

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EDIANE CRISTINA DALEFFE SCALABRIN

**ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO E O
FATOR DE SEGURANÇA NO PERÍMETRO URBANO DE FRANCISCO BELTRÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2019

EDIANE CRISTINA DALEFFE SCALABRIN

**ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO E O
FATOR DE SEGURANÇA NO PERÍMETRO URBANO DE FRANCISCO BELTRÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sheila Regina Oro

FRANCISCO BELTRÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Campus Francisco Beltrão
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Especialização em Métodos Matemáticos
Aplicados



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização

ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO E O FATOR DE SEGURANÇA NO PERÍMETRO URBANO DE FRANCISCO BELTRÃO

por

EDIANE CRISTINA DALEFFE SCALABRIN

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado às 10 horas do dia 26 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Métodos Matemáticos Aplicados, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Francisco Beltrão. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Avaliadora composta pelos professores que abaixo assinam este Termo. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho - **aprovado**.

SHEILA REGINA ORO

Professor(a) Orientador(a)

NAIMARA VIEIRA DO PRADO

Membro da Banca

MEIRE CRISTINA FUGIHARA

Membro da Banca

Prof. Vilmar Steffen

Responsável pela Coordenação do CEMMA
Curso de Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados

A FOLHA DE APROVAÇÃO ORIGINAL (ASSINADA) ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS.

Dedico este trabalho aos sábados, domingos e feriados dedicados a concretização desta etapa em minha vida. Que sejam alguns degraus da escada do sucesso, a qual nos faz ir adiante e alcançar nossos objetivos.

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro do universo, que calculou com precisão como assoprar sua poeira cósmica para estarmos aqui.

Ao meu consorte Marlon, por me submergir para este curso, e não me fazer deixar de pertencer a UTFPR, novamente como aluna.

A minha orientadora professora doutora Sheila Regina Oro, pelos concelhos, conversas, direcionamentos, e por dividir comigo seus conhecimentos e confiar que este trabalho poderia dar certo.

Aos professores do curso de pós-graduação em métodos matemáticos aplicados por dividirem seus conhecimentos e tempos de descanso conosco.

Aos colegas de jornada, de listas, de estudos, de lanches, de cafés (algumas vezes mal) passados e feijoadas.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas”

- Carl Sagan.

“Não vemos as coisas como elas são, mas como nós somos.”

- Anais Nin.

RESUMO

DALEFFE, Ediane Cristina. **Estudo das relações entre as características físicas do solo e o fator de segurança no perímetro urbano de Francisco Beltrão**. 2019. 73p. Monografia (Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

Este trabalho buscou analisar as relações entre as características físicas do solo e o fator de segurança quanto a estabilidade de taludes no perímetro urbano de Francisco Beltrão, Paraná. Foram elencadas as características físicas do solo: limite de liquidez, limite de plasticidade, peso específico e velocidade básica de infiltração. Foram realizadas coletas de amostras do solo em vinte e quatro pontos distribuídos no perímetro urbano, realizado análises *in loco* ou em laboratório, para obtenção dos dados. A análise dos dados foi realizada com o auxílio do software R, aplicando as análises de correlação de Pearson, gráficos estatísticos, componentes principais e agrupamento. Os resultados indicaram que há correlação entre o limite de liquidez do solo como o e o fator de segurança, além de apontar correlação entre o limite de plasticidade e o peso específico do solo.

Palavras-chave: Análise multivariada. Correlação. Mecânica dos solos. Fator de Segurança. Estabilidade de taludes.

ABSTRACT

DALEFFE, Ediane Cristina. **Relationship Study of Soil Physical Characteristics and the Safety Factor in Francisco Beltrão's Urban Perimeter**. 2019. 73p. Monograph (Specialization in Applied Mathematical Methods) – Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2019

This work aims to analyze the relationship between soil physical characteristics and safety factor concerning slope stability. Physical characteristics of the soil were listed: liquidity limit, plasticity limit, specific weight and basic infiltration velocity. The study was carried out in the urban perimeter of the city of Francisco Beltrão, Paraná state, where soil samples were collected at twenty-four points distributed in the urban perimeter, performed in loco or laboratory analysis to obtain the data. Data analysis was performed with R software, applying Pearson's correlation analysis, statistical graphs, principal components analysis and clustering. The results indicates that there is a correlation between the physical characteristics of the soil and the safety factor.

Keywords: Multivariate analysis. Correlation. Soil mechanic. Safety factor. slope stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo metodológico.	24
Figura 2 - Localização Município de Francisco Beltrão na mesorregião e no Estado do Paraná.	26
Figura 3 - Representação da localização do Perímetro Urbano da cidade de Francisco Beltrão - PR.	27
Figura 4 – Localização dos pontos de coleta de solo, apresentado sobre a imagem de satélite.	30
Figura 5 - Localização dos pontos de Análise do Solo, em relação ao perímetro urbano de Francisco Beltrão.	31
Figura 6 – Gráfico de dispersão, gráfico da distribuição empírica e valores da correlação de Pearson entre as variáveis.	37
Figura 7 – Dispersão das variáveis em relação às duas primeiras componentes principais (PCA).	39
Figura 8 – Dendograma da análise de agrupamento tipo cluster, em relação aos locais estudados.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade de infiltração.	15
Tabela 2 – Classificação das encostas quanto a estabilidade do terreno	18
Tabela 3 – Coordenadas centrais de localização geográfica da cidade de Francisco Beltrão.	25
Tabela 4 - Ensaio realizados e Metodologia empregada.	28
Tabela 5 – Dados físicos e do fator de segurança do solo para cada ponto estudado, utilizados para análise de relações.	32
Tabela 6 – Teste de correlação de Pearson entre as análises físicas do solo e o fator de segurança.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	LIMITES DE CONSISTÊNCIA	14
2.2	PESO ESPECÍFICO	15
2.3	VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO	15
2.4	O CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA	16
2.5	AS CORRELAÇÕES	18
2.5.1	Análise de Componente Principal	20
2.5.2	Análise de Agrupamento	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	CARACTERÍSTICAS DO SOLO	28
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICE A – RESULTADO DO TESTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON.	47
	APÊNDICE B – TESTE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.	64
	APÊNDICE C – TESTE DE GRUPAMENTO CLUSTER.	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As mudanças climáticas sempre foram fatores determinantes para moldar a história, pois elas podem alterar uma paisagem histórica ou destruir uma civilização. Os custos econômicos e ambientais para mitigar essas mudanças são muito inferiores ao custo de adaptação a um planeta mais quente (VECCHIA, 2010).

Com uma taxa de crescimento populacional de 1,60% ao ano, nos últimos nove anos na cidade de Francisco Beltrão (IBGE, 2019), surgiu a necessidade de ocupação do solo em áreas mais abrangentes, onde a declividade e o tipo de solo podem não ser adequados para este uso.

O processo de expansão urbana geralmente ocorre de forma desordenada, principalmente por falta de planejamento urbano, como o estudo prévio das características da área para criação do Plano Diretor para desenvolvimento do município, e delimitação de áreas para ocupação urbana de forma ordenada e segura, tanto para a população quanto para o meio ambiente. (MOTA, 2003).

Na área urbana da cidade de Francisco Beltrão existem problemas quanto a ocupação de áreas não propícias, como planícies de inundação de rios e áreas de elevada declividade. (ANDRES, 2015).

A Defesa Civil do município de Francisco Beltrão considera os riscos ambientais para a cidade sendo: deslizamentos, alagamentos, inundações, granizo, vendavais e tempestades, onde os movimentos de massa são os eventos com ocorrência mais recente no município, datando novembro de 2015 (SMDC-FB, 2018).

Cavazini, (2017), em seu estudo considerou os desastres naturais registrados para a cidade de Francisco Beltrão no período de 2005 a 2016, e os relacionou com os aspectos físicos dos pontos de ocorrência. Os deslizamentos ocuparam o posto de quarto lugar entre os desastres naturais mais frequentes no período do estudo, sendo estes mais frequentes em áreas de elevada altitude e declividades médias.

Tais problemas são provocados principalmente pelo crescimento urbano desordenado e ocasionando a ocupação urbana mal planejada ou não embasada em estudo geotécnico.

Na cidade de Francisco Beltrão, o plano diretor foi revisado e reestruturado recentemente com publicação em 2018, junto a Lei nº 4594, de 28 de agosto de 2018, visando minimizar os problemas de ocupação urbana, onde até então não eram consideradas diversos fatores como a declividade do terreno, o tipo de solo e o tamanho dos lotes para o parcelamento de solos urbanos (loteamentos), além de segregar o perímetro urbano em áreas de ocupação, bem como dar um direcionamento a esta ocupação.

Desta maneira, o presente estudo busca uma contribuição para entender a relação entre algumas características físicas do solo e o Fator de Segurança, índice que mede a possibilidade de movimentos de massa, de forma que o mesmo possa contribuir para futuras metodologias simplificadas de análise deste índice.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a relação entre algumas características físicas do solo em relação ao fator de segurança quanto a estabilidade de taludes, no perímetro urbano da cidade de Francisco Beltrão – Paraná.

1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar as correlações entre: o limite de liquidez e limite de plasticidade do solo em relação ao fator de segurança; peso específico do solo, tanto o natural quanto o saturado em relação ao fator de segurança; a velocidade básica de infiltração – VBI em relação ao fator de segurança.

Realizar a análise de componentes principais entre as características físicas do solo e o fator de segurança.

Realizar análise de agrupamento tipo Cluster com as características do solo dos pontos de coleta de dados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os limites de consistência, também conhecidos como limites de Atterberg, variam em função da quantidade de água presente no solo, o qual pode assumir os estados de consistência: líquido, plástico, semissólido e sólido. Tais limites trazem como resultado para a mecânica dos solos, como sendo a propriedade que o solo possui de suportar deformações rápidas sem sofrer variação volumétrica significativa, e sem fissurar, sendo este o conceito de plasticidade definido na ABNT – NBR 7.250/82.

Segundo Fiori e Carmignani (2009) e Souza (2000), a plasticidade do solo é a propriedade de solos finos, entre largos limites de umidade, de se submeterem a grandes deformações permanentes sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação de volume apreciável. Ou seja, quanto maior o teor de umidade do solo, menor a resistência mecânica dele. O estado líquido do solo se caracteriza com a ausência de resistência ao cisalhamento do solo, o qual se apresenta líquido (tipo lama).

Ao perder umidade, o solo passa a possuir comportamento plástico, de forma que o mesmo se deforma com pouca variação volumétrica e sem apresentar fissuras. Ao continuar o processo de perda de água, o solo se torna semissólido, onde passa a apresentar fissuras (tornar-se quebradiço).

O teor de umidade que define a passagem de um estado de consistência do solo para o outro são os limites de consistência, sendo estes definidos por Fiori e Carmignani (2009) e Souza (2000):

- ✓ Limite de Liquidez (LL): é definido como sendo a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico. É o limite de umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo.
- ✓ Limite de Plasticidade (LP): é definido como sendo a umidade em que o solo deixa de ser plástico tornando-se quebradiço. É a umidade de transição entre o estado plástico e semissólido do solo.
- ✓ Limite de Contração (LC): representa o teor de umidade de transição do solo entre o estado semissólido e sólido do solo.

2.2 PESO ESPECÍFICO

O peso específico do solo nada mais é do que a relação entre o peso total do solo e seu volume. É uma característica física de pouca variação, porém, trata-se da única análise física de caracterização do solo utilizada na fórmula de cálculo do fator de segurança (conforme apresentado no tópico 2.4 na sequência) (SOUZA, 2002).

2.3 VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO

A permeabilidade do solo é analisada com base em testes de infiltração de água no solo, a qual consiste na passagem de água pelo solo preenchendo os vazios entre as partículas antes ocupados por ar.

Esta característica do solo é influenciada por diversos fatores como a textura do solo, a massa específica, a porosidade, a composição das argilas, a capacidade de retenção de água, a condutividade hidráulica e a umidade.

A infiltração de água no solo tende a ser mais rápida no início pois o solo não está saturado e a pressão de sucção do solo ainda existe. À medida que este vai saturando a pressão irá diminuir, diminuindo também a velocidade de infiltração (BERNARDO *et al*, 2006). A infiltração é medida durante o tempo necessário para que a taxa de infiltração se estabilizasse apresentando uma velocidade constante. O tempo do ensaio varia para cada ponto amostrado conforme a umidade encontrada, a classe de solo, a profundidade do solo e a textura diferentes.

A partir desse ensaio tem-se a Velocidade Básica de Infiltração – VBI a qual pode ser definida em cm/h ou em mm/h, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Velocidade de infiltração.

Tipo de infiltração	VBI (mm/h)
Muito alta	>300
Alta	150 – 300
Média	50 – 150
Baixa	< 50

Fonte: Bernardo *et al* (2006).

O conhecimento da taxa de infiltração de água no solo é importante para a definição de diversas técnicas de conservação do solo, bem como auxiliar na composição de uma situação real da retenção de água que ocorre no solo (GODIN, *et al.*, 2010).

Os solos argilosos bem estruturados tendem a possuir menores taxas de infiltração do que os solos que se apresentam com estrutura instável, visto que sofrem dispersão quando são umedecidos, isto é ocasionado pelos agentes cimentantes representados pela matéria orgânica, óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Dessa forma, quanto maior for a quantidade de agentes cimentantes no solo maior é a possibilidade de o solo se apresentar com estrutura mais estável (SHAINBERG & LEVY, 1995; SILVA & KATO, 1997 *appud* FAGUNDES, 2012).

2.4 O CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA

Para a realizar do cálculo do fator de segurança em uma determinada área faz-se necessária a existência de uma base de dados espaciais, com informações georreferenciadas extensa e completa referente a região analisada com dados como:

- ✓ Declividade da área;
- ✓ Classes de solo;
- ✓ Características físicas do solo: peso específico (natural e saturado), ângulo de atrito, coeficiente de coesão;
- ✓ Uso e Ocupação do Solo (existência de árvores e suas características).

Além disto, é necessária a modelagem destes dados em um Sistema de Informações Geográficas – SIG, o que requer mão de obra com conhecimentos específicos voltados a área de geotecnia e mecânica dos solos.

O valor do fator de segurança é obtido a partir de álgebra de mapas, onde são correlacionados os mapeamentos temáticos do terreno (declividade, uso e ocupação do solo, tipo de solo) e as análises físicas (peso específico e profundidade do solo) e mecânicas do solo (coeficiente de coesão, ângulo de atrito).

Pode-se, ainda, considerar o peso da vegetação, o vento atuando sobre uma encosta, a direção do vento e a direção da encosta, o que gera quatro fórmulas para o cálculo do fator de segurança (TABALIPA, 2008), sendo elas:

- ✓ Fator de segurança considerando a vertente natural sem a influência da vegetação:

$$F_S = \frac{(C_s) + [Z \cdot \gamma_{nat} \cdot \cos^2(i)] \cdot \text{tg}(\phi)}{[(Z \cdot \gamma_{nat}) \cdot \text{sen}(i)] \cdot \cos(i)} \quad (01)$$

- ✓ Fator de segurança considerando a vertente saturada sem a influência da vegetação:

$$F_S = \frac{(C_s) + [Z \cdot (\gamma_{sub} - \gamma_a) \cdot \cos^2(i)] \cdot \text{tg}(\phi)}{[(Z \cdot \gamma_{sub}) \cdot \text{sen}(i)] \cdot \cos(i)} \quad (02)$$

- ✓ Fator de segurança considerando a vertente natural e com a influência da vegetação:

$$F_S = \frac{(C_s + S_r) + [(Z \cdot \gamma_{nat} + P_a) \cdot \cos^2(i) + T \cdot \text{sen}(\theta)] \cdot \text{tg}(\phi) + T \cdot \cos(\theta)}{[(Z \cdot \gamma_{nat} + P_a) \cdot \text{sen}(i) + F_{ve}] \cdot \cos(i)} \quad (03)$$

- ✓ Fator de segurança considerando a vertente saturada e com a influência da vegetação:

$$F_S = \frac{(C_s + S_r) + [(Z \cdot \gamma_{sub} + P_a) \cdot \cos^2(i) + T \cdot \text{sen}(\theta)] \cdot \text{tg}(\phi) + T \cdot \cos(\theta)}{[(Z \cdot (\gamma_{sub} + \gamma_a) + P_a) \cdot \text{sen}(i) + F_{ve}] \cdot \cos(i)} \quad (04)$$

Onde:

F_s – fator de segurança (adimensional);

C_s – coesão do solo (kPa);

S_r – contribuição das raízes (kPa);

Z – distância do topo da vertente até a superfície potencial de escorregamento (m);

γ_{sub} – peso específico do solo submerso (kN/m³);

γ_{nat} – peso específico do solo natural (kN/m³);

γ_a – peso específico da água (kN/m³);

P_a – peso das árvores (kN/m³);

F_{ve} – força de arrasto do vento (kN);

- ϕ – ângulo de atrito com o solo (graus);
 i – inclinação da vertente (graus);
 T – tensão das raízes (kPa);
 θ – ângulo das raízes (graus).

Com essa relação pode-se estabelecer áreas de risco de movimento de massa, principalmente em encostas e vertentes, as quais são classificadas como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das encostas quanto a estabilidade do terreno

Intervalo do Fator de Segurança	Diagnóstico
$0 < F_s < 1,5$	Instabilidade
$1,5 < F_s < 2$	Estabilidade Crítica
$2 < F_s < 3$	Boa Estabilidade
$3 < F_s < 4$	Alta Estabilidade
$4 < F_s < 10$	Excelente Estabilidade

Fonte: Adaptado de Tabalipa (2008).

Desta forma, este processo se torna oneroso, e de difícil acesso a prefeituras, por exemplo, que poderiam utilizar informações como estas para elaboração de plano diretor ou legislações de uso e ocupação do solo visando a segurança da população e a conservação ambiental.

2.5 AS CORRELAÇÕES

A correlação é uma relação estatística (causal ou não causal) entre variáveis denotando uma forte dependência estatística entre elas (BUSSAB, 2010). Esta dependência é caracterizada por a alteração do valor de uma variável provocar a alteração do valor de outra variável, todavia a correlação não implica causalidade (COOPER, 2016).

Existem situações em que, apesar de pares de variáveis apresentarem forte dependência estatística, sua correlação é nula. A medida do grau de

relacionamento/associação entre duas variáveis é denominada Coeficiente de Correlação (LIRA, 2004).

São várias as formas de correlação entre variáveis, sendo a mais conhecida a correlação simples entre duas variáveis, que pode ser linear ou não linear.

O coeficiente de correlação linear de Pearson, um dos mais utilizados, é obtido pela divisão da covariância de duas variáveis pelo produto dos seus desvios padrão (MARTINS, 2014). Este é utilizado apenas para a análise de correlação linear entre as variáveis.

Esta correlação realiza a análise de dados amostrais verificando uma relação de dependência linear entre duas variáveis (RODGERS, 1988), medindo a direção e o grau com que um par de variáveis se associam linearmente em uma amostra. Este grau de relacionamento entre as variáveis fornece um valor adimensional (r) que indica como as variáveis variam conjuntamente.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x'_i y'_i)}{n-1} \quad (05)$$

Ao analisar o valor r , é possível chegar a algumas conclusões:

- ✓ Se r próximo de 0, indica uma fraca correlação linear ou uma correlação não linear;
- ✓ Se r próximo de -1, indica uma correlação linear negativa, isto é, quando um cresce o outro decresce.
- ✓ Se r próximo de 1, indica uma correlação linear positiva, isto é, quando um cresce o outro também cresce.

Quando a análise envolve grande número de variáveis e há interesse em conhecer a correlação duas a duas, obtém-se uma matriz de correlações. Na análise multivariada o objetivo é distinguir entre populações ou classificar uma nova observação em uma das populações (GRIMNES & MARTINSEN, 2015). Ela parte do pressuposto de que existem correlações entre as variáveis observadas.

Quanto maior a influência dos fatores comuns, maior a correlação entre as variáveis (OLKIN & SAMPSON, 2001).

A análise multivariada fornece um conjunto de técnicas usadas para análise de conjuntos de dados que contêm mais de uma variável buscando correlacioná-las para extração, regressão ou classificação de informações (GRIMNES & MARTINSEN, 2015).

2.5.1 Análise de Componente Principal

A forma mais simples de extração de informações de um grande número de variáveis e redução de dados é a técnica de Análise de Componentes Principais (Principal Components Analyze - PCA), apresentada pela primeira vez por Pearson (1901).

Esta análise tem como objetivo condensar a informação contida nas variáveis originais em um conjunto menor de variáveis com uma perda mínima (HAIR *et al*, 2005). Assim, as amostras são projetadas no plano dado pelos componentes principais PC1 e PC2.

O PCA é matematicamente definido como uma transformação linear ortogonal que transforma os dados em um novo sistema de coordenadas composto por variáveis não linearmente correlacionadas, em direções perpendiculares, denominadas componentes principais. (GRIMNES & MARTINSEN, 2015). Na Equação 06 é aplicado o teorema da decomposição espectral aproximando valores para as p primeiras componentes principais.

$$\sum_{p \times p} = \sum_{j=1}^p \lambda_j e_j e_j' \quad (06)$$

Analogamente pode ser representada por um sistema de combinações lineares de \mathbf{X} , constituído por p equações como a Equação 07.

$$PCA_i = a'_i X = a_{i1} X_1 + a_{i2} X_2 + \dots + a_{ip} X_p, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (07)$$

Assim, tem-se as condições estabelecidas pelas Equações 08 e 09.

$$Var(PCA_i) = a'_i \sum_{p \times p} a_i \quad (08)$$

$$Cov(PCA_i, PCA_j) = a'_i \sum_{p \times p} a_j, \quad i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, p \quad (09)$$

Devido a forma como é construído, a primeira componente principal se torna a mais representativa em termos de variância total. Sendo, assim, as primeiras componentes principais, por possuírem maior representatividade, são consideradas para reduzir a dimensionalidade dos dados transformados.

2.5.2 Análise de Agrupamento

Análise de Agrupamentos, termo usado pela primeira vez por Tyron (1939), refere-se a uma variedade de métodos dirigido a dados destinados a organizar dados em estruturas que façam sentido, ou classificar dados observados em diferentes subgrupos.

A Análise de agrupamento tem como objetivo separar indivíduos ou objetos em classes significativas encontrando subgrupos com características mutuamente excludentes (HAIR *et al*, 2005).

O processo de agrupamento é dado pela medida de similaridade ou associação entre as entidades para determinar o número de grupos na amostra, em seguida realizar o particionamento das entidades nos grupos (HAIR *et al*, 2005).

As amostras são agrupadas de forma a separá-las em diferentes classes. Segundo Mingoti (2005), o agrupamento é realizado através da medida de similaridade entre as amostras, sendo os métodos mais comuns a ligação simples, a qual considerando a menor similaridade entre as amostras de dois grupos; ligação completa, que considera a maior similaridade; média das similaridades; centróide, que considera a similaridade entre os pontos médios; e Ward (conhecido como mínima variância) que considera a soma das similaridades ao quadrado entre os dois grupos.

Estas medidas de similaridade calculam o quão distante estão as amostras entre si, podendo ser usado, por exemplo, distância Euclidiana, distância Manhattan, Mahalanobis, etc.

Por exemplo, usando o método de Ward com distância Euclidiana tem-se a similaridade entre dois grupos com 2 variáveis, temos:

$$d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sqrt{(x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2} \quad (10)$$

Um dos principais métodos é o agrupamento em árvore, onde o objetivo é unificar entidades em grupos sucessivamente através da utilização de alguma medida de similaridade ou de distância. Assim, realizando uma organização hierárquica dos grupos fazendo o uso de um gráfico de dendograma (SILVA, 2009).

O dendograma é uma representação gráfica dos agrupamentos com linhas dispostas segundo os níveis de similaridade de pares de variáveis, sendo uma simplificação em duas dimensões de uma relação n-dimensional podem ocorrer distorções quanto à similaridade (OLKIN & SAMPSON, 2001).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa de campo quantitativa aplicada.

Nesta forma de pesquisa não há controle sobre as variáveis, havendo a necessidade de coleta das informações sobre o seu objeto de estudo no seu ambiente natural (GIL, 2002). Neste trabalho fomos a campo para realizar as coletas das amostras de solo para caracterização de diversos pontos visando identificar suas características.

A análise é dita quantitativa faz o uso de técnicas e ferramentas estatísticas como principal meio de análise de dados (GIL, 2002). Neste trabalho os dados foram coletados em campo e quantificados para serem aplicados em ferramentas que os analisam. Os resultados então foram apresentados de modo estruturado de forma a explicar seu significado.

Já na pesquisa aplicada, procura-se produzir conhecimentos que possam ser aplicados na vida real (GIL, 2002). Assim, buscando a relação entre as características físicas do solo que podem ser facilmente obtidas e o fator de segurança, visando detectar alguma característica que possa simplificar o reconhecimento de áreas de risco quanto a movimentações de solo.

Na Figura 1 é apresentando um fluxograma quanto às etapas adotadas para a realização do presente estudo.

A primeira etapa consistiu na coleta das amostras de solo, para análises *in loco* e análises laboratoriais, as quais deram origem aos dados a serem analisados.

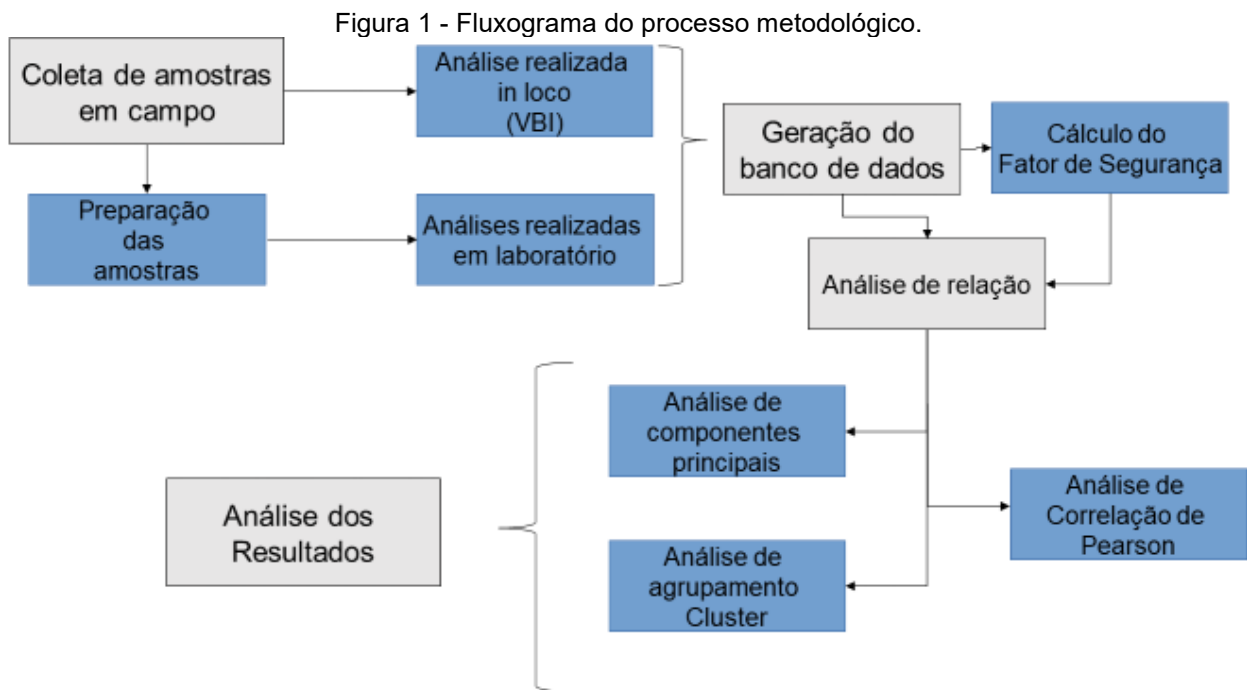
Em um outro momento, estas mesmas análises foram utilizadas como caracterização geotécnica do solo para o cálculo do fator de segurança, dados estes utilizados no presente trabalho, para comparação de relações entre as variáveis.

Com informações das características físicas do solo: velocidade básica de infiltração, limite de liquidez do solo, limite de plasticidade do solo, peso específico do solo seco, peso específico do solo natural, peso específico do solo saturado, fator de segurança: para solo seco sem a presença de árvores, para solo saturado sem a presença de árvores, para solo seco com a presença de árvores, para solo saturado com

a presença de árvores. Primeiramente foi analisada a correlação de Pearson entre cada uma das variáveis e o fator de segurança, e na sequência, aplicando-se a mesma metodologia foi analisada a correlação de Pearson entre cada par de variáveis.

Foi realizada a análise de componentes principais, entre as características físicas do solo e o fator de segurança, buscando uma visualização gráfica caso alguma característica física do solo se destaque quanto a correlação com o fator de segurança.

A última análise realizada foi a análise de agrupamento dos locais, do tipo *cluster*, a qual considerou o método de *Ward*, tendo como medida de distância a euclidiana, realizado com o auxílio do *software R*.



Fonte: Autoria própria (2019).

Nas seções do presente capítulo são descritos o local de estudo, e as características físicas do solo explorada para as análises, bem como as análises realizadas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Francisco Beltrão possui área total de 735,11 km², e destes uma área urbana de 49,525 km², e localizado no Sudoeste do estado do Paraná, com coordenadas geográficas dos pontos extremos sendo apresentados junto a Tabela 3 (IBGE, 2019).

Tabela 3 – Coordenadas centrais de localização geográfica da cidade de Francisco Beltrão.

Latitude	Longitude
26° 07' 23,90" S	53° 05' 09,01" W
26° 01' 27,25" S	53° 01' 19,44" W

Fonte: Autoria própria (2019).

A cidade encontra-se a aproximadamente, 493 km da capital, Curitiba, possuindo como limites os municípios de Enéas Marques, Verê, Nova Esperança do Sudoeste e Itapejara do Oeste ao norte; Marmeleiro e Flor da Serra do Sul ao sul; Renascença e Bom Sucesso do sul a leste; Ampére e Manfrinópolis a oeste. (RZS, 2006)

A população da cidade, segundo estimativa do IBGE para o ano de 2019, é de 91.093 habitantes e desses, 85,44% compõem a população urbana de Francisco Beltrão.

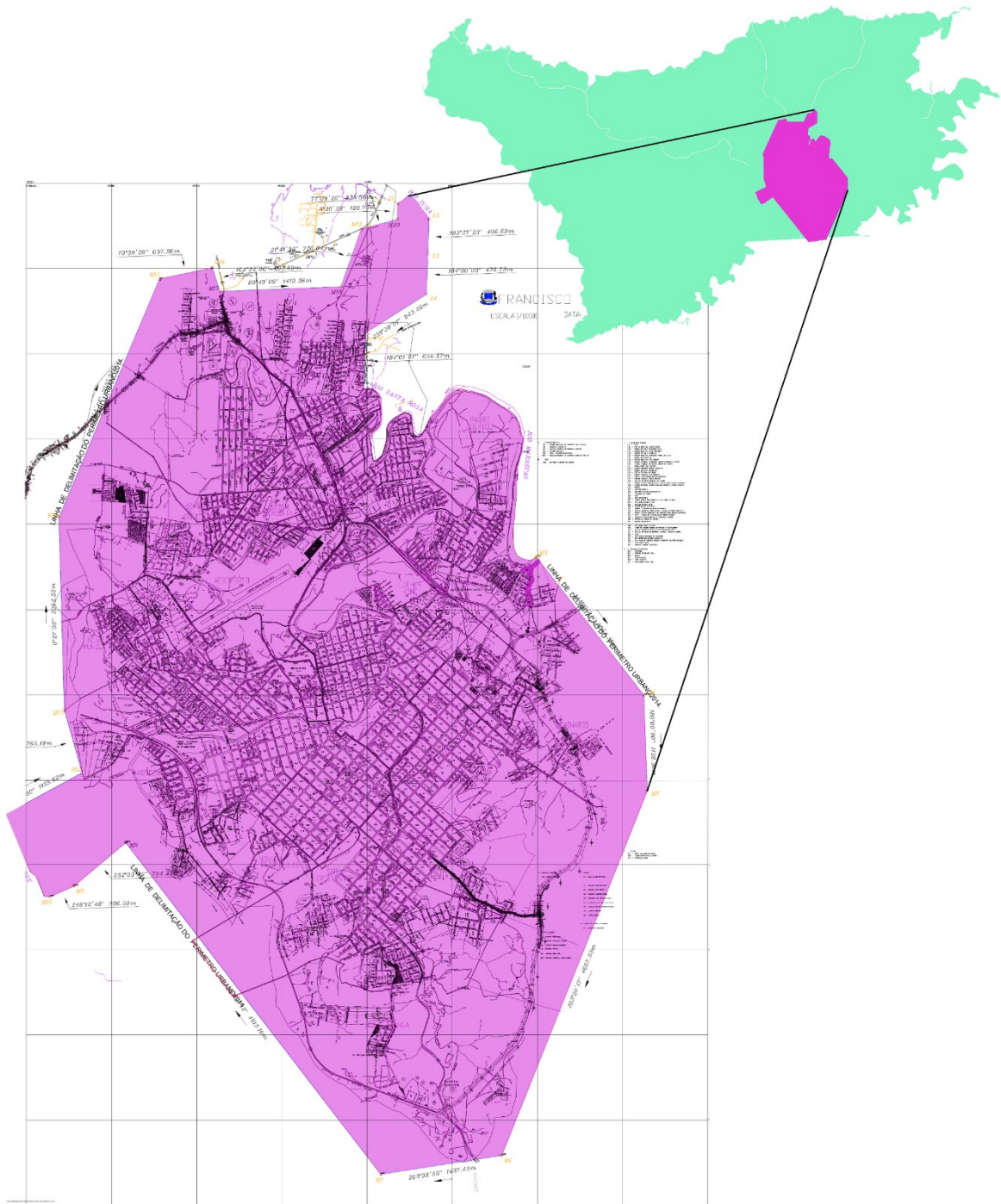
A Figura 2 mostra a localização da Cidade de Francisco Beltrão no estado do Paraná, e a Figura 3 apresenta a área delimitada pelo perímetro urbano do município, onde este estudo se concentrou.

Figura 2 - Localização Município de Francisco Beltrão na mesorregião e no Estado do Paraná.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 3 - Representação da localização do Perímetro Urbano da cidade de Francisco Beltrão - PR.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Os dados das características físicas do solo foram coletados entre os meses de abril a agosto de 2016, na cidade de Francisco Beltrão, ao longo do perímetro urbano.

A Figura 5 apresenta a localização dos pontos analisados, os 24 pontos de análises físicas e geotécnicas do solo e os 63 pontos de análise de SPT, realizados no estudo de base, para o presente estudo serão utilizados apenas os dados referentes as análises físicas do terreno.

Destaca-se que estes contemplam mais as áreas de bordas, devido à dificuldade de encontrar terrenos que mantêm as características do solo natural da região – sem cortes ou aterros, bem como que se fizesse possível a coleta de amostras deste solo. Além disto, os locais determinados de coleta do solo consistiram em áreas de declividade mais acentuada sendo pontos de importância para o estudo realizado, incluindo pontos os quais já haviam sofrido movimentos de massa além de alguns pontos na área central da cidade, representando áreas mais baixas do terreno. Dessa forma foram mapeados os locais de análise de 1 a 24, dispostos conforme apresentado na Figura 4.

A Tabela 4 apresenta as metodologias empregadas para a obtenção dos dados físicos do solo: análise granulométrica, teor de umidade, limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica, cisalhamento direto e permeabilidade.

Tabela 4 - Ensaios realizados e Metodologia empregada.

Ensaio	Metodologia empregada
Preparação das Amostras	NBR 6457/1986
Densidade	EMBRAPA (1997)
Limite de Liquidez	NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade	NBR 7180/1984
Permeabilidade	Infiltrômetro de anéis

Fonte: Autoria própria (2019).

Para o presente estudo foram elencadas as análises de: limite de liquidez, limite de plasticidade, permeabilidade e densidade (peso específico) das amostras.

As características físicas do solo selecionadas para a análise de relação foram escolhidas com base no conhecimento prévio da origem destes dados, evitando o uso de

dados originários de fórmulas e cálculos, minimizando possíveis interferência por correlação dos dados amostrados. Os dados considerados no presente estudo são apresentados na Tabela 5 na sequência, trazendo um panorama das características físicas do solo.

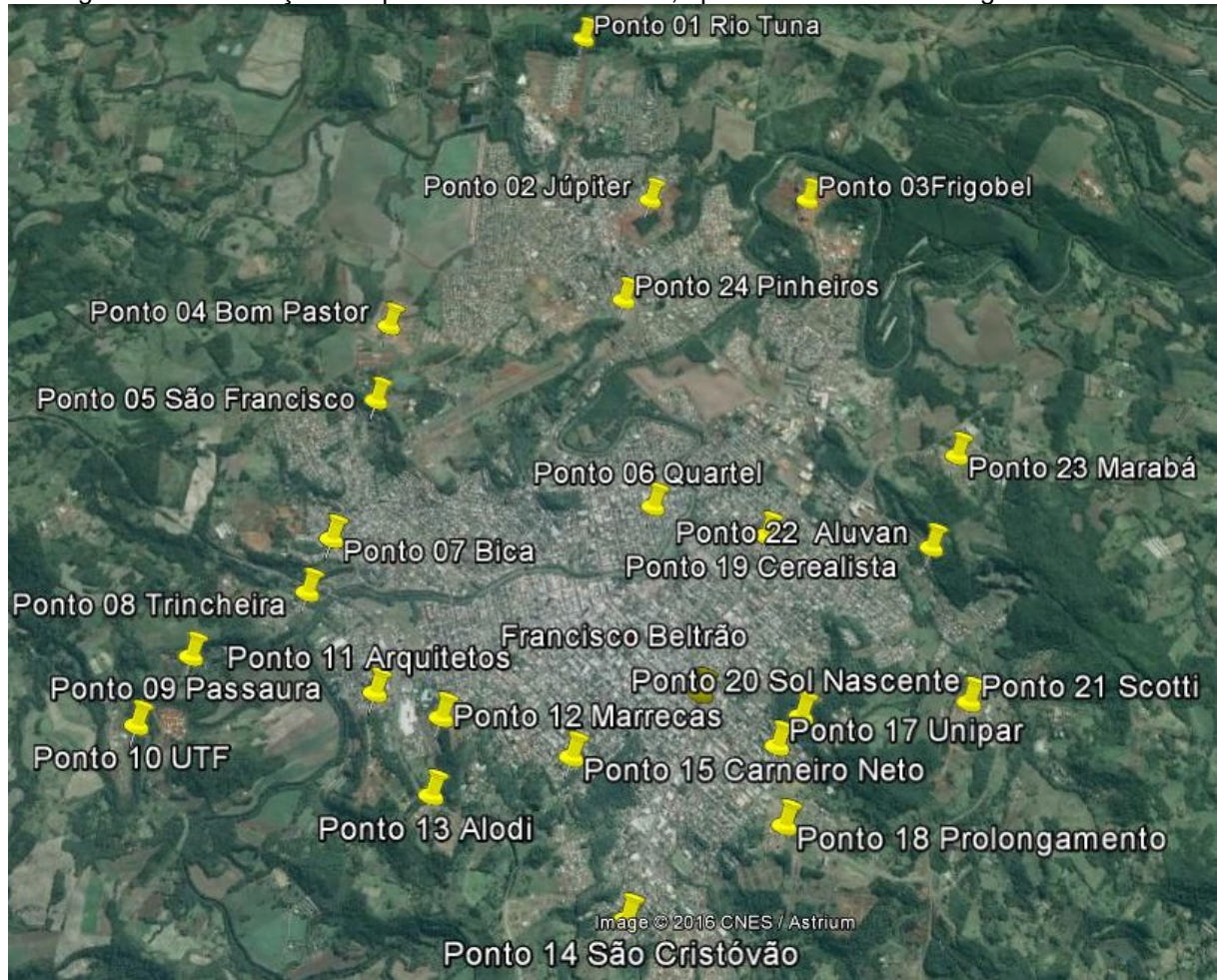
Em relação a velocidade básica de infiltração – VBI, os dados apresentaram variabilidade desde índices com baixa permeabilidade como no ponto Prolongamento (18), índices médios e índices com elevada VBI, como no ponto Carneiro Neto (15).

Quanto os pesos específicos do solo, estes tiveram pouca variação entre os pontos analisados, variando de $12,32 \text{ kN/m}^3$ (ponto 17 – Unipar) a $20,58 \text{ kN/m}^3$ (ponto 34 – Pinheiros) para o peso natural, indicando os diferentes teores de espaços vazios no solo (ocupados por ar), sendo solos mais leves solos mais aerados e solos mais pesados solos compactados.

Quanto ao fator de segurança, este se apresentou com instabilidade em três pontos: São Francisco (05), São Cristóvão (14), Carneiro Neto (15), Prolongamento (18) para o solo saturado sem a presença de árvores, sendo solos com possibilidade de movimentação de massa. E, na mesma situação, foi classificado como estabilidade crítica para mais sete pontos – Rio Tuna (01), Bom Pastor (04), Passaura (09), Arquitetos (11), Scotti (21), Marabá (23) e Pinheiros (24).

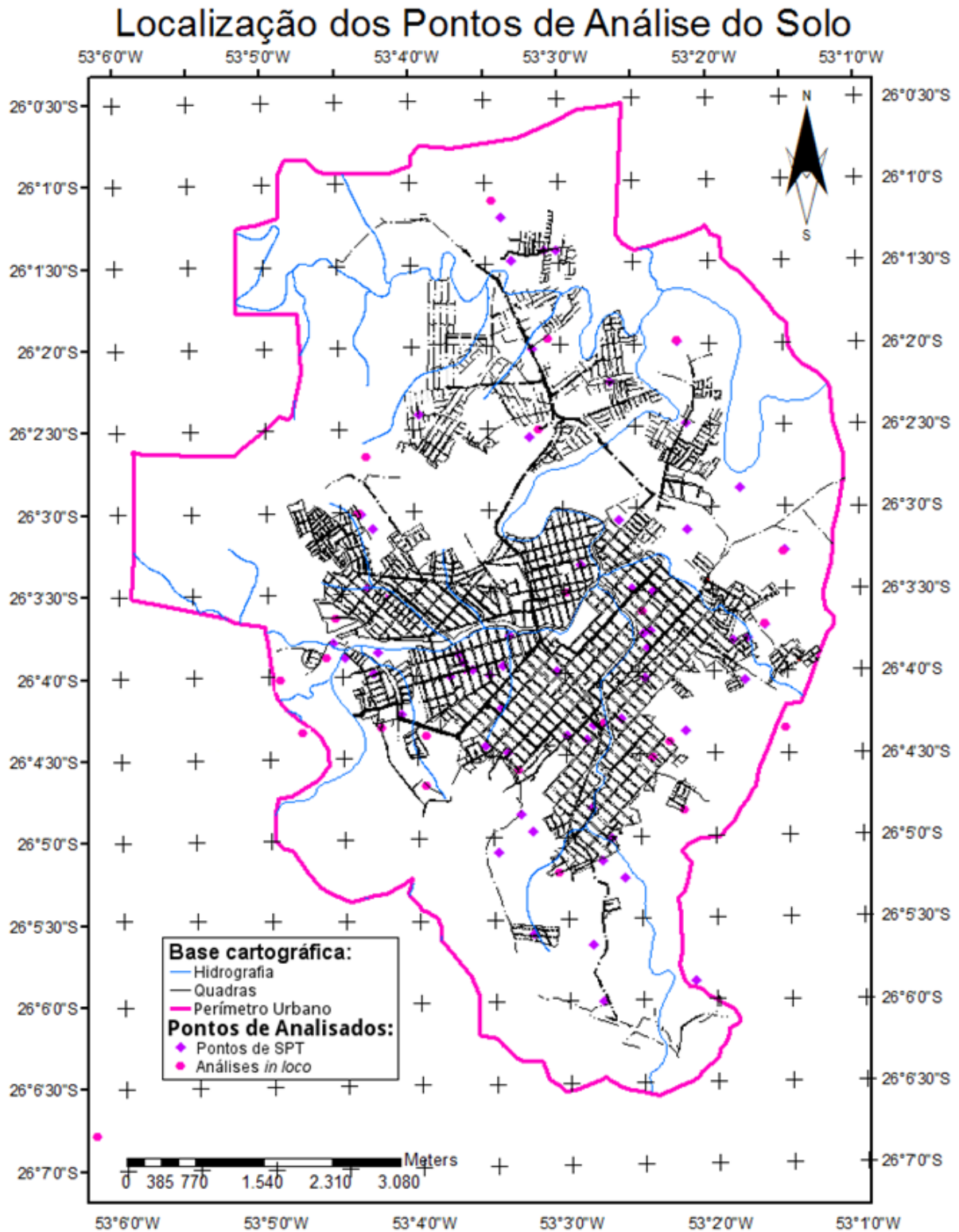
Os pontos com fator de segurança elevado para as quatro situações aplicadas – Frigobel (03), Sanderson (16) e Unipar (17) são pontos de planícies, onde o relevo é plano, sem a presença de desníveis o que caracteriza o solo como excelente estabilidade.

Figura 4 – Localização dos pontos de coleta de solo, apresentado sobre a imagem de satélite.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 5 - Localização dos pontos de Análise do Solo, em relação ao perímetro urbano de Francisco Beltrão.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 5 – Dados físicos e do fator de segurança do solo para cada ponto estudado, utilizados para análise de relações.

Ponto	VBI	LL	LP	γ_{sec}	γ_{nat}	γ_{sat}	FSSat	FSnat	FSSat Arv	FSnat Arv
Ponto 01 Rio Tuna	141,75	50,26	35,31	12,46	16,92	17,57	2	2	3	3
Ponto 02 Júpiter	274,65	60,48	52,27	10,36	14,93	17,06	4	4	3	4
Ponto 03 Frigobel	80	36,37	34,11	10,75	14,40	15,92	11	11	11	11
Ponto 04 Bom Pastor	293,30	50,95	36,93	10,76	15,46	17,15	2	3	3	3
Ponto 05 São Francisco	98,40	71,95	49,62	11,49	17,15	19,04	1	2	1	2
Ponto 06 Quartel	323	33,84	28,2	11,12	16,83	16,85	5	8	5	5
Ponto 07 Bica	169,5	32,77	27,95	12,85	18,00	13,61	3	3	3	4
Ponto 08 Trincheira	56,04	37,83	34,31	13,24	19,91	19,90	3	4	3	4
Ponto 09 Passaura	183,78	48,34	49,36	9,35	12,95	14,31	2	2	3	3
Ponto 10 UTF	54,54	33,83	27,32	14,12	18,83	20,82	4	4	5	5
Ponto 11 Arquitetos	310,4	29,89	26,21	12,17	17,49	22,01	2	2	3	3
Ponto 12 Marrecas	87,60	46,32	49,66	11,41	16,24	18,54	3	2	3	3
Ponto 13 Alodi	92,00	45,08	32,07	14,62	18,71	18,77	4	3	4	4
Ponto 14 São Cristóvão	82,16	49,59	50,93	12,08	17,58	17,58	1	2	2	3
Ponto 15 Carneiro Neto	425,71	42,47	44,48	9,70	14,59	17,51	1	2	1	2
Ponto 16 Sanderson	92,55	36,34	31,11	10,65	15,58	17,23	11	11	11	11
Ponto 17 Unipar	74,29	36,8	32,47	8,45	12,32	19,33	11	11	11	11
Ponto 18 Prolongamento	5,91	45,47	48,34	11,77	16,01	17,79	1	2	3	3
Ponto 19 Cerealista	66,4	38,97	25,47	13,72	18,17	18,22	5	5	5	5
Ponto 20 Sol Nascente	69,54	44,94	45,63	14,35	18,82	18,87	3	3	3	3
Ponto 21 Scotti	-	38,22	38,41	9,10	12,37	16,48	2	3	3	4
Ponto 22 Aluvan	54,11	69,7	47,65	8,86	13,13	15,53	4	4	4	4
Ponto 23 Marabá	171,66	52,07	37,8	14,07	16,82	20,07	2	2	3	3
Ponto 24 Pinheiros	133,73	45,09	22,13	16,90	20,58	23,11	2	3	3	3

Legenda: VBI – velocidade básica de infiltração (em mm/H); LL – limite de liquidez do solo (em % de umidade); LP – limite de plasticidade do solo (em % de umidade); γ_{sec} – peso específico do solo seco (em kN/m³); γ_{nat} – peso específico do solo natural (em kN/m³); γ_{sat} – peso específico do solo saturado (em kN/m³); FSnat – fator de segurança do solo natural, sem influência da vegetação (adimensional); FSSat – fator de segurança do solo saturado, sem influência da vegetação (adimensional); FSnat Arv – fator de segurança do solo natural, com influência da vegetação (adimensional); FSSat Arv – fator de segurança do solo saturado, com influência da vegetação (adimensional).

Fonte: Autoria própria (2019).

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para realização das análises foi utilizado o *software* R versão 3.4.4.

A primeira análise realizada foi o teste de correlação de Pearson, utilizando o comando “*cor.test*”, que recebe por parâmetro dois vetores das variáveis a serem analisadas (relacionadas), retornando os resultados apresentados no Apêndice A.

Para a análise de correlação utilizou-se os pacotes *ggplot2*, *GGally* e *CCA*, para geração dos gráficos do pareamento e matriz de correlações.

Foi utilizado o comando “*ggpairs*” recebendo por parâmetro a matriz de dados para gerar as correlações.

Na sequência, foi executado o comando “*prcomp*”, recebendo a mesma matriz para realizar a análise de componentes principais, retornando os resultados apresentados no Apêndice B.

Em seguida, executou-se o comando “*ggbiplot*”, para montar o gráfico biplot das componentes principais.

Para prosseguir as análises, alguns pacotes em especial foram necessárias, sendo usada *vegan* e *MASS* para a análise de agrupamentos e geração do gráfico das correlações (dendograma). Utilizou-se o comando “*dist*” recebendo por parâmetro a matriz de dados e o método de cálculo do custo da relação, utilizando-se a distância euclidiana. Então foi utilizado o método “*hcluster*”, recebendo o resultado anterior com o método Ward para realizar os agrupamentos, retornando os resultados apresentados no Apêndice C.

Os agrupamentos obtidos foram plotados utilizando o método “*plot*”.

No Apêndice D, são apresentados os scripts completos utilizados no R para a realização das análises.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro teste realizado, o teste de Correlação de Pearson, trouxe como resultado a comparação entre as variáveis físicas relacionadas com o fator de segurança para o solo saturado. Neste teste, foi possível verificar uma correlação linear entre a variável limite de liquidez e o Fator de Segurança, com a presença de árvores para o solo natural e saturado.

Ao serem analisados os valores de correlação encontrados para as variáveis analisadas apenas em relação ao fator de segurança, em suas quatro apresentações, foram todos negativos, indicando que a correlação existente, mesmo fraca, de sentido oposto, com valores variando de - 0,227 a - 0,349.

Ao realizar a análise entre o p-valor e o nível de significância de 95%, conforme dados apresentados junto ao Apêndice A, pode-se observar a existência de correlação entre o limite de liquidez e o fator de segurança para o solo saturado com a presença de árvores, e entre o limite de liquidez e o fator de segurança para o solo natural com a presença de árvores.

A Tabela 6 apresenta os resultados da correlação de Pearson entre as características físicas do solo e o fator de segurança em suas quatro apresentações e em negrito as correlações que foram significativas.

Analisando todas as variáveis foi possível observar, que existiram correlações e algumas foram significativas. Resultado observado ao ser analisado a relação entre o p-valor e o nível de significância ($\alpha = 5\%$), conforme dados apresentados junto ao Apêndice A.

A Figura 6, apresentada em destaque as correlações existentes, na mesma imagem também são demonstradas graficamente a distribuição empírica, correlações entre as variáveis.

Tiveram correlações positivas fortes entre as variáveis peso seco e peso natural, sendo estas análises interligadas, porque a partir da obtenção de um cilindro de solo natural, o qual é pesado, sendo este o peso natural do solo. O peso seco é obtido a partir da secagem em estufa a 100°C da amostra de solo, já o peso saturado, é obtido a partir

do fechamento da capsula de solo com parafina e saturação da amostra de solo natural com água, sendo estas correlações esperadas para as variáveis estudadas.

Tabela 6 – Teste de correlação de Pearson entre as análises físicas do solo e o fator de segurança.

Variável	FS sat	FS nat	FS sat Arv	FS nat Arv
VBI	-0,25	-0,15	-0,29	-0,28
LL	-0,35	-0,37	-0,41	-0,40
LP	-0,34	-0,37	-0,38	-0,35
γ_{sec}	-0,27	-0,30	-0,25	-0,30
γ_{nat}	-0,30	-0,29	-0,31	-0,33
γ_{sat}	-0,12	-0,13	-0,08	-0,13

Legenda: VBI – velocidade básica de infiltração (em mm/H); LL – limite de liquidez do solo (em % de umidade); LP – limite de plasticidade do solo (em % de umidade); γ_{sec} – peso específico do solo seco (em kN/m³); γ_{nat} – peso específico do solo natural (em kN/m³); γ_{sat} – peso específico do solo saturado (em kN/m³); FSnat – fator de segurança do solo natural, sem influência da vegetação (adimensional); FSsat – fator de segurança do solo saturado, sem influência da vegetação (adimensional); FSnat Arv – fator de segurança do solo natural, com influência da vegetação (adimensional); FSsat Arv – fator de segurança do solo saturado, com influência da vegetação (adimensional).

Fonte: Autoria própria (2019).

O mesmo ocorreu entre o fator de segurança para o solo natural e para o solo saturado, onde são alterados na fórmula de cálculo apenas o valor do peso específico do solo e o peso específico da água, sendo uma correlação prevista.

Observou-se correlações positivas entre os índices de limite de liquidez e limite de plasticidade, ou seja, quando um índice varia o outro acompanha esta variação. Estes índices definem os pontos de transição entre os estados, semissólido, plástico e líquido do solo e, a partir destes dois índices é possível estabelecer os demais índices de caracterização geotécnica do solo como o limite de contração, índice de plasticidade e índice *Liquidity*, eles apontam o teor de umidade de transição entre os estados físicos do solo, interferindo na sua estabilidade, o que influencia no comportamento do solo na engenharia.

O limite de plasticidade apresentou correlação negativa com o peso natural e o peso saturado do solo, ou seja, quanto maior o peso menor o limite de plasticidade e vice-versa. O peso do solo está associado à sua densidade de partículas, ou seja, quando maior a densidade de partículas menos espaços vazios existe em uma massa de solo, o

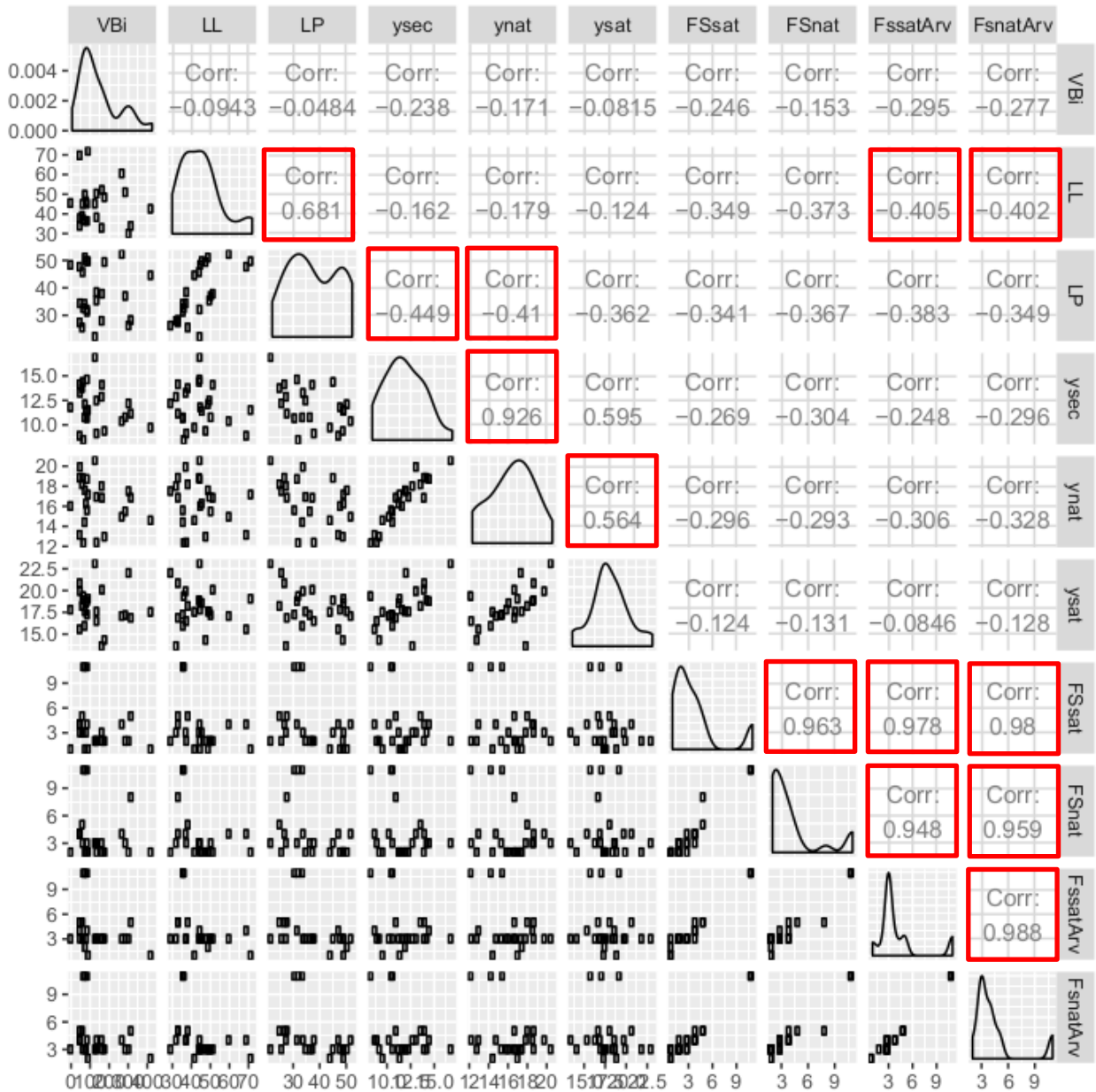
que acarreta em um menor índice de plasticidade. Desta forma, o solo precisa perder pouca água para passar do estado plástico, estado de consistência em que o solo pode ser moldado e conservar sua forma, para o estado semissólido onde ao ser moldado o solo perde a sua forma (desmancha-se).

Entre as quatro fórmulas de cálculo do fator de segurança (fórmulas 01, 02, 03 e 04, apresentadas no tópico 2.4 O Cálculo do Fator de Segurança) também houveram correlações, fortes e positivas, ou seja, quando uma varia positivamente a outra acompanha a variação, o que já era esperado, devido as fórmulas utilizarem como base nas mesmas variáveis preditoras.

Ao realizar a análise dos gráficos da distribuição empírica das amostras, apresentados na diagonal principal da Figura 6, é possível observar que no geral os gráficos não apresentam simetria, com exceção da variável peso do solo, em especial o “peso saturado”, a qual apresenta gráfico com simetria, indicando um possível comportamento normal dos dados. Como tratado no referencial, o peso do solo sofre pouca variação em diversos solos.

Observando os gráficos de dispersão dos pontos, o fator de segurança possui muitos pontos no início do gráfico indicando valores do FS baixo sendo solos com possibilidade de movimentação de massa, e alguns pontos dispersos acima sendo estes solos com pouca possibilidade de movimentação de massa, localizados em terrenos planos.

Figura 6 – Gráfico de dispersão, gráfico da distribuição empírica e valores da correlação de Pearson entre as variáveis.



Legenda: VBi – velocidade básica de infiltração (em mm/H); LL – limite de liquidez do solo (em % de umidade); LP – limite de plasticidade do solo (em % de umidade); γ_{sec} – peso específico do solo seco (em kN/m³); γ_{nat} – peso específico do solo natural (em kN/m³); γ_{sat} – peso específico do solo saturado (em kN/m³); FSnat – fator de segurança do solo natural, sem influência da vegetação (adimensional); FSsat – fator de segurança do solo saturado, sem influência da vegetação (adimensional); FSnat Arv – fator de segurança do solo natural, com influência da vegetação (adimensional); FSsat Arv – fator de segurança do solo saturado, com influência da vegetação (adimensional).

Fonte: Autoria própria (2019).

Junto ao gráfico do tipo *biplot* de componentes principais, apresentado na sequência na Figura 7, foi possível observar que a componente principal 01 (equação 11) explicou 45,2% da variabilidade dos dados, enquanto a componente principal 02 (equação 12) explicou 28,6% da variabilidade dos dados estudados.

$$CP1 = 0.096 * VBi + 0.210 * LL + 0.174 * LP + 0.171 * ysec + 0.183 * ynat + 0.091 * ysat - 0.457 * FSsat - 0.454 * FSnat - 0.461 * FSsatArv - 0.464 * FSnatArv \quad (11)$$

$$CP2 = -0.120 * VBi - 0.306 * LL - 0.449 * LP + 0.511 * ysec + 0.497 * ynat + 0.418 * ysat + 0.030 * FSsat + 0.025 * FSnat + 0.052 * FSsatArv + 0.027 * FSnatArv \quad (12)$$

Os índices de limite de liquidez, limite de plasticidade e velocidade básica de infiltração estão correlacionados entre si, e influenciam positivamente a componente principal 01, e negativamente a componente principal 02.

Os índices de peso seco, peso natural e peso saturado do solo, estão correlacionados entre si, e afetam positivamente ambas componentes principais 01 e 02.

E os índices de fator de segurança para o solo natural e saturado e fator de segurança com influência da vegetação para o solo natural e saturado, possuem uma forte correlação em si, e afetam negativamente a componente principal 01 e positivamente a componente principal 02, porém sem muita intensidade.

Ao analisar os pontos amostrados, os grupos próximos possuem maior correlação entre si, o que pode ser observado da seguinte maneira:

Os pontos Júpiter (02), Bom Pastor (04), São Francisco (05), Passaura (09), Marrecas (12), São Cristóvão (14), Carneiro Neto (15), Prolongamento (18), Scotti (21) e Aluvan (22) estão relacionados entre si, e sofrem maiores influências do peso do limite de liquidez, limite de plasticidade e velocidade básica de infiltração, sendo estes pontos melhor explicados pela componente principal 01.

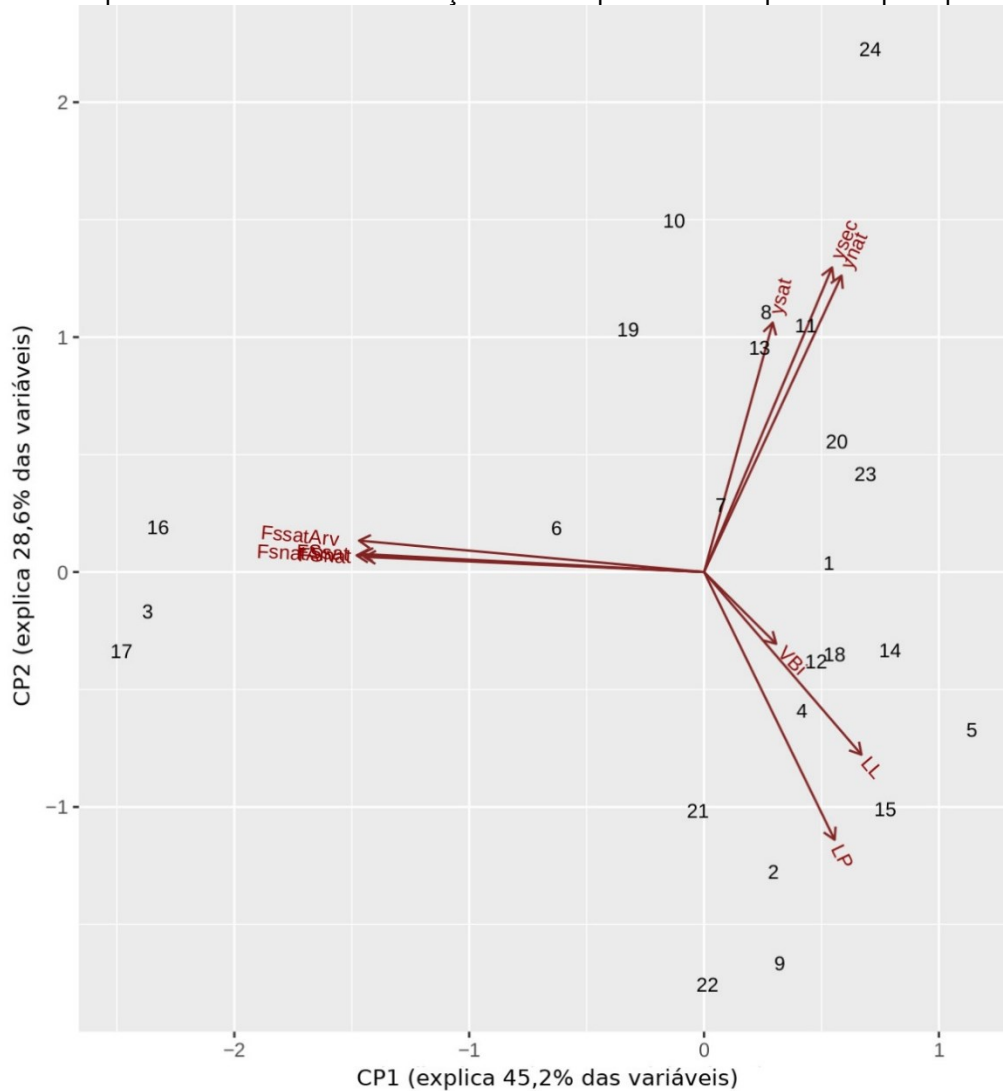
Os pontos Frigobel (03), Sanderson (16), e Unipar (17) estão relacionados entre si, e sofrem maiores influências do fator de segurança do solo, para o solo natural e

saturado e fator de segurança com influência da vegetação para o solo natural e saturado, sendo estes pontos explicados de forma negativa pela componente principal 01.

Os pontos Trincheira (08), UTF (10), Arquitetos (11), Alodi (13), Cerealista (19), Sol Nascente (20) e Marabá (23) e Pinheiros (24) estão relacionados entre si, e sofrem maiores influências do peso do solo, seco, natural e saturado, sendo estes pontos melhor explicados pela componente principal 02.

Os pontos Rio Tuna (01), Quartel (06), Bica (07), estão em posições centrais, sendo estes pontos pouco explicados pelas componentes principais 01 e 02.

Figura 7 – Dispersão das variáveis em relação às duas primeiras componentes principais (PCA).



Fonte: Autoria própria (2019).

Ao ser realizada a análise de agrupamentos tipo *cluster*, dos pontos de coleta, com todas as variáveis, utilizando o método *Ward*, e medida de distância euclidiana, conforme dendograma apresentado junto a Figura 8. Os grupos formados foram:

- ✓ Grupo 01: Frigobel (03), São Francisco (05), Trincheira (08), UTF (10), Marrecas (12), Alodi (13), São Cristóvão (14), Sanderson (16), Unipar (17), Prolongamento (18), Cerealista (19), Sol Nascente (20) e Aluvan (22).
- ✓ Grupo 02: Rio Tuna (01), Bica (07), Passaura (09), Scotti (21), Marabá (23) e Pinheiros (24).
- ✓ Grupo 01: Frigobel (03), São Francisco (05), Trincheira (08), UTF (10), Marrecas (12), Alodi (13), São Cristóvão (14), Sanderson (16), Unipar (17), Prolongamento (18), Cerealista (19), Sol Nascente (20) e Aluvan (22).
- ✓ Grupo 03: Júpiter (02), Bom Pastor (04), Quartel (06), Arquitetos (11) e Carneiro Neto (15).

Foi possível observar que os valores foram agrupados conforme a velocidade básica de infiltração, com exceção do ponto Scotti (21), o qual não apresentava dados para este parâmetro, sendo classificados:

Grupo 01 com VBI entre 5,91 – 98,4 sendo solos de baixa permeabilidade, com tipo de infiltração baixa a média, onde as águas pluviais (água da chuva) possuem mais tendências a sofrer escoamento superficial que a infiltrar no solo, são solos ricos em argilas.

Grupo 02 com VBI entre 133,73 – 183,78 sendo solos de média permeabilidade, com tipo de infiltração média a alta, onde as águas pluviais tanto infiltram no solo quanto escoam superficialmente.

Grupo 03 com VBI entre 274,65 – 425,71 sendo solos de alta permeabilidade, com tipo de infiltração alta a muito alta, onde as águas pluviais tendem a infiltrar mais no solo do que a escoar superficialmente, são solos ricos em areias.

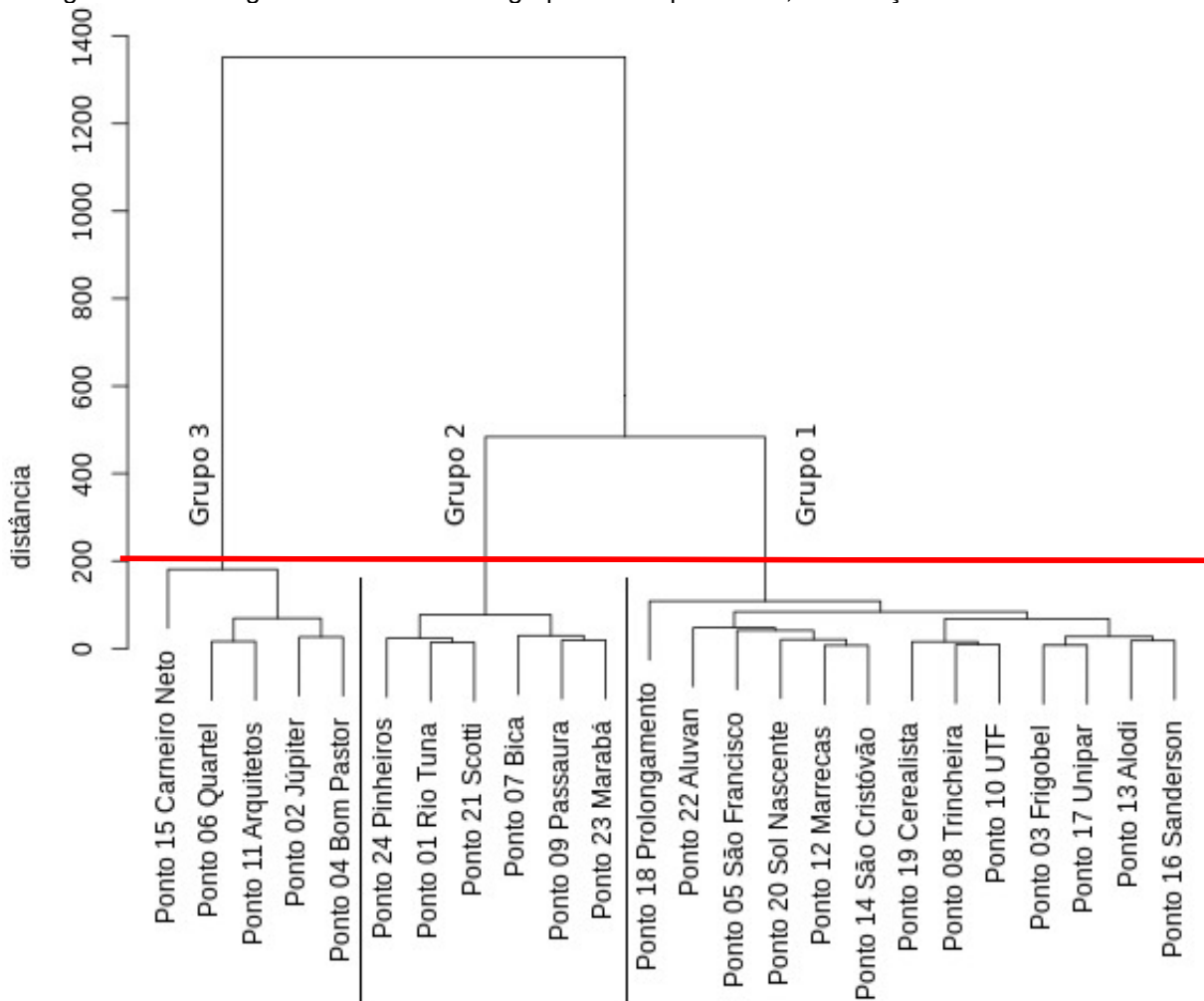
O ponto 15 – Carneiro Neto, o primeiro ponto no dendograma, ficou agrupado junto ao Grupo 03, devido a posição da linha de corte, este ponto também merece destaque, pois é o ponto com a maior VBI, de 425,71 mm/h, sendo o solo do local rico

em areias, onde em evento de elevada pluviosidade na cidade de Francisco Beltrão se deflagrou um movimento de massa.

O conhecimento da VBI é importante para tratar sobre as técnicas de conservação do solo, além de contribuir para se conhecer o potencial do solo em reter água, bem como as possíveis dinâmicas no interior no solo.

Ao estudar solos, conseguir caracterizar e agrupa-los pela VBI não é intuitivo. A análise de agrupamento tipo cluster pode ser uma nova forma de classificar um grande número de amostras, simplificando o processo.

Figura 8 – Dendrograma da análise de agrupamento tipo cluster, em relação aos locais estudados.



Fonte: Autoria própria (2019).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou medir a relação entre características físicas do solo em relação ao fator de segurança quanto a estabilidade de taludes, para a área do perímetro urbano da cidade de Francisco Beltrão, estado do Paraná.

Foi possível correlacionar os fatores físicos do solo e o fator de segurança em suas quatro apresentações, onde observou-se a existência de correlação entre o limite de liquidez e o fator de segurança para o solo saturado com a presença de árvores, bem como entre o limite de liquidez e o fator de segurança para o solo saturado com a presença de árvores.

Ao estudar a correlação entre as análises físicas do solo, de forma pareada, foi possível identificar correlação entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, entre os pesos específicos do solo: peso natural e peso saturado e entre peso natural e peso seco, e ainda houve correlação entre o peso seco do solo e o limite de plasticidade e o peso natural do solo e o limite de plasticidade.

Com a análise de componentes principais foi possível verificar a relação entre os pontos amostrados e as características de maior influência para cada ponto, bem como definir duas componentes principais, as quais juntas explicaram 73,8% da variabilidade das características físicas do solo.

Já com a análise de agrupamento tipo *Cluster*, de forma livre, o software R agrupou os pontos de acordo com as características de velocidade básica de infiltração de água no solo, dividindo os pontos em três grupos, sendo um grupo com tipo de infiltração baixa a média, outro grupo com tipo de infiltração média a alta e um terceiro grupo com tipo de infiltração alta a muito alta.

Este trabalho trouxe uma nova forma de olhar para dados de caracterização física do solo, comumente utilizados em estudos de geotecnia apenas para caracterização dos solos, podendo ser mais explorados, com relação a caracterização do solo para estabilidade de taludes. Podendo as relações encontradas serem utilizadas para a formulação de novos teoremas que expliquem o fenômeno.

O estudo se deu com poucas amostras de solo (24 pontos), podendo o mesmo ser estendido a áreas maiores, com mais pontos amostrados. Pode-se ainda realizar diferentes análises de relações entre as amostras, com a normalização dos dados, bem como analisar as possíveis combinações de características físicas e suas derivações em relação ao fator de segurança do solo.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457 Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459 Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180 Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7250 Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro, 1982.
- ANDRES, J. **Qualidade de vida na cidade de Francisco Beltrão (PR) por meio de sistemas de informações geográficas: aproximações entre objetividade e subjetividade**. Curitiba, PR, 2015. Tese (Doutorado). Pós Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- Bussab, Wilton de O.; Morettin, Pedro A. (2010). **Estatística Básica**. 6ª ed. [S.I.]: Saraiva.
- Cooper, Donald R.; Schindler, Pamela S. (2016). **Métodos de Pesquisa em Administração**. 12ª ed. [S.I.]: AMGH.
- CAVAZINI, A. **Inter-Relações entre desastres naturais e aspecto físico-geográficos na cidade de Francisco Beltrão-PR**. 2017. 20p. Trabalho de Conclusão do curso de Bacharelado em Geografia, Unioeste, Francisco Beltrão, 2017.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.
- FAGUNDES, Eliane Aparecida Antunes, KOETZ, Marcio, RUDEL, Norman, SANTOS, Tania Silveira dos, PORTO, Rebeca. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT**, In: Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 2012. v.8, N.14; p. 369-378.
- FIORI, A. P; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas, Aplicação na Estabilidade de Taludes**. 2ª Ed. Rev. e ampl. Curitiba: Ed. UFPR, 2009. 604p.

FRANCISCO BELTRÃO. **Lei municipal nº 4.594, de 28 de agosto de 2018**. Institui a nova Lei do Plano Diretor Municipal de Francisco Beltrão. Francisco Beltrão, 2018. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-francisco-beltrao-pr>>. Acesso setembro de 2019.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, (Pombal – PB – Brasil) v.4, n.1, p. 64-73 Janeiro/dezembro de 2010.

GRIMNES, S. MARTINSEN, Ø. G. **Chapter 9 - Data and Models**, in Bioimpedance and Bioelectricity Basics (Third Edition), Academic Press, 2015 <<https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/multivariate-analysis>> Acesso outubro de 2019.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

IBGE, **Panorama Francisco Beltrão - Paraná**, Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/panorama>>, Acesso setembro de 2019.

LIRA, Sachiko Araki. **Análise de correlação: Abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. 209f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.

MARTINS, M. E. G. **Coeficiente de Correlação Amostral** (PDF). Revista de Ciência Elementar. p. 1. 2014. Disponível em: <https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_2_num_2_69_art_coeficienteCorrelacaoAmostral.pdf> Acesso setembro de 2019.

MINGOTI, S. A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma Abordagem Aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2017.

MOTA, Suetônio. **Urbanização e Meio Ambiente**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

OLKIN, I. SAMPSON, A. R. **Hotelling, Harold (1895 – 1973)** in International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. Elsevier. 2001 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0080430767002631>> Acesso outubro de 2019.

PEARSON, K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. **Philosophical Magazine**, 2, 559-572. 1901

RODGERS, J. L.; NICEWANDER, W. A. **Thirteen ways to look at the correlation coefficient**. The American Statistician. 42 (1): 59–66. JSTOR 2685263. doi:10.1080/00031305.1988.10475524. 1988

RZS Consultoria e Planejamento LTDA. **Plano Diretor Municipal de Francisco Beltrão: Aspectos Ambientais**, Francisco Beltrão, 2006.

SMDC-FB - Sistema Municipal de Defesa Civil de Francisco Beltrão. **Plano de Contingência Municipal de Proteção e Defesa Civil**. Francisco Beltrão - PR. Versão 63. 2018. Disponível em: <<http://franciscobeltrao.pr.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Plano-de-Contingencia-2017-2020.pdf>> Acesso setembro de 2019.

SOUZA, P. C. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16Aulas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2000, 247p.

TABALIPA, N. L. **Estudo da estabilidade de vertentes da bacia do rio Ligeiro, Pato Branco, Paraná**. 2008. 243 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

TRYON, R. C. Cluster Analysis: Correlation Profile and Orthometric (factor) Analysis for the Isolation of Unities in Mind and Personality. **Ann Arbor**. Edwards Brothers. 1939.

VECCHIA, R. **O meio ambiente e as energias renováveis, instrumentos de liderança visionária para a sociedade sustentável**. In: VECCHIA, R. A questão Ambiental. Barueri: 2010. p.27-86.

APÊNDICE A – RESULTADO DO TESTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON.

Pearson's product-moment correlation

data: LP and FSnat

t = -1,8501; df = 22; p-value = 0,07777

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,67100935 0,04279536

sample estimates:

cor

-0,3669359

Pearson's product-moment correlation

data: LL and FSnat

t = -1,8875; df = 22; p-value = 0,07236

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,67505378 0,03541317

sample estimates:

cor

-0,3733166

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and FSnat

t = -0,72675; df = 22; p-value = 0,475

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5241385 0,2667574

sample estimates:

cor

-0,153116

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and FSnat

t = -1,497; df = 22; p-value = 0,1486

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6301620 0,1132259

sample estimates:

cor

-0,3040586

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and FSnat

t = -1,4388; df = 22; p-value = 0,1643

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6229691 0,1249001

sample estimates:

cor

-0,293273

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and FSnat

t = -0,62101; df = 22; p-value = 0,541

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5077656 0,2873578

sample estimates:

cor

-0,1312537

Pearson's product-moment correlation

data: LP and FSsat

t = -1,6988; df = 22; p-value = 0,1034

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,65408633 0,07286164

sample estimates:

cor

-0,3405444

Pearson's product-moment correlation

data: LL and FSsat

t = -1,7471; df = 22; p-value = 0,09457

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,65957704 0,06324925

sample estimates:

cor

-0,3490534

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and FSsat

t = -1,1921; df = 22; p-value = 0,2459

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5909962 0,1744016

sample estimates:

cor

-0,2463248

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and FSsat

t = -1,309; df = 22; p-value = 0,2041

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6064400 0,1509644

sample estimates:

cor
-0,2688019

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and FSsat

t = -1,4552; df = 22; p-value = 0,1597

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6250072 0,1216131

sample estimates:

cor
-0,2963206

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and FSsat

t = -0,58654; df = 22; p-value = 0,5635

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5023371 0,2940293

sample estimates:

cor
-0,1240852

Pearson's product-moment correlation

data: LP and FsnatArv

t = -1,7486; df = 22; p-value = 0,09431

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,65974150 0,06295926

sample estimates:

cor
-0,349309

Pearson's product-moment correlation

data: **LL and FsnatArv**

t = -2,0576; df = 22; **p-value = 0,05167**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,692845300 0,001991172

sample estimates:

cor

-0,4017282

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and FsnatArv

t = -1,3536; df = 22; p-value = 0,1896

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6121950 0,1420075

sample estimates:

cor

-0,2772728

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and FsnatArv

t = -1,4512; df = 22; p-value = 0,1608

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6245101 0,1224163

sample estimates:

cor

-0,2955767

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and FsnatArv

t = -1,626; df = 22; p-value = 0,1182

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,64563568 0,08739662

sample estimates:

cor

-0,327548

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and FsnatArv

t = -0,60594; df = 22; p-value = 0,5508

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5053985 0,2902764

sample estimates:

cor

-0,1281231

Pearson's product-moment correlation

data: LP and FssatArv

t = -1,9426; df = 22; p-value = 0,06497

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,68093723 0,02453401

sample estimates:

cor

-0,3826498

Pearson's product-moment correlation

data: LL and FssatArv

t = -2,0797; df = 22; **p-value = 0,04941**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,695078428 -0,002316428

sample estimates:

cor

-0,4053344

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and FssatArv

t = -1,4471; df = 22; p-value = 0,162

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6239930 0,1232508

sample estimates:

cor

-0,2948032

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and FssatArv

t = -1,2033; df = 22; p-value = 0,2417

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5924976 0,1721606

sample estimates:

cor

-0,2484937

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and FssatArv

t = -1,5097; df = 22; p-value = 0,1453

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,6317124 0,1106826

sample estimates:

cor

-0,3063943

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and FssatArv

t = -0,39846; df = 22; p-value = 0,6941

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4719293 0,3300183

sample estimates:

cor

-0,08464736

Pearson's product-moment correlation

data: LL and LP

t = 4,3643; df = 22; **p-value = 0,0002478**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,3830692 0,8508020

sample estimates:

cor

0,6812007

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and LP

t = -0,22719; df = 22; p-value = 0,8224

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4431289 0,3620828

sample estimates:

cor

-0,04838048

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and LP

t = -2,3592; df = 22; **p-value = 0,02761**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,72188861 -0,05612021

sample estimates:

cor

-0,4493443

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and LP

t = -2,1072; df = 22; **p-value = 0,04673**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,697835916 -0,007671205

sample estimates:

cor

-0,4097998

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and LP

t = -1,8228; df = 22; p-value = 0,08196

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,66801343 0,04821394

sample estimates:

cor

-0,3622279

Pearson's product-moment correlation

data: LP and LL

t = 4,3643; df = 22; **p-value = 0,0002478**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,3830692 0,8508020

sample estimates:

cor

0,6812007

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and LL

t = -0,44423; df = 22; p-value = 0,6612

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4794495 0,3213296

sample estimates:

cor

-0,09428915

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and LL

t = -0,77003; df = 22; p-value = 0,4495

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5307156 0,2582735

sample estimates:

cor

-0,1620016

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and LL

t = -0,85399; df = 22; p-value = 0,4023

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5432671 0,2417382

sample estimates:

cor

-0,1791263

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and LL

t = -0,58739; df = 22; p-value = 0,5629

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5024711 0,2938656

sample estimates:

cor

-0,1242617

Pearson's product-moment correlation

data: LP and VBi

t = -0,22719; df = 22; p-value = 0,8224

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4431289 0,3620828

sample estimates:

cor

-0,04838048

Pearson's product-moment correlation

data: LL and VBi

t = -0,44423; df = 22; p-value = 0,6612

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4794495 0,3213296

sample estimates:

cor

-0,09428915

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and VBi

t = -1,1486; df = 22; p-value = 0,263

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5851168 0,1831019

sample estimates:

cor

-0,2378641

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and VBi

t = -0,81289; df = 22; p-value = 0,425

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5371575 0,2498443

sample estimates:

cor

-0,170763

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and VBi

t = -0,38354; df = 22; p-value = 0,705

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4694622 0,3328395

sample estimates:

cor

-0,08149987

Pearson's product-moment correlation

data: LP and ysec

t = -2,3592; df = 22; **p-value = 0,02761**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,72188861 -0,05612021

sample estimates:

cor

-0,4493443

Pearson's product-moment correlation

data: LL and ysec

t = -0,77003; df = 22; p-value = 0,4495

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5307156 0,2582735

sample estimates:

cor

-0,1620016

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and ysec

t = -1,1486; df = 22; p-value = 0,263

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5851168 0,1831019

sample estimates:

cor

-0,2378641

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and ysec

t = 11,514; df = 22; **p-value = 8,762e-11**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,8344424 0,9679034

sample estimates:

cor

0,9261025

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and ysec

t = 3,4743; df = 22; **p-value = 0,002153**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,2524301 0,8052627

sample estimates:

cor

0,5952162

Pearson's product-moment correlation

data: LP and ynat

t = -2,1072; df = 22; **p-value = 0,04673**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,697835916 -0,007671205

sample estimates:

cor

-0,4097998

Pearson's product-moment correlation

data: LL and ynat

t = -0,85399; df = 22; p-value = 0,4023

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5432671 0,2417382

sample estimates:

cor

-0,1791263

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and ynat

t = -0,81289; df = 22; p-value = 0,425

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5371575 0,2498443

sample estimates:

cor

-0,170763

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and ynat

t = 11,514; df = 22; **p-value = 8,762e-11**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,8344424 0,9679034

sample estimates:

cor

0,9261025

Pearson's product-moment correlation

data: ysat and ynat

t = 3,2034; df = 22; **p-value = 0,004099**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,2078874 0,7880862

sample estimates:

cor

0,5639875

Pearson's product-moment correlation

data: LP and ysat

t = -1,8228; df = 22; p-value = 0,08196

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,66801343 0,04821394

sample estimates:

cor

-0,3622279

Pearson's product-moment correlation

data: LL and ysat

t = -0,58739; df = 22; p-value = 0,5629

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,5024711 0,2938656

sample estimates:

cor

-0,1242617

Pearson's product-moment correlation

data: VBi and ysat

t = -0,38354; df = 22; p-value = 0,705

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0,4694622 0,3328395

sample estimates:

cor

-0,08149987

Pearson's product-moment correlation

data: ysec and ysat

t = 3,4743; df = 22; **p-value = 0,002153**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,2524301 0,8052627

sample estimates:

cor

0,5952162

Pearson's product-moment correlation

data: ynat and ysat

t = 3,2034; df = 22; **p-value = 0,004099**

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0,2078874 0,7880862

sample estimates:

cor

0,5639875

APÊNDICE B – TESTE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.

Standard deviations (1, ..., p=10):

[1] 2,12616796 1,69238209 1,12486570 0,78270019 0,61884582 0,47363672

[7] 0,28392020 0,16371312 0,11768824 0,09351559

Rotation (n x k) = (10 x 10):

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
VBi	0,09636343	-0,12054880	0,77834243	-0,35563360	-0,39085834	-0,224901878	0,16885818	-0,060831577	0,08985551	0,015849167
LL	0,21039912	-0,30659283	-0,45812296	-0,42195243	-0,57429790	0,362102267	-0,03319114	-0,058384548	0,09121692	0,006743947
LP	0,17455930	-0,44950868	-0,32627649	-0,08665906	0,12418705	-0,778844336	0,16192376	0,065639655	0,01977861	0,023767098
ysec	0,17113371	0,51126149	-0,16995916	0,11794433	-0,29763748	-0,085462002	0,65875507	0,342823321	-0,05031263	-0,128913564
ynat	0,18376316	0,49757207	-0,11873525	0,14013023	-0,36472626	-0,391991869	-0,49095674	-0,335230568	0,15645667	0,142614797
ysat	0,09182040	0,41870166	-0,08672811	-0,78671952	0,42901673	-0,040487992	-0,05101130	0,004738947	-0,03133981	-0,022519614
FSsat	-0,45795909	0,03032166	-0,09673771	-0,10232848	-0,19006480	-0,130784167	0,12872478	-0,434366662	-0,69830414	-0,153044133
FSnat	-0,45420686	0,02550003	-0,01255576	-0,12897126	-0,24368647	-0,158939224	-0,39402163	0,723623607	-0,11119710	0,018997410
FssatArv	-0,46131887	0,05274193	-0,10023973	-0,07493993	-0,01247059	-0,003591956	0,29630073	-0,124099477	0,29927120	0,758823247
FsnatArv	-0,46437400	0,02796529	-0,08820591	-0,05268258	-0,02563859	-0,081993054	0,08336546	-0,175915253	0,60470267	-0,601728759

APÊNDICE C – TESTE DE GRUPAMENTO CLUSTER.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2	134,4																						
3	65,7	197,5																					
4	151,6	26,1	214,5																				
5	50,6	176,7	47,2	196,5																			
6	182,3	60,4	243,3	36,0	229,0																		
7	33,9	111,6	91,2	125,6	84,3	153,7																	
8	86,7	220,6	29,2	237,7	56,8	267,2	114,0																
9	44,8	91,8	107,0	110,3	88,9	141,8	30,8	129,4															
10	89,3	223,2	30,4	239,7	62,7	268,6	115,2	8,7	132,3														
11	170,2	54,2	231,4	29,7	217,4	16,1	141,2	254,7	130,4	255,9													
12	56,2	187,6	26,1	206,2	28,0	236,8	86,0	36,4	96,4	42,2	224,7												
13	50,3	184,5	21,8	201,5	33,3	231,4	78,8	36,9	93,9	39,5	219,1	18,7											
14	61,6	192,9	28,3	211,6	27,8	242,6	92,0	33,5	101,8	40,1	230,5	7,1	22,3										
15	284,3	152,4	346,5	132,9	328,7	104,8	257,0	369,9	242,1	371,8	117,6	338,2	334,1	343,7									
16	54,1	185,5	13,0	202,0	44,9	230,7	78,8	40,1	95,4	40,9	218,7	27,3	17,8	31,8	334,0								
17	71,2	203,3	7,5	220,2	50,1	249,1	97,1	25,4	112,8	25,9	237,0	29,3	25,9	30,6	352,2	18,9							
18	136,6	269,2	78,0	287,7	96,3	318,0	165,4	52,9	178,0	54,6	305,7	81,7	87,8	76,4	419,8	90,5	73,1						
19	77,0	211,1	21,0	227,6	52,5	256,7	103,5	14,2	120,5	13,4	244,3	33,5	27,3	32,4	359,9	29,7	18,0	65,3					
20	73,2	205,9	24,8	224,1	40,0	254,4	102,4	19,1	114,7	26,4	242,2	19,0	26,3	14,9	356,3	33,1	24,4	63,9	21,7				
21	13,8	135,3	64,3	151,9	56,7	181,5	30,8	86,6	44,4	88,8	169,3	56,4	51,7	62,5	283,8	52,7	69,9	136,7	77,2	73,7			
22	90,8	220,8	46,5	240,2	45,1	272,0	122,9	35,8	131,5	42,3	260,4	41,3	48,6	35,4	372,7	55,4	44,0	54,3	40,6	30,5	93,9		
23	30,2	104,5	94,8	121,7	76,9	153,0	22,8	116,6	19,1	119,1	141,0	85,2	80,3	90,6	254,4	82,8	100,4	166,3	106,9	102,7	33,6	119,6	
24	18,2	145,3	59,2	160,7	52,8	190,0	39,8	79,2	58,7	80,3	177,5	54,4	43,3	59,8	293,1	47,2	64,3	130,8	68,1	68,6	23,5	88,2	42,0

Call:

`hclust(d = d, method = "ward.D")`

Cluster method : ward.D

Distance : euclidean

Number of objects: 24

[1] 0.8738223

[1] 1 2 3 2 3 2 1 3 1 3 2 3 3 3 4 3 3 5 3 3 1 3 1 1

Call:

lda(grupos ~ ., data = dados[, 2:11], na.action = na.omit)

Prior probabilities of groups:

1	2	3	4	5
0,25000000	0,16666667	0,50000000	0,04166667	0,04166667

Group means:

VBi	LL	LP	ysec	ynat	ysat	FSsat	FSnat
1 157,07000	44,45833	35,1600	12,45500	16,27333	17,5250	2,166667	2,500000
2 300,33750	43,79000	35,9025	11,10250	16,17750	18,2675	3,250000	4,250000
3 75,63583	45,64333	38,3625	11,97833	16,73667	18,3125	5,083333	5,166667
4 425,71000	42,47000	44,4800	9,70000	14,59000	17,5100	1,000000	2,000000
5 5,91000	45,47000	48,3400	11,77000	16,01000	17,7900	1,000000	2,000000

FssatArv FsnatArv

1	3,00	3,333333
2	3,50	3,750000
3	5,25	5,500000
4	1,00	2,000000
5	3,00	3,000000

Coefficients of linear discriminants:

	LD1	LD2	LD3	LD4
VBi	-0,06088365	-0,001267501	0,001326715	0,001263293
LL	-0,01357606	-0,003248508	-0,038562365	0,076605374
LP	0,06550338	-0,055230626	0,121758964	-0,097287342
ysec	-0,34094349	1,438730746	-0,477443863	-0,390247846

ynat	0,50675241	-1,287631492	0,521024676	0,437737042
ysat	-0,13229855	-0,337523314	0,049704579	-0,174960112
FSsat	-0,28949815	-1,488838904	-1,508642429	-0,529734989
FSnat	-0,04697965	0,112962420	0,602721104	0,145748376
FssatArv	1,19588128	-0,085136375	2,178872777	1,772688676
FsnatArv	-0,68393933	1,265344238	-1,176716614	-1,353890981

Proportion of trace:

```

LD1 LD2 LD3 LD4
0,9426 0,0439 0,0103 0,0031
[1] "prior" "counts" "means" "scaling" "lev" "svd" "N"
[8] "call" "terms" "xlevels"
1 2 3 4 5
6 4 12 1 1
$class
[1] 1 2 3 2 3 2 1 3 1 3 2 3 3 4 3 3 5 3 3 1 3 1 1
Levels: 1 2 3 4 5

```

\$posterior

	1	2	3	4	5
1	9,998245e-01	2,283092e-22	1,754718e-04	1,135211e-74	1,597197e-21
2	5,007163e-14	1,000000e+00	2,867525e-35	5,331248e-20	1,085598e-76
3	6,193924e-10	2,426486e-46	1,000000e+00	4,661534e-114	2,033185e-10
4	2,160584e-14	1,000000e+00	3,796768e-40	4,103494e-20	6,780947e-77
5	8,726744e-06	7,865618e-32	9,999913e-01	1,527381e-91	8,176835e-17
6	1,174758e-23	1,000000e+00	2,323670e-50	4,005071e-15	1,077552e-92
7	1,000000e+00	3,035299e-17	9,413069e-11	1,319029e-60	7,733816e-34
8	1,983157e-14	8,546570e-51	1,000000e+00	3,008548e-121	1,069365e-10
9	1,000000e+00	1,226765e-15	9,835844e-11	7,457593e-59	1,218194e-29
10	1,658355e-11	1,833774e-51	9,999997e-01	1,450688e-122	3,097008e-07
11	7,004057e-22	1,000000e+00	5,092998e-49	3,940445e-14	6,985558e-92
12	4,332478e-11	9,521104e-43	1,000000e+00	3,863659e-108	9,905506e-13

13	4,438445e-05	2,332354e-36	9,999556e-01	4,674368e-98	2,406735e-15
14	1,286048e-08	1,395066e-44	9,999994e-01	2,124902e-110	5,861329e-07
15	7,873353e-63	3,878417e-16	1,822014e-109	1,000000e+00	1,016241e-167
16	2,399550e-11	6,615436e-43	1,000000e+00	4,862560e-110	1,155935e-13
17	4,842977e-11	2,122458e-43	1,000000e+00	1,556263e-109	8,821618e-14
18	2,122472e-27	2,454820e-83	2,532410e-09	1,016241e-167	1,000000e+00
19	9,702227e-09	5,233033e-45	1,000000e+00	1,964844e-112	4,904498e-12
20	3,802354e-12	3,059867e-49	1,000000e+00	2,044713e-118	1,008472e-08
21	1,000000e+00	1,039406e-21	2,373641e-11	1,598464e-65	1,764984e-28
22	1,946738e-12	3,634929e-51	1,000000e+00	4,643759e-123	2,255086e-09
23	1,000000e+00	3,556810e-15	8,034904e-13	1,631292e-56	3,667579e-34
24	9,999997e-01	6,511592e-21	2,531773e-07	3,757535e-70	4,310930e-26

\$x

	LD1	LD2	LD3	LD4
1	0,2988552	1,12117604	-0,02919268	1,24571409
2	-8,4022700	-1,79040573	-1,23006321	-1,53769148
3	4,7599130	-0,28886745	-0,43620519	-0,03218537
4	-8,9829822	0,52619312	0,97531617	1,57597521
5	2,4155142	-1,47880411	-0,19711725	0,02061623
6	-10,5990927	-1,65985028	1,63056911	1,64092641
7	-1,7175158	1,94583977	-2,11703108	-0,06749889
8	5,4940409	-2,18638420	0,03601822	-0,71282604
9	-1,8338755	2,03592023	1,06566785	-0,16893448
10	5,6310895	0,16700936	0,07243993	0,34351002
11	-10,4883912	-1,17360256	0,52819770	0,36949086
12	4,1847390	-2,04126353	0,48473285	-1,10793900
13	3,0837662	0,09327125	-1,74134941	0,33699834
14	4,5154794	0,51022613	1,67503183	-1,20802207
15	-17,9333576	-0,27659913	0,19286058	-1,47853911
16	4,2584715	-2,24441903	-0,05600843	0,59958956

17	4,2732823	-1,97421036	-0,47616508	-0,45644421
18	9,5223268	2,18286288	2,93670065	-0,19831134
19	4,5274665	0,01348474	-1,52334185	0,87032825
20	5,2534632	-0,88195123	0,58298214	-0,77435705
21	-1,0967164	3,75955132	-0,58174174	-1,67579641
22	5,5947713	-0,69474197	-0,55958218	1,17729373
23	-2,3139845	2,54117240	-0,45265434	0,07043641
24	-0,4449932	1,79439234	-0,78006462	1,16766636

APÊNDICE D – SCRIPTS UTILIZADOS NO R.

```
#!/bin/Rscript

# Carrega os dados do arquivo dados.csv e transforma colunas em variáveis
respostas <- read.csv("./dados.csv");
attach(respostas)

# Matrizes
sigma <- cov(respostas[,2:11])
# Correlação linear de Pearson (indica que pode haver uma linha que correlacione)
R <- cor(respostas[,2:11])

plot(respostas)

# Faz o teste de correlação de Pearson de forma fatorial entre cada par de variáveis
cor.test(LL, LP)
cor.test(VBi, LP)
cor.test(ysec, LP)
cor.test(ynat, LP)
cor.test(ysat, LP)

cor.test(LP, LL)
cor.test(VBi, LL)
cor.test(ysec, LL)
cor.test(ynat, LL)
cor.test(ysat, LL)

cor.test(LP, VBi)
cor.test(LL, VBi)
cor.test(ysec, VBi)
cor.test(ynat, VBi)
cor.test(ysat, VBi)

cor.test(LP, ysec)
cor.test(LL, ysec)
cor.test(VBi, ysec)
cor.test(ynat, ysec)
cor.test(ysat, ysec)

cor.test(LP, ynat)
cor.test(LL, ynat)
cor.test(VBi, ynat)
cor.test(ysec, ynat)
cor.test(ysat, ynat)
```

cor.test(LP, ysat)
cor.test(LL, ysat)
cor.test(VBi, ysat)
cor.test(ysec, ysat)
cor.test(ynat, ysat)

cor.test(LP, FSnat)
cor.test(LL, FSnat)
cor.test(VBi, FSnat)
cor.test(ysec, FSnat)
cor.test(ynat, FSnat)
cor.test(ysat, FSnat)

cor.test(LP, FSsat)
cor.test(LL, FSsat)
cor.test(VBi, FSsat)
cor.test(ysec, FSsat)
cor.test(ynat, FSsat)
cor.test(ysat, FSsat)

cor.test(LP, FsnatArv)
cor.test(LL, FsnatArv)
cor.test(VBi, FsnatArv)
cor.test(ysec, FsnatArv)
cor.test(ynat, FsnatArv)
cor.test(ysat, FsnatArv)

cor.test(LP, FssatArv)
cor.test(LL, FssatArv)
cor.test(VBi, FssatArv)
cor.test(ysec, FssatArv)
cor.test(ynat, FssatArv)
cor.test(ysat, FssatArv)


```
#!/bin/Rscript
# Importa bibliotecas ggplot2, ggbiplot, GGally e CCA
library("ggplot2")
require(ggplot2)
require(GGally)
require(CCA)
library(ggbiplot)

# Carrega os dados do arquivo dados.csv e transforma colunas em variáveis
respostas <- read.csv("./dados.csv");
attach(respostas)

# Prepara e imprime a matriz de correlação
ggpairs(respostas[,2:11])
print(respostas[,2:11])

# Calcula as componentes principais
respostas.pca <- prcomp(respostas[,2:11], center = TRUE, scale. = TRUE)

# Gera o gráfico biplot das 2 componentes principais com maior relevância
ggbiplot(respostas.pca, labels=1:24)

# Imprime a matriz das componentes principais
print(respostas.pca)
```

```
#!/bin/Rscript
# Importa bibliotecas vegan e MASS
library(vegan)
library(MASS)

# Carrega os dados do arquivo dados.csv e transforma colunas em variáveis
dados <- read.csv("dados.csv");
attach(dados)

# Monta a matriz de distâncias entre as variáveis de interesse usando distância
euclidiana
d <- dist(dados[,2:11], method="euclidean")

# Faz arredondamento dos valores em 2 casa decimais
round(d,2)

# Gera os agrupamentos usando o método ward.D
agrupamentos <- hclust(d, "ward.D")

# Gera a visualização dendograma dos agrupamentos em um arquivo PNG, usando a
primeira coluna como legenda
png(file="./dendograma.png", width=600, height=600)
plot(agrupamentos, ylab="distância", labels=dados[,1])
```