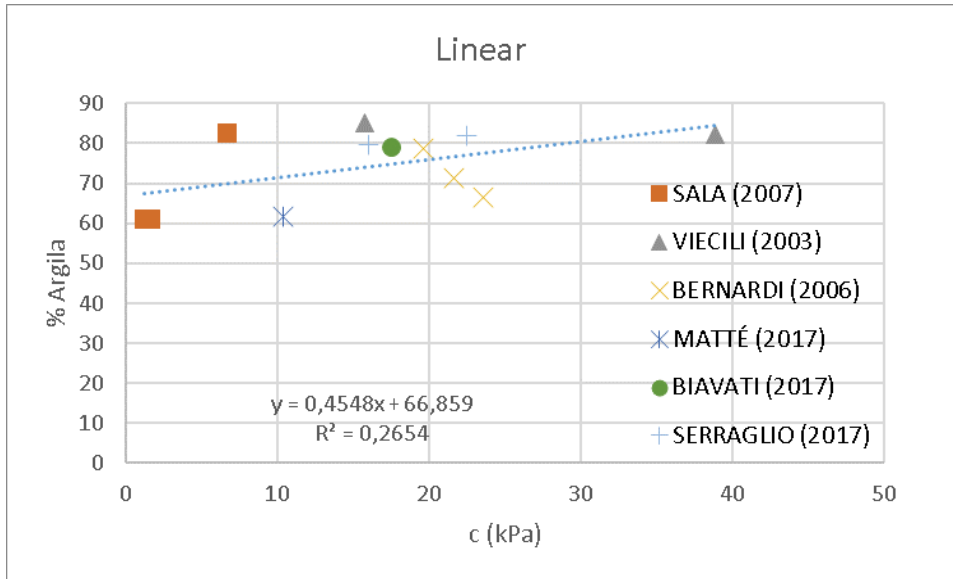
Com relação ao cruzamento entre a coesão e a fração de argila, apresentada na Figura 7 apesar de contraditório, tendo como referência o comportamento tradicional do modelo das argilas sedimentares, observa-se uma moderada correlação, obtendo-se um R 0,515, a linha de tendência, obtida, demonstra um leve acréscimo da coesão para com fração de argila.

A Figura 8 apresenta, tendência ao decréscimo do peso específico seco com o aumento grau de saturação. O seu valor de R -0,475, indica uma correlação moderada entre estes parâmetros.

Constata-se na Figura 9 a tendência do crescimento do peso específico seco com o aumento da coesão. Estes parâmetros apresentam um coeficiente de correlação moderado, indicado pelo valor de R 0,482, conforme classificação.

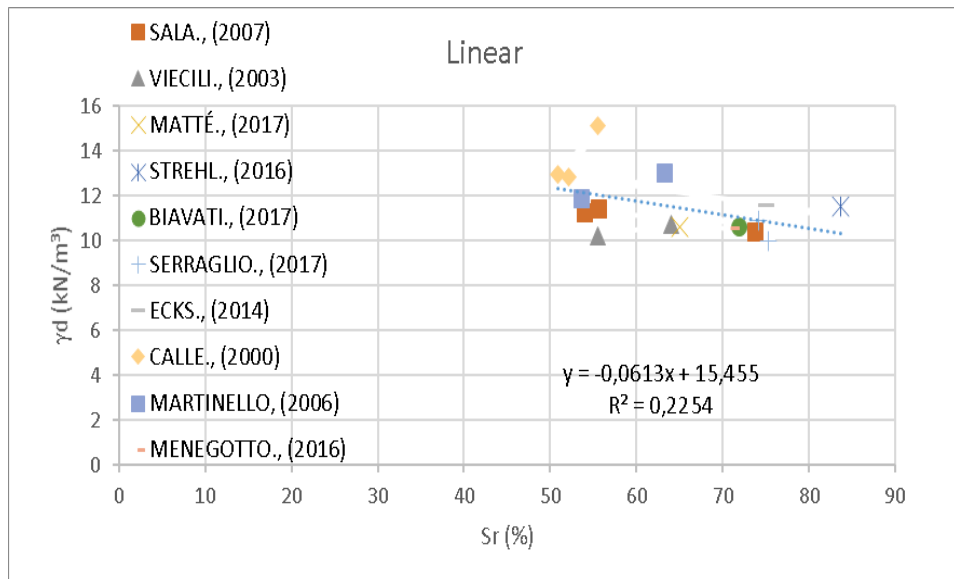
A Figura 10 descreve o cruzamento do índice de vazios em relação ao ângulo de atrito. Como resultado, esta interação apresenta, um coeficiente de correlação de -0,422. Verifica-se a tendência da diminuição ângulo de atrito para com o aumento do índice de vazios.

Figura 7 – Coesão x % Argila.



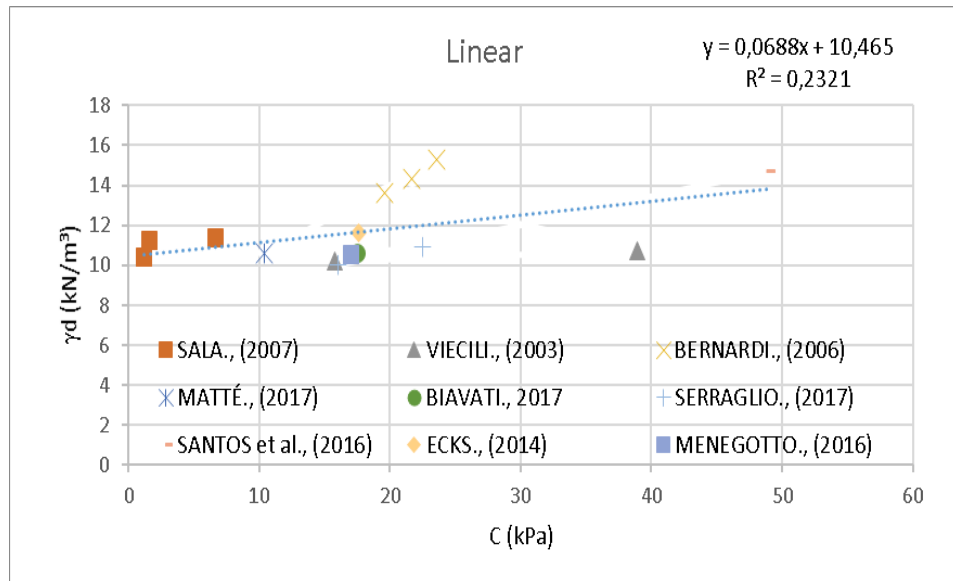
Fonte: Próprio autor.

Figura 8 – Grau de saturação x Peso específico seco.



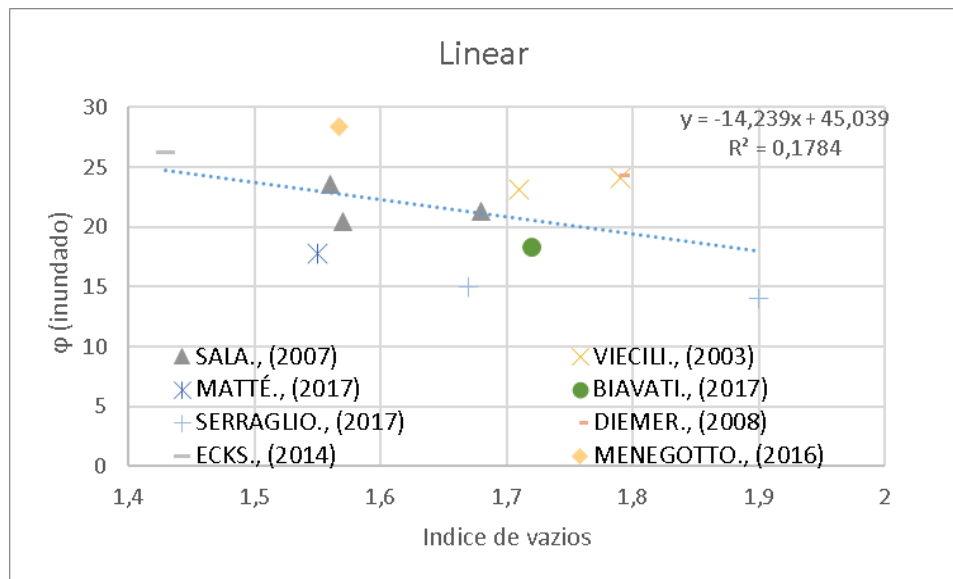
Fonte: Próprio autor.

Figura 9 – Coesão x Peso específico seco.



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 – Índice de vazios x Ângulo de Atrito.



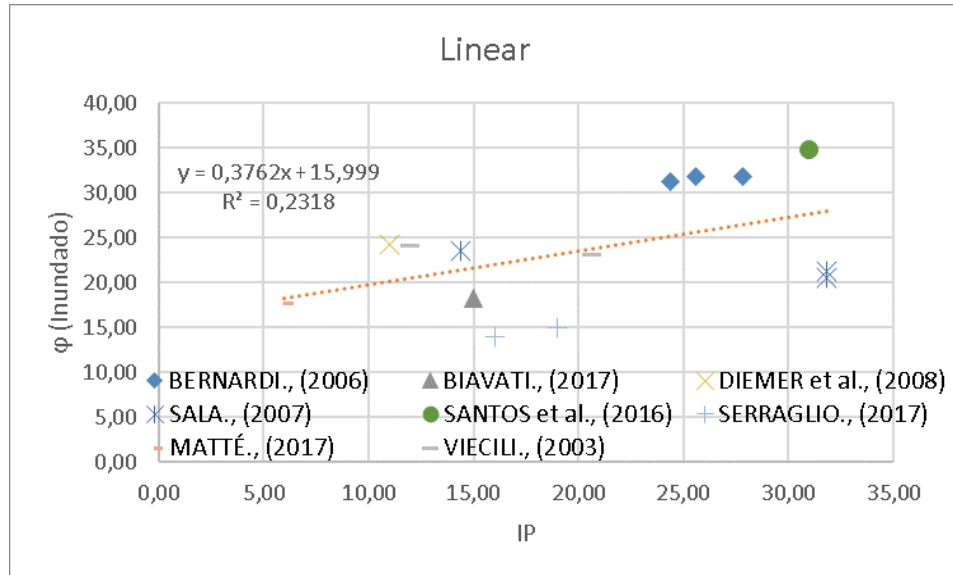
Fonte: Próprio autor.

Apresenta-se na Figura 11 a interação entre o ângulo de atrito e o índice de plasticidade. O seu valor de R 0,481, indica uma correlação moderada entre parâmetros. Destaca-se que sua interação, apresentou comportamento contraditório ao verificado por U.S Navy (1971) para as argilas normalmente adensada, em que o aumento do índice de plasticidade acarreta no decréscimo do ângulo de atrito.

Verifica-se na Figura 12 que com a supressão dos dados obtidos por Sala (2007), ocasiona um melhor ajuste tanto de seu coeficiente de correlação como de determinação,

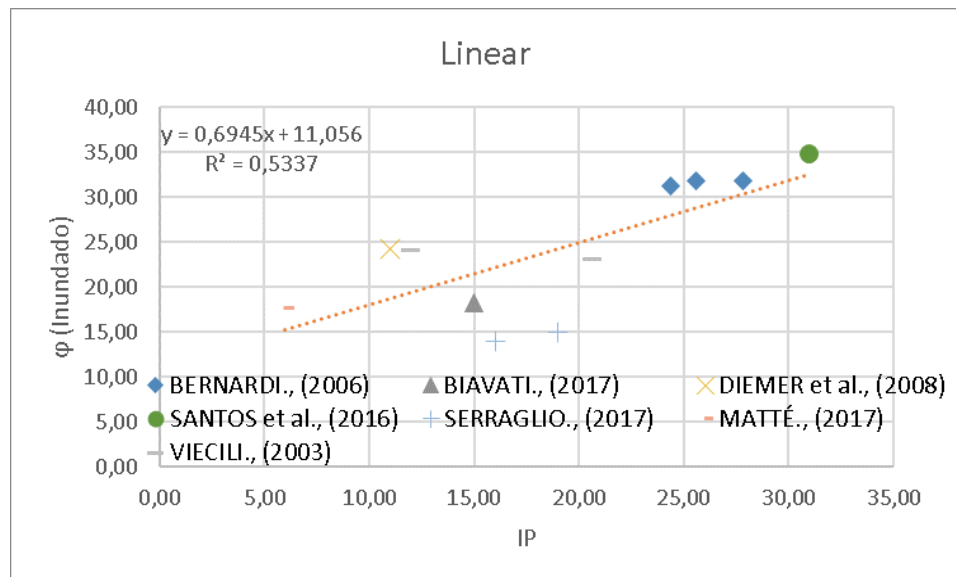
apresentam-se novos valores de R^2 0,534 e R 0,731.

Figura 11 – Índice de plasticidade pelo Ângulo de atrito inundado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Índice de plasticidade pelo Ângulo de atrito inundado, sem resultados discrepantes.

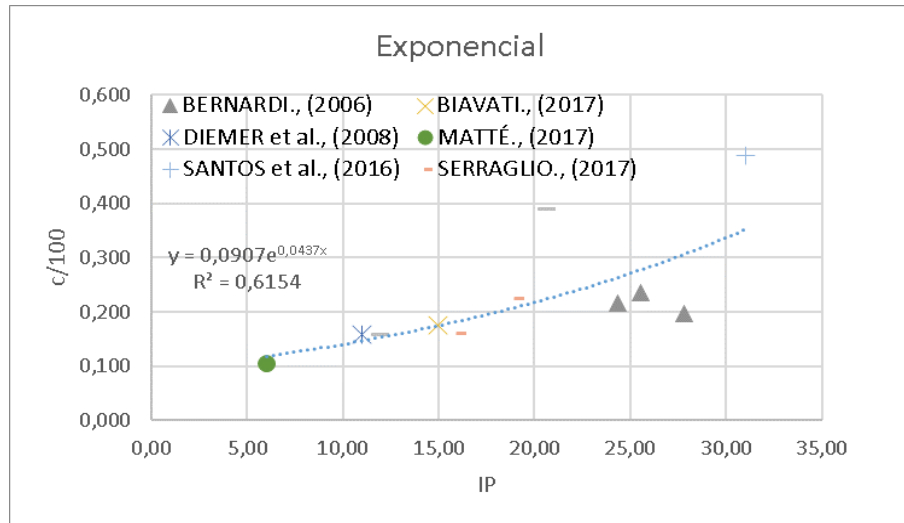


Fonte: Próprio autor.

Amplamente estudada a correlação empírica de Skempton (1957) aborda a relação da coesão pela pressão vertical efetiva de campo (100kPa), para com as argilas normalmente adensadas, em relação ao seu índice de plasticidade, apresenta-se na Figura 13, tal abordagem para os solos deste trabalho. Ajustou-se sua linha de tendência satisfatoriamente por uma equação exponencial, apresentado seu coeficiente de determinação R^2 0,615 e correlação R

0,704. Os resultados obtidos vão de encontro com os apresentados por Skempton (1957).

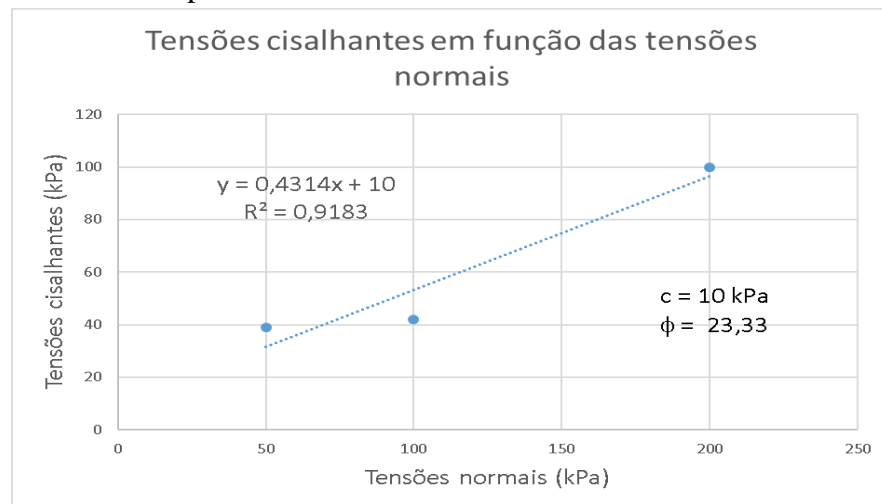
Figura 13 – Índice de plasticidade x Fator adimensional de Skempton.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 14 traz a reta de coulomb, obtida através do cisalhamento direto para o solo deste trabalho. Este apresentou os valores de coesão de 10 kPa e ângulo de atrito 23,33°.

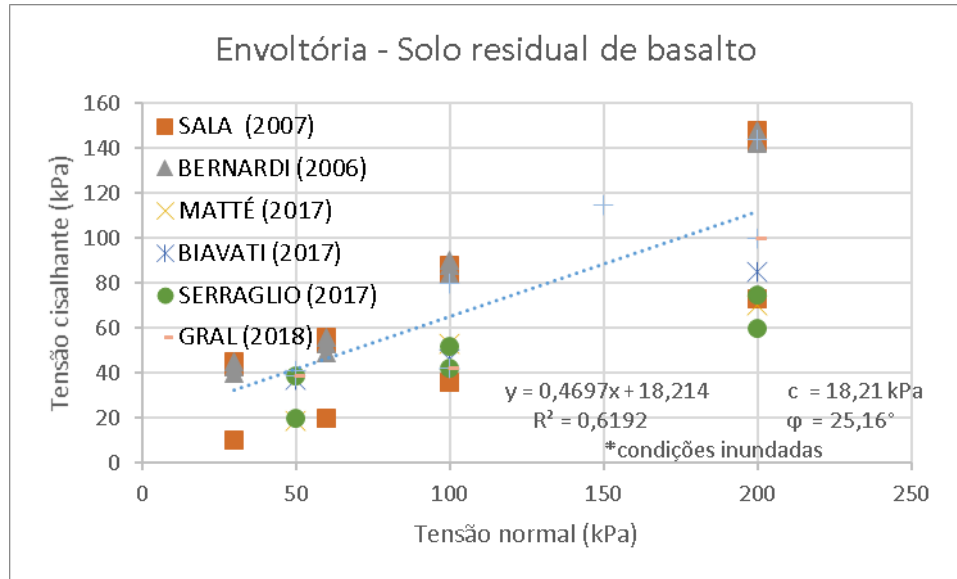
Figura 14 – Reta de Coulomb para o solo deste trabalho.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 15 apresenta, a reta de Coulomb, de forma genérica, extraída das tensões cisalhantes em função das tensões normais, sob condições inundadas, dos autores selecionados para este trabalho conjuntamente com os dados obtidos pelo autor. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento são: intercepto coesivo de 18,21 kPa e ângulo de atrito 25,16°.

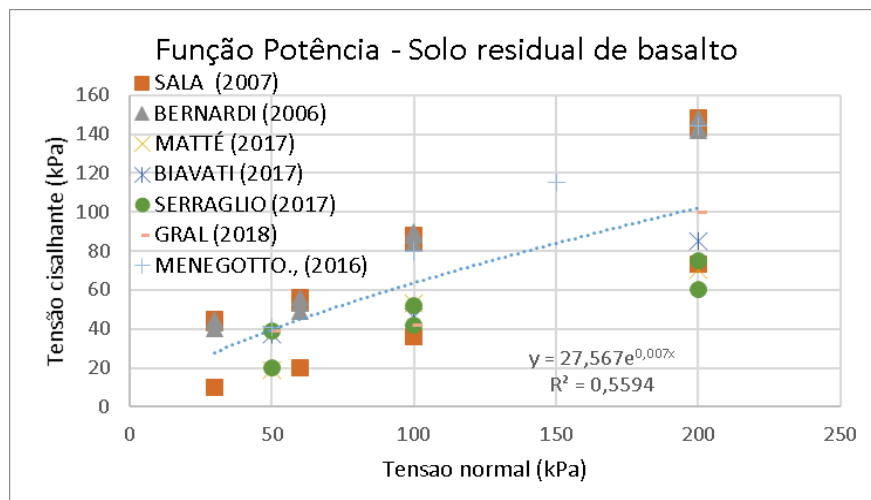
Figura 15 – Retas de Coulomb de todos solos do trabalho.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 16 apresenta-se uma diferente perspectiva do campo tensões cisalhantes em função das tensões normais. Para tal aplicou-se uma função potência, obtendo-se um R^2 de 0,5594. Este valor aproxima-se do obtido para função linear original da proposta de Coulomb. Nesta breve análise, observa-se que a aplicação de diferentes funções para a resistência ao cisalhamento, poderão suprir a falta da linearidade e homogeneidade dos solos residuais.

Figura 16 – Função potência aplicada as tensões cisalhantes *versus* tensões normais.



Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÕES

Para os solos em estudo, pode-se concluir que de maneira geral, os indicadores estatísticos tendem a predizer uma moderada afinidade entre o ângulo de atrito com relação a fração de areia, da mesma forma, pela análise gráfica a correlação da variável, índice de atividade pela coesão, apresentou uma inflexão de proporcionalidade, como comportamento. Observa-se uma relação, inversamente proporcional do peso específico seco com o índice de vazios, indicando uma tendência linear ao seu comportamento. Percebe-se existir uma tendência do acréscimo do teor de umidade com o aumento do grau de saturação, tanto descrito pelo coeficiente de determinação quanto de correlação. Apesar de contraditório, tendo como referência o comportamento tradicional do modelo das argilas sedimentares, verifica-se apenas ocorrer moderada correlação entre as variáveis, coesão e a fração de argila. Observa-se uma correlação moderada, tendendo ao decréscimo do peso específico seco com o aumento do grau de saturação. O peso específico seco, apresenta correlação moderada em relação a coesão, de outro modo, verifica-se uma tendência da diminuição ângulo de atrito para com o aumento do índice de vazios. Verifica-se existir um comportamento contraditório ao verificado por U.S Navy (1971) para a interação entre o ângulo de atrito e o índice de plasticidade. A relação da coesão pela pressão vertical efetiva de campo, com seu índice de plasticidade, vai de encontro com o comportamento verificado por Skempton (1957). Para o solo deste trabalho, utilizando o ensaio de cisalhamento direto sob condições inundadas e indeformadas, foram obtidos valores da coesão de 10 kPa e ângulo de atrito $23,33^\circ$. Através da investigação promovida, para reta de Coulomb genérica, utilizando-se todos os solos da pesquisa, obteve-se para o intercepto coesivo 18,21 kPa e para o ângulo de atrito interno de $25,16^\circ$. Observa-se que a aplicação de diferentes funções para a resistência ao cisalhamento, poderão suprir a falta da linearidade e homogeneidade dos solos residuais.

As análises gráficas foram realizadas de forma satisfatória, recomenda-se para trabalhos futuros, análises semelhantes utilizando um campo amostral mais abrangente, bem como aplicando uma análise multivariável.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento, Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- Bernardi, J. (2006) *Caracterização de jazidas de solo residual de basalto visando seu emprego em barragens de terra*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 159 p.
- Biavati, F. (2017) *Determinação e análise dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo residual de basalto do campus Erechim – RS em condições naturais e inundadas*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, 74 p.
- Bishop, A.W. (1972) Shear strength parameters for undisturbed and remolded soils specimens, London, 58 p.
- Boehl, P.E.G. (2011) *Algumas observações sobre as propriedades de solos estruturados derivados de granito da grande Florianópolis*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 227 p.
- Braga, F.V.A.; Robaina, A.D.; Peiter, M.X.; Nunes, M.S.; Pereira, T.S.; Rosso, R.B. (2014) Estimativa do ângulo de atrito interno do solo por meio de regressão linear múltipla, *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, V.8, n.4, p.41 – 45.
- Braida, J.A.; Reichert, J.M.; Reinert, D.J.; Soares, J.M.D. (2007) Coesão e atrito interno associados aos teores de carbono orgânico e de água de um solo franco arenoso, *Ciência Rural – Santa Maria*, V.6, n.6, p. 1646 – 1653.
- Calle, J.A.C. (2000) *Análise de ruptura de talude em solo não saturado*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 177 p.
- Cavelhão, G.; Meneghetti, L.R.R.; Reginatto, C.; Thomé, A. (2011) Bioventilação e biostimulação de solo residual de basalto contaminado com biodiesel, VI Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, Passo Fundo – RS, 9 p.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul na escala de apresentação 1:750.000, Porto Alegre, CPMR, 2006.
- Diemer, F.; Rambo, D.; Specht, L.P.; Pozzobon, C.E. (2008) Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS, *Revista Teoria de Prática na Engenharia Civil*, V.12, p. 25 – 36.
- Ecks, J. (2014) *Aplicação da teoria do equilíbrio-limite na análise de estabilidade de taludes: estudo de caso*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Geologia Bacharel, Universidade Federal de Santa Catarina, 70 p.

Goktepe, A.B.; Altun, S.; Altintas, G.; Tan, O. (2007) Shear strength estimation of plastic clays with statistical and neural approaches, *Journal of Building and Environment*, V.43, p. 849 – 860.

Hirata, S.; Yao, S.; Nishida, K. (1990) Multiple regression analysis between the mechanical and physical properties of cohesive soils, *Journal Soils and Foundations*, V.30, p. 91–108.

Ibañez, J.P. (2008) *Modelagem micromecânica discreta de solos residuais*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 395 p.

Karunaprema, K.A.K.; Edirisingh, A.G.H.J. (2002) Laboratory Study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, University Peradenya, Sri Lanka.

Maccarini, M. (1993) *Algumas considerações sobre a mecânica dos solos residuais*. Trabalho submetido como parte dos requisitos para participação de concurso para Professor Titular da Universidade Federal de Santa Catarina, 98 p.

Maccarini, M.; Teixeira, V.H.; Trichês, G. (1989) Bonding properties of a residual soil derived from diabase, *International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, V.1, p. 525 – 528.

Martinello, I.A. (2006) *Estudo das condicionantes hidráulicas de uma ruptura de talude em São Vedelino (RS)*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 160 p.

Matté, F. (2017) *Determinação preliminar dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de m solo residual do campus UFFS – Erechim/RS*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, 45 p.

McKyes, E.; Nyamugafata, P.; Nyamapfene, K.W. (1994) Characterization of cohesion, friction and sensitivity of two hard setting soils from Zimbabwe, *Soil & Tillage Research*, n.29, p. 357 – 366.

Menegotto, M.L.; Bandeira, F.O.; Morais, M.; Sartori, L. (2016a) Caracterização geotécnica do solo da área experimental da UFFS – *Campus* Chapecó, VI Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica, Chapecó – SC, 4 p.

Menegotto, M.L.; Bandeira, F.O.; Morais, M.; Sartori, L. (2016b) Caracterização geotécnica preliminar do solo da área experimental da UFFS – *Campus* Chapecó, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte – MG, 8 p.

Moreira, R (2014) *Estudo da capacidade de carga e recalque de solo residual de basalto*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 77 p.

Sachetti, A.S.; Rojas, J.W.J e Heineck, K.S. (2014) Caracterização geotécnica dos solos de Passo Fundo e Erechim, e geologia da rocha de Passo Fundo, *Revista de Engenharia Civil IMED*, V. 1, p. 11-17.

Sala, M. (2007) *Caracterização do solo residual de basalto encontrado na zona urbana do município de Ijuí visando seu emprego em estudo de fundações*, TCC (Graduação), Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 148 p.

Santos, T.A.; Pinheiro, R.; Specht, L.P. (2016) Caracterização física e mecânica de solos usualmente empregados em subleitos rodoviários no Rio Grande do Sul, congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte, 9 p.

Serraglio, T.R. (2017) *Determinação de parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo de Erechim/RS a partir do ensaio de cisalhamento direto e avaliação da resistência através da teoria de Terzaghi*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Civil, Departamento de engenharias e ciência da computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 69 p.

Skempton, A.W. (1954) Discussion on The Structure of Inorganic Soils, American Society of Civil Engineers – ASCE, V.80, n.478, p. 19 – 22.

Strehl, M.J. (2016) *Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo do campus Erechim – RS através dos ensaios de compactação tipo proctor*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, 47 p.

Thermann, K; Gau, C.; Tiedemann, J. (2006) Shear strength parameters from direct shear tests influencing factors and their significance, The Geological Society of London, p. 215 – 222.

Thomé, A.; Reginatto, C.; Cecchin, I.; Colla, M.L. (2012) Atenuação natural em solo residual de basalto contaminado com misturas de diesel e biodiesel, *Jornal Ciência e Engenharia*, V. 2, n.2, p. 35 – 40

U.S Navy. (1971) *Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures*, NAVFAL Sedign Manual DM-7, Washington, DC.

Viecili, C. (2003) *Determinação dos parâmetros de resistência do solo de Ijuí a partir do ensaio de cisalhamento direto*, Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 76 p.