



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Câmpus Pau dos Ferros
BR 226, Km 405, São Geraldo CEP 59900-000 – Tel.: 84 9178 1549 – Pau dos Ferros-RN

CONVOCAÇÃO

O Presidente do Conselho de Centro (CC) no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF), convoca todos os conselheiros a se fazerem presentes, de modo remoto, à **7ª Reunião Ordinária de 2021**, com data e horário abaixo discriminados, para cumprir a seguinte pauta:

1. Apreciação e deliberação sobre ata da 6ª Reunião Ordinária de 2021 no CC / CMPF;
2. Apreciação e deliberação sobre renovação de afastamento do servidor docente *Jose Daniel Jales Silva* conforme processo 23091.003543/2020-74;
3. Apreciação e deliberação sobre solicitação de espaço físico do Campus, ao grupo de professores da Matemática, para desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão;
4. Apreciação da pauta da 7ª Reunião Ordinária de 2021 no CONSEPE;
5. Informes e outras ocorrências.

Data: 18 de agosto de 2021 (quarta-feira)

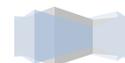
Horário: 14h30min às 16h30min

Local: Remotamente

Pau dos Ferros/RN, 12 de agosto de 2021.

Reudismam Rolim de Sousa

Presidente





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BR 226, KM 405, s/n, São Geraldo - Pau dos Ferros/RN

Telefone: (84) 3317-8512 e-mail: cmpf@ufersa.edu.br, campuspauudosferros@ufersa.edu.br

ATA DA SEXTA REUNIÃO ORDINÁRIA DE DOIS MIL E VINTE E UM NO CONSELHO DE CENTRO (CC) NO CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS (CMPF) DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO (UFERSA).

1 Às oito horas e trinta minutos de terça-feira, vinte e sete de julho de dois mil e vinte e um, e de
2 modo remoto, o professor **Reudismam Rolim de Sousa**, Diretor no CMPF, e, Presidente neste CC,
3 inicia a Sexta Reunião Ordinária de 2021 no CC/CMPF da UFERSA. Presentes, virtualmente, os
4 coordenadores de curso: **Cecilio Martins de Sousa Neto, Jorge Luis de Oliveira Pinto Filho, Pedro**
5 **Thiago Valério de Souza, Rafaela Santana Balbi, Samara Martins Nascimento, Sanderlir Silva**
6 **Dias, Wesley de Oliveira Santos**, os chefes de departamento: **Eduardo Raimundo Dias Nunes**
7 (DCSAH), **Francisco Ernandes Matos Costa** (DECEN), **Vinícius Samuel Valério de Souza** (DETEC),
8 os representantes docentes: **Monique Lessa Vieira Olímpio** (DCSAH), **Antonio Diego Silva Farias**
9 (DECEN), **Veronica Maria Lima Silva** (DETEC), a representante discente: **Emanuelle Fernandes**
10 **Primo Oliveira**, o representante técnico-administrativo: **Carlos Victor Saraiva Lacerda**. Ausência
11 justificada: *Priscila Simeia de Melo Teixeira*. **PAUTA: primeiro ponto** Apreciação e deliberação
12 sobre ata da 6ª Reunião Extraordinária e ata da 5ª Reunião Ordinária, ambas de 2021 no CC /
13 CMPF; **segundo ponto** Apreciação e deliberação sobre a pauta da 5ª Reunião Ordinária (RO) de
14 2021 no CONSEPE; **terceiro ponto** Informes e outras ocorrências. Constatado o *quórum* virtual,
15 o presidente saúda a todos e, apresenta a justificativa de ausência, a qual foi aprovada por
16 unanimidade e sem abstenção. Na sequência, realiza a leitura da pauta, a coloca em discussão.
17 São apresentadas as propostas de inclusão de ponto, pelo DETEC, que é aprovado por
18 unanimidade e sem abstenção, como **segundo ponto**: Apreciação e deliberação sobre perfil para
19 vaga de professor substituto 40h do DETEC; pelo DCSAH, que são aprovados em bloco, por
20 unanimidade e com três abstenções, como **terceiro ponto**: Apreciação e deliberação sobre
21 solicitação de renovação de afastamento e afastamento do país da docente *Bárbara Laís Felipe*
22 *de Oliveira*; e como **quarto ponto**: Apreciação e deliberação sobre o perfil e pontos do concurso
23 de substituto para a professora *Bárbara Laís Felipe de Oliveira*; os demais pontos são alterados
24 para **quinto ponto** e **sexto ponto**, sequencialmente. Dessa maneira, a pauta como um todo é
25 aprovada por unanimidade e sem abstenção. No **primeiro ponto** a ata da 6ª Reunião
26 Extraordinária de 2021 no CC / CMPF é aprovada por unanimidade, com três abstenções e com
27 ressalvas. A ata da 5ª Reunião Ordinária de 2021 no CC / CMPF é aprovada por unanimidade,
28 com duas abstenções e sem ressalva. No **segundo ponto** é proposto e aprovado por unanimidade
29 e com duas abstenções o acréscimo no perfil 'dois' de: *Graduação em Sistemas de Informação,*
30 *Graduação em Licenciatura em Computação e Informática*. O ponto é aprovado por unanimidade
31 e com uma abstenção. Durante o **terceiro ponto** a participação da professora *Bárbara Laís Felipe*
32 *de Oliveira* é aprovada por unanimidade e sem abstenção. O ponto é aprovado por unanimidade
33 e sem abstenção. O **quarto ponto**, sem discussão, é aprovado por unanimidade e com uma
34 abstenção. No **quinto ponto** algumas colocações para o posicionamento do representante do
35 CMPF no CONSEPE são apresentadas. No **sexto ponto** as informações referem-se à eleição para
36 Chefe no DETEC, professores *Gláydson Francisco Barros de Oliveira, Josenildo Ferreira Galdino;*
37 vaga do professor *Lauro Cesar Bezerra Nogueira*; felicitações à professora *Bárbara Laís Felipe de*
38 *Oliveira* pela aprovação como única representante de nordeste brasileiro no doutorado



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SÊMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

REQUERIMENTO E ANEXOS PARA RENOVAÇÃO DE AFASTAMENTOS DE SERVIDORES DOCENTES DA UFERSA PARA QUALIFICAÇÃO EM INSTITUIÇÕES NACIONAIS OU ESTRANGEIRAS EM NÍVEL DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*

1. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

Nome: José Daniel Jales Silva

Identidade: 002.288.211 **Órgão Emissor:** SSP/RN **UF:** RN **Data de emissão:** 27/03/2001

CPF: 064.748.054-98 **Data de Nascimento:** 10/05/1991 **Tel.:** (84) 9 8885-4516

E-mail: daniel.jales@ufersa.edu.br **Departamento/Setor:** DETEC/CMPF

Tipo de Afastamento: Integral: (X) Parcial: ()

Tempo de Serviço Averbado para Aposentadoria: 04 anos e 11 meses

Início de Exercício no Cargo: 15/07/2016 **Total:** 04 anos e 11 meses

2. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

CURSO: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

Nível: Mestrado () Doutorado (X)

Área de concentração: Geotecnia

Liberação inicial: Início 22/09/2020 Término: 21/09/2021

Período solicitado para (renovação): Início 22/09/2021 Término: 21/09/2022

Previsão para término do curso: 28/02/2023

ANEXAR (Obrigatório)

I. Lista de verificação própria disponibilizada pela PROPPG (**Check-List**); (**Anexo I**)

II – Justificativa de seu requerimento; (**Anexo II**)

III- Relatório de atividades acadêmicas (Anexo III) (quando se tratar do relatório referente ao 3º semestre (mestrado) e 5º semestre (doutorado), deverá ser acompanhado do **projeto de dissertação/Tese**)

IV- Relatório de avaliação de desempenho, feito pelo/a orientador/a (Anexo IV)

V - Declaração de matrícula (Local da pós-graduação) (Anexo V)

VI- Histórico Escolar (Anexo VII) (Disponível na Página da PROPPG)

VII- Termo de Compromisso dos docentes que assumirão os componentes curriculares do docente afastado, durante o período de renovação do afastamento, restrito aos casos de indisponibilidade de vaga para contratação de professor substituto; (**Anexo VII**)

VIII – Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas; (**Anexo VIII**)

IX - Parecer da chefia imediata (Departamento acadêmico de lotação do requerente); (**Anexo IX**)

X - Parecer do Conselho do Centro ao qual o requerente faz parte. (**Anexo X**).

XI-Declaração que não responde a PAD ou Sindicância (<https://progepe.ufersa.edu.br/formularios/>);

XII - Declaração de Licenças e Afastamentos (<https://progepe.ufersa.edu.br/solicitacao-de-declaracao-3/>);

XIII - Cópia do trecho do Plano de Desenvolvimento de Pessoas (PDP) da Ufersa, onde está indicada a necessidade de desenvolvimento correlacionando o afastamento com as competências aprovadas no PDP vigente da UFERSA (<https://progepe.ufersa.edu.br/planos-de-desenvolvimento-de-pessoas-anuais/>).

Obs. A renovação de afastamento para qualificação em nível de pós-graduação stricto sensu dar-se-á nos termos da legislação em vigor, devendo a manifestação de intenção de renovação do



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SÊMI-ÁRIDO - Ufersa
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

afastamento ser protocolada em até 60 (sessenta) dias antes do término do afastamento. Conforme Art. 19. da RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25/06/2018

Data: 30/06/2021

JOSE DANIEL JALES Assinado de forma digital por JOSE DANIEL JALES SILVA:06474805498
SILVA:06474805498 Dados: 2021.06.30 17:36:30 -03'00'

José Daniel Jales Silva
SIAPE: 1255130

Dúvidas? Leia a: RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25 de junho de 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SÊMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo I)

Check-List – Renovação de Afastamento para qualificação

Nome do solicitante: José Daniel Jales Silva	
Local da Qualificação:	
<input checked="" type="checkbox"/> No País <input type="checkbox"/> No exterior	
Período solicitado para renovação do afastamento: 22/09/2021 a 21/09/2022	
Documentos Anexados – Processo de Renovação:	Número da página (Preenchido pela PROPPG):
I. Lista de verificação própria disponibilizada pela PROPPG (Check-List); (Anexo I)	
II. Justificativa de seu requerimento; (Anexo II)	
III. Relatório de atividades acadêmicas (Anexo III)	
IV. Relatório de avaliação de desempenho, feito pelo orientador (Anexo IV)	
V. Declaração de Matrícula (Anexo V)	
VI. Histórico Escolar – Atualizado (Anexo VI)	
VII – Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas; (Anexo VIII)	
VIII. Documentação que formalize a substituição do(a) interessado: (Anexo VIII) <input type="checkbox"/> Utilização de vaga ou disponibilidade de professor substituto a ser contratado(a) <input type="checkbox"/> Termo de Compromisso dos docentes que assumirão as disciplinas	
IX. Parecer da chefia imediata (Departamento acadêmico de lotação do requerente); (Anexo IX)	
X. Parecer do Conselho do Centro ao qual o requerente faz parte. (Anexo X).	



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS
DIVISÃO DE ADMINISTRAÇÃO DE PESSOAL

DECLARAÇÃO

Declaramos, para os fins que se fizerem necessários, que **José Daniel Jales Silva**, portador(a) do CPF nº 064.748.054-98, matrícula Siape nº 1255130, é servidor(a) do Quadro Permanente desta Universidade, admitido(a) em 15 de julho de 2016, ocupante do cargo de Professor do Magistério Superior, com lotação no(a) Departamento de Engenharias e Tecnologia do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros.

Eu, Laura Maria Araújo Mendes Pereira, ocupante do cargo de Assistente em Administração, digitei e conferi a presente declaração, conforme dados extraídos do Sistema Integrado de Administração de Recursos Humanos – SIAPE, nesta data.

Pau dos Ferros/RN, 16 de junho de 2021.

DHOUGO
ARAGONES AMARO DA
SILVA:01031095446
Assinado de forma digital
por DHOUGO ARAGONES
AMARO DA
SILVA:01031095446
Dados: 2021.06.16 18:05:09
-03'00'
D'hougo Aragonês Amaro da Silva
Diretor



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo II)

JUSTIFICATIVA PARA O AFASTAMENTO

Eu, José Daniel Jales Silva, portador do CPF 064.748.054-98 RG nº 002.288.211 SSP/RN, matrícula SIAPE nº 1255130, professor do curso de Engenharia Civil no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), venho solicitar renovação do afastamento integral das minhas atividades no período de 22/09/2021 a 21/09/2022 para continuação do curso de Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

Durante o primeiro período de afastamento cursei disciplinas da área de geotecnia no meu programa de origem bem como em outras instituições de ensino superior do país, como aluno especial, no intuito de cumprir os créditos mínimos exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG. Além disso, trabalhei no estudo da temática, escrita da revisão bibliográfica e metodologia da pesquisa bem como na execução das primeiras atividades laboratoriais. Por fim, realizei a elaboração e defesa do Seminário de Pesquisa I (Plano de Tese), requisito parcial para o processo de doutoramento.

Atualmente estou realizando procedimentos de ensaios da 2ª etapa metodológica referentes à produção de amostras e execução de ensaios de desempenho, assim como, escrevendo artigo para submissão em periódico. Neste novo período de afastamento pretendo dar início às próximas etapas da pesquisa, submeter artigo e cumprir o exame de qualificação.

A formação no doutorado está sendo de grande enriquecimento quanto às minhas competências para atuação junto à docência na UFERSA, permitindo um aprofundamento na minha área de atuação bem como estabelecimento de redes de pesquisa. Desse modo, considerando a necessidade de dedicação às atividades do doutorado bem como os benefícios que esta formação trará para a instituição e minha carreira docente, solicito renovação do meu afastamento no período supracitado.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SÊMI-ÁRIDO - UFRSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

Data: 30 de junho de 2021

JOSE DANIEL JALES
SILVA:06474805498

Assinado de forma digital por JOSE
DANIEL JALES SILVA:06474805498
Dados: 2021.06.30 17:37:01 -03'00'

José Daniel Jales Silva
SIAPA: 1255130

Dúvidas: RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25 de junho de 2018.

PROPPG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo III)

RELATÓRIO DE ATIVIDADES ACADÊMICAS

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
(PPGECA/UFCG)**

Aluno: José Daniel Jales Silva

Semestre 2020.2

- Cumprimento da disciplina
 - Fundações (UFCG)
- Pesquisa, levantamento e estudo da temática.
- Coleta e caracterização dos materiais da pesquisa em laboratório.
- Escrita do plano de tese.

Semestre 2021.1

- Cumprimento das disciplinas
 - PEC1408 - Engenharia de Geossintéticos (UFRN)
 - ENC362409 - Barragens (UNB)
 - ENC362506 - Obras Subterrâneas (UNB)
 - COC748 - Estruturas de Contenção (UFRJ)
- Produção de amostras e realização de ensaios de desempenho.
- Elaboração e defesa do Seminário de Pesquisa I (Plano de Tese)

Data: 30 de junho de 2021

JOSE DANIEL JALES
SILVA:06474805498

Assinado de forma digital por JOSE
DANIEL JALES SILVA:06474805498
Dados: 2021.06.30 17:37:25 -03'00'

**José Daniel Jales Silva
SIAPE 1255130**

Olavo F. Santos Jr.

**Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior
Orientador - PPGECA/UFCG**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SÊMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo IV)

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Declaro que o aluno José Daniel Jales Silva, matriculado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob o número 191002030187, vem cumprindo satisfatoriamente suas atividades, conforme descrito no relatório de atividades acadêmicas dos semestres 2020.2 e 2021.1.

Data: 30 de junho de 2021

Olavo F. Santos Jr.

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior
Orientador - PPGECA/UFCG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

JOSÉ DANIEL JALES SILVA

**USO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO E CAL PARA A
MITIGAÇÃO DO POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO EM AREIA EÓLICA**

Campina Grande – PB

Fevereiro/2021

JOSÉ DANIEL JALES SILVA

**USO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO E CAL PARA A
MITIGAÇÃO DO POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO EM AREIA EÓLICA**

Seminário de Pesquisa I apresentado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de doutor em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Geotecnia

Orientador: Olavo Francisco dos Santos Júnior

Campina Grande – PB

Fevereiro/2021

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tombamento de blocos de apartamentos em Kawagishi-Cho, Niigata.	12
Figura 2 – Representação da Linha de Estados Permanentes (SSL)	14
Figura 3 – Mecanismos de ruptura associados à liquefação.....	15
Figura 4 – Resposta cíclica de areia fofa (a), medianamente compacta (b) e compacta (c). ..	17
Figura 5 – Curvas de resistência à liquefação para diferentes materiais.	18
Figura 6 – Ciclo simétrico de histerese.	20
Figura 7 – Gráfico de granulometria com regiões de suscetibilidade à liquefação.....	24
Figura 8 – Conceituação do parâmetro de estado.....	25
Figura 9 – Esquema do programa experimental da pesquisa.	33
Figura 10 – Posição da curva granulométrica da areia de Natal em relação aos limites de solos suscetíveis à liquefação.	40
Figura 11 – Parâmetros de estado dos ensaios estáticos a serem executados.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros dos ensaios triaxiais estáticos.	36
Tabela 2 – Parâmetros dos ensaios triaxiais cíclicos na areia pura.	38
Tabela 3 – Parâmetros dos ensaios triaxiais cíclicos no solo estabilizado.	38
Tabela 4 – Comparação das características físicas da areia de Natal.	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 Objetivo Geral	9
1.1.2 Objetivos Específicos.....	9
2 JUSTIFICATIVA	10
2.1 HIPÓTESES	10
3 REVISÃO DA LITERATURA	11
3.1 ASPECTOS GERAIS DA LIQUEFAÇÃO	11
3.2 CONSEQUÊNCIAS DA LIQUEFAÇÃO.....	12
3.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS AREIAS	13
3.4 MECANISMOS DE RUPTURA.....	14
3.5 CARREGAMENTOS CÍCLICOS EM AREIAS SATURADAS.....	15
3.5.1 Resistência à Liquefação	17
3.5.2 Propriedades Dinâmicas do Solo.....	18
3.5.3 Fatores que Influenciam a Resistência sob Carregamentos Cíclicos.....	20
3.6 AVALIAÇÃO DOS SOLOS EM ENSAIO TRIAXIAL CÍCLICO	21
3.7 CRITÉRIOS DE SUSCETIBILIDADE	22
3.7.1 Critério Histórico.....	23
3.7.2 Critério Geológico	23
3.7.3 Critério de Composição	23
3.7.4 Critérios de Estado	24
3.8 MITIGAÇÃO DA LIQUEFAÇÃO	25
3.8.1 Estabilização Química.....	26
3.8.1.1 Utilização de Resíduos Industriais	27
3.8.2 Comportamento Mecânico de Solos Quimicamente Estabilizados.....	29
3.8.2.1 Resposta em carregamentos dinâmicos	30
4 METODOLOGIA.....	32
4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	33
4.1.1 AREIA EÓLICA	33
4.1.2 PÓ DE PORCELANATO	34
4.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS	35
4.3 PROGRAMA DE ENSAIOS	35

4.4 ENSAIOS TRIAXIAIS	36
4.4.1 Ensaios Estáticos.....	36
4.4.2 Ensaios Dinâmicos	37
5 RESULTADOS ESPERADOS	39
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	39
5.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS MISTURAS	41
5.3 ENSAIOS TRIAXIAIS ESTÁTICOS	41
5.4 ENSAIOS TRIAXIAIS DINÂMICOS.....	42
6 CRONOGRAMA.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O estudo da liquefação dos solos tem ganhado grande atenção nas últimas décadas em razão de sua ocorrência em eventos dinâmicos e estáticos ao redor do mundo, sendo a causa de consideráveis prejuízos materiais e de vidas humanas. Seu desencadeamento se dá através da aplicação de tensões cisalhantes na massa de solo que, em razão de uma tendência contrativa do material, causa o surgimento de poropressões capazes de reduzir as tensões efetivas e provocar uma perda repentina de resistência, principalmente em solos não coesivos.

De maneira geral, o potencial de liquefação depende de vários fatores como tensão de confinamento, densidade relativa, granulometria, plasticidade, formato dos grãos, teor de finos, histórico de tensões e métodos de preparação das amostras para testes de laboratório. Em função disso, as análises e correlações diferem de um solo para o outro e cada pesquisa contribui para a ampliação no conhecimento da influência desses fatores. Além disso, segundo Kumar, Krishna e Dey (2018) as análises de resposta dinâmica devem ser baseadas nas propriedades obtidas especificamente para um solo, a adoção de dados padronizados pode levar a resultados impróprios.

Nos depósitos eólicos, os agentes atuantes tendem a formar grãos de granulometria uniforme que possuem maior suscetibilidade à liquefação (IDRISS e BOULANGER, 2008). Além disso, a presença de estruturas como aerogeradores ou outras fontes de ações dinâmicas em regiões com solos dessa categoria pode propiciar as condições necessárias ao desencadeamento da liquefação.

Em razão da importância do tema, estudos vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas com o intuito de compreender melhor os mecanismos que estão associados à perda de resistência dos solos por liquefação (TRIANTAFYLLOS et al., 2020; ZHONGXUN et al., 2019; LENTINI e CASTELLI, 2019; GHADR e ASSADI-LANGROUDI, 2019; KUMAR, KRISHNA e DEY, 2018; DU e CHIAN, 2018) e de desenvolver técnicas que possam reduzir sua probabilidade de ocorrência ou mitigar seus efeitos nas estruturas (RIVEROS e SADREKARIMI, 2020; XIAO et al., 2019; MOUSAVI e GHAYOUMI, 2021).

O melhoramento do solo local é uma das técnicas mais utilizadas para este fim, podendo ser proporcionado pelo incremento na resistência ao cisalhamento não drenada e rigidez ou ainda na eficácia da dissipação dos excessos de poropressão gerados (YOSHIDA, 2018). Enquanto técnicas de densificação em larga escala (*Vibroflotation*, *Dynamic Compaction*), reforço pela inclusão de materiais mais resistentes (colunas pré-fabricadas ou de geomateriais) ou solidificação (*deep mixing*) já foram muito utilizados, atualmente, novos métodos como

remediação passiva, geotecnologias microbianas e estabilização química com materiais alternativos ganham cada vez mais atenção. Dentre as razões destacam-se os altos custos envolvidos, possibilidade de danos em construções vizinhas e efeitos ambientais negativos das soluções passadas (BAO et al., 2019).

A estabilização química do solo é obtida pela inclusão de agentes cimentantes como cimento e cal, proporcionando assim uma união entre as partículas, preenchimento de vazios e consequentemente aumento da resistência dinâmica em solicitações não drenadas por redução da tendência contrativa da estrutura (NICHOLSON, 2014; FIROOZI et al., 2017). A utilização da cal no melhoramento de solos é uma técnica muito antiga (DASH e HUSSAIN, 2012) e no caso de solos arenosos só é possível pela adição de materiais pozolânicos, fontes de sílica e alumina capazes de reagir para formar silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (SILVANI, BENETTI e CONSOLI, 2019). Além disso, o uso de misturas de cal e pozolanas em substituição ao cimento Portland, cuja produção é responsável por 8% das emissões globais de CO₂ (ANDREW, 2018), traz ganhos ambientais significativos.

A adoção de tecnologias cada vez mais sustentáveis tem levado à utilização de subprodutos industriais nessas operações como forma ainda de reduzir os problemas associados à sua destinação e os custos produtivos. Resíduos como a cinza volante (SIMATUPANG et al., 2020), pó de vidro (BALDOVINO et al., 2020) e cinza da biomassa (CONSOLI et al., 2019a) podem ser efetivamente incorporados nas misturas e tem sido utilizados para melhorar o desempenho de obras geotécnicas.

O resíduo do polimento do porcelanato (RPP), um componente de grande produção mundial (DE MATOS et al., 2018), também pode ser incluso nessa categoria de materiais. Formado pelo desgaste de peças de porcelanato com materiais abrasivos, possui elevada atividade pozolânica (JACOBY e PELISSER, 2015) e já foi incorporado em concretos (MEDEIROS, 2019) e argamassas (LI et al., 2020) em substituição parcial ao cimento, proporcionando expressivos ganhos nas propriedades mecânicas e de durabilidade desses compósitos. Entretanto, enquanto alguns estudos incorporaram esse material em solos visando seu efeito físico na estrutura (ARAÚJO, 2016; SILVA, 2016), não há pesquisas que se detiveram no uso para o melhoramento por métodos químicos de estabilização.

Logo, torna-se viável investigar as implicações da incorporação do resíduo de polimento de porcelanato em uma areia de origem eólica visando, juntamente com a cal, compor um material cimentício alternativo e proporcionar um aumento no desempenho desses solos frente às solicitações dinâmicas que possam levar ao desencadeamento do fenômeno de liquefação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo estudar a suscetibilidade à liquefação dinâmica de areias de origem eólica em seu estado natural e estabilizadas pela introdução de um cimento alternativo composto por cal e resíduo do polimento de porcelanato.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Promover a caracterização química e geotécnica dos materiais estudados, em especial o potencial de atividade pozolânica do resíduo industrial.
- Verificar as implicações da incorporação do cimento alternativo nas propriedades mecânicas da areia.
- Avaliar o potencial de liquefação da areia eólica através de ensaios triaxiais estáticos e dinâmicos na condição não drenada.
- Obter a Linha de Estados Permanentes do solo e os parâmetros de ação cíclica que conduzem ao seu processo de liquefação.
- Analisar a mitigação do potencial de liquefação da areia pela introdução do resíduo de polimento de porcelanato em diferentes proporções.

2 JUSTIFICATIVA

A liquefação dos solos tem se tornado um tema de grande interesse para os engenheiros geotécnicos, principalmente no que tange o entendimento das condições que desencadeiam esse fenômeno. Entretanto, enquanto a suscetibilidade à liquefação e os parâmetros que influenciam nesse aspecto já foram amplamente estudados para o caso de solos não cimentados, há informações limitadas sobre a resposta de solos estabilizados (VRANNA e TIKKA, 2020; RASOULI, FATAHI e NIMBALKAR, 2019; PORCINO, MARCIANÒ e GRANATA, 2015; CLOUGH et al., 1989).

Em solos compactados que passaram por processos de melhoria química um parâmetro utilizado para estimar a resistência dos corpos de prova analisados é o índice porosidade/ligante (η/C_{lv}) que relaciona a porosidade da amostra e o conteúdo volumétrico de material ligante presente na mistura. Relações entre esse índice e parâmetros de resposta em ensaios triaxiais como o ângulo de estado crítico, potencial de liquefação, razão de resistência cíclica e módulo cisalhante ainda não foram investigadas.

Ademais, o resíduo de polimento do porcelanato além de possuir características físico-químicas que viabilizam sua incorporação como material suplementar para estabilização dos solos em misturas cimentícias, constitui um problema de destinação para as indústrias geradoras, com elevados custos associados a essa operação. Assim, a proposta desta pesquisa pode demonstrar uma opção sustentável de destinação, evitando a disposição em aterros apenas para fins de confinamento, e agregando considerável valor ao material residual.

2.1 HIPÓTESES

- A aplicação de cargas cíclicas causa o desencadeamento do fenômeno de liquefação por fluxo no solo arenoso, especialmente em condições de baixa compacidade relativa.
- O resíduo de polimento de porcelanato reage com a cal para formar compostos cimentícios. Com isso, a resistência mecânica do solo estabilizado é superior à da areia natural.
- A incorporação do resíduo provoca uma redução no potencial de liquefação do solo estabilizado.
- O desempenho das misturas é proporcional ao teor de ligante incorporado e à relação vazios/aglomerante.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ASPECTOS GERAIS DA LIQUEFAÇÃO

A liquefação é um fenômeno que ocorre em razão de carregamentos monotônicos ou cíclicos, e que causam uma diminuição da resistência efetiva e rigidez dos solos. Sob esses tipos de carregamentos, os solos saturados com tendência contrativa apresentam incrementos de poropressão capazes de reduzir as tensões de confinamento as quais estavam submetidos, dando origem a elevadas deformações e redução da resistência ao cisalhamento (IDRISS e BOULANGER, 2008).

Durante a solitação dinâmica como em um sismo, a ocorrência de repetidas ondas cisalhantes no solo, em conjunto com um pequeno tempo de aplicação, dificulta a drenagem dos excessos de poropressão gerados, até mesmo em solos de elevada permeabilidade, causando colapsos por cisalhamento de massas que podem se comportar como um fluido ou apresentar deformações progressivas até o fim das solicitações (ISHIHARA, 1996). Para Du e Chian (2018) quando uma amostra de solo não coesivo, como solos arenosos, é submetida a repetidas cargas de cisalhamento, a tendência de reorganização das partículas em um estado mais denso, ou seja, com redução de volume, provoca a geração de poropressões positivas que podem reduzir as tensões efetivas de confinamento e causar perda de rigidez do solo.

O resultado é que o material granular passa de um estado sólido para um estado líquido, daí o nome liquefação, além disso, uma vez que a água possui densidade inferior, tende a ascender para a superfície através das fissuras, carregando consigo grandes quantidades de material fino e formando as chamadas erupções de areia ou “*sand boils*”.

O estudo da liquefação dos solos é de grande interesse para a comunidade geotécnica mundial uma vez que, acontecimentos históricos têm demonstrado o potencial de dano desse fenômeno às estruturas e seus ocupantes. São inúmeros os danos ocorridos em estruturas como barragens (ISHIHARA et al., 2015), fundações, estruturas de contenção, pontes (BHATTACHARYA et al., 2014) e edificações (GAUTAM, MAGISTRIS e FABBROCINO, 2017) decorrentes do processo de liquefação dinâmica dos solos.

Os eventos em Niigata no Japão (Figura 1) e no Alasca, ambos no ano de 1964, com diversos casos documentados de liquefação, foram de extrema importância para a intensificação dos estudos na área. Neste sentido, a adoção de ações que reduzam a probabilidade de sua ocorrência é essencial no planejamento e execução de novas construções.

Figura 1 – Tombamento de blocos de apartamentos em Kawagishi-Cho, Niigata.



Fonte: National Information Service for Earthquake Engineering, EERC, University of California, Berkeley.

3.2 CONSEQUÊNCIAS DA LIQUEFAÇÃO

Como consequência da diminuição da resistência do solo em razão do aumento de poropressão, diversos fenômenos podem ocorrer, o que inclui as erupções de areia, recalques, deslocamentos permanentes do solo na direção horizontal conhecidos como “*Lateral Spread*”, oscilações do solo, deslocamento de taludes, perda de capacidade de suporte, falha de muros de contenção e flutuação de estruturas enterradas (YOSHIDA, 1998).

Os recalques ou assentamentos do solo ocorrem em razão da percolação de água para a superfície, assim as camadas liquefeitas são consolidadas e a superfície do solo se desloca. Entretanto, essas deformações não ocorrem de maneira uniforme e estruturas construídas sobre essas camadas podem ser danificadas nesse processo.

Durante a liquefação as tensões efetivas são reduzidas a valores mínimos e o solo se comporta como um líquido, assim, mesmo em taludes de inclinação moderada a massa tende a se deslocar para o pé do talude. Isso pode provocar sérios danos a estacas e outras fundações por conta dos esforços laterais que fletem e quebram essas estruturas. Pode-se ainda desenvolver uma completa liquefação com fluxo do material do talude para regiões distantes do local original (IDRISS e BOULANGER, 2008).

Com a redução das tensões efetivas, a capacidade de resistir a carregamentos do solo pode ser perdida. Nesse caso blocos inteiros de apartamentos ou outras estruturas podem sofrer grandes inclinações, como foi o caso de estruturas em Niigata no sismo de 1964. O edifício representado na Figura 1 chegou a apresentar mais de 80° de inclinação.

3.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS AREIAS

O comportamento tensão deformação das areias em carregamentos monotônicos ou cíclicos é dependente de características como densidade relativa, tensão de confinamento e história de tensões.

Em 1936, analisando o comportamento dos solos arenosos, em ensaios triaxiais na condição drenada e sob deformação controlada, Arthur Casagrande constatou que quando cisalhadas sob grandes deformações, tanto as areias fofas quanto compactas atingiam o mesmo índice de vazios, permanecendo sob volume e tensões constantes com o prosseguimento do ensaio. O pesquisador chamou então esse parâmetro de índice de vazios crítico, concluindo ainda que este se relacionava unicamente com a tensão de confinamento do ensaio de acordo com uma linha que posteriormente foi conceituada como Linha de Estados Críticos (LEC) ou “*Critical State Line*” (CSL) (KANG et al., 2019).

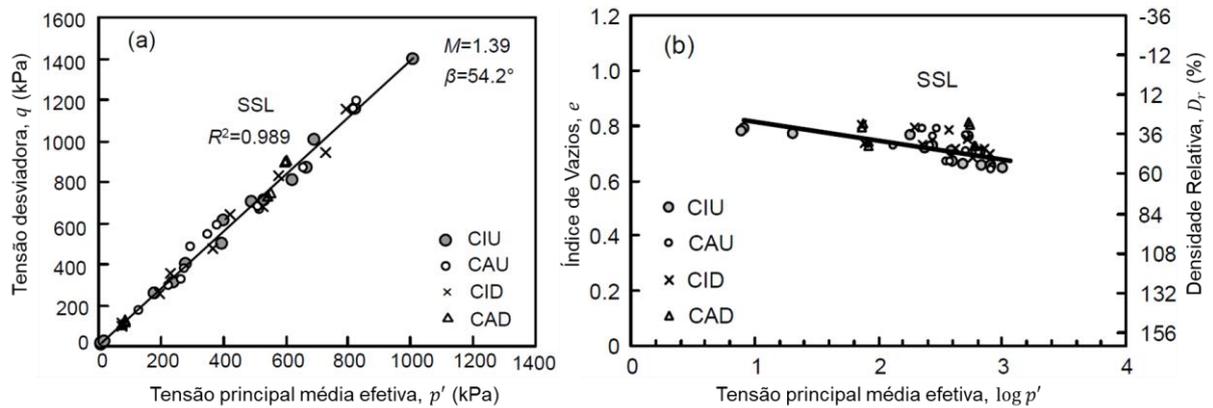
Para uma mesma tensão de confinamento as areias que apresentam índice de vazios superiores ao crítico desenvolvem comportamento contrativo durante o cisalhamento enquanto areias com índice de vazios inferiores apresentam comportamento dilatante, assim a CSL divide regiões de comportamentos distintos do solo (JEFFERIES e BEEN, 2015).

Quando submetidas a ensaios sem possibilidade de drenagem a tendência contrativa ou dilatante dos solos arenosos é refletida em incrementos ou reduções de poropressão que alteram as tensões efetivas atuantes. Nesse sentido, sob carregamento não drenado três comportamentos são possíveis: liquefação, liquefação limitada ou dilatação.

Sob grandes deformações o índice de vazios atingido se relaciona unicamente com a tensão de confinamento, assim como nos ensaios drenados, através de uma linha. Nesse estado o solo flui continuamente sob volume, tensão cisalhante e velocidade constantes, o que originou o nome estado permanente ou “*Steady State*”, e a Linha de Estados Permanentes ou “*Steady State Line*” (SSL) (Figura 2). Essa linha também pode ser visualizada como uma curva no espaço tridimensional ($e: \sigma' : \tau$) (POULOS, CASTRO e FRANCE, 1985).

Diversos estudos já foram conduzidos nas últimas décadas com o objetivo de verificar a equivalência entre a CSL e a SSL, bem como os conceitos dos estados das quais derivam. Depois de uma extensa revisão do histórico e das contribuições de diversos trabalhos sobre essa discussão Kang et al. (2019) concluíram que a diferença entre o Estado Crítico e o Estado Permanente, se existem, são triviais, uma vez que o conceito atribuído ao último envolve a definição do primeiro, com a extensão do atingimento de uma estrutura fluida e velocidade constante.

Figura 2 – Representação da Linha de Estados Permanentes (SSL)



Fonte: Jafarian et al. (2013)

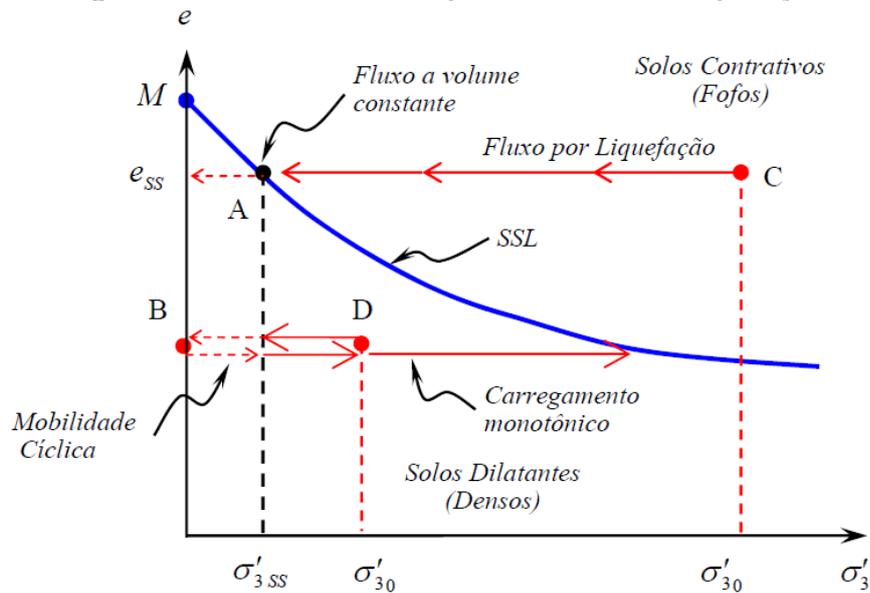
3.4 MECANISMOS DE RUPTURA

Com investigações sobre os parâmetros relacionados ao desenvolvimento da liquefação durante terremotos e em estruturas de terra como taludes e barragens, foram classificados dois tipos de mecanismos de ruptura, o fluxo por liquefação e a mobilidade cíclica (CASAGRANDE, 1971).

No primeiro caso o solo flui continuamente através do surgimento de elevadas poropressões, provocando grandes deformações no terreno e estruturas associadas, além disso, a ruptura ocorre em extensas regiões do solo e não apenas em uma definida superfície de ruptura. Já o segundo tipo se dá através de deformações progressivas durante cada ciclo do carregamento dinâmico provocado. Através da Figura 3 é possível visualizar com maior clareza a diferença entre os dois mecanismos.

Uma amostra no estado fofo, acima da SSL (Ponto C), quando submetida a carregamento monotônico ou cíclico pode se deslocar para a esquerda no referido gráfico e atingir a condição representada pelo ponto A, sobre a SSL, onde irá permanecer até o fim do escoamento. Nesse caso, a amostra apresenta liquefação por fluxo com geração de poropressões positivas e redução da tensão de confinamento (GUILLÉN, 2008).

Quanto mais à direita da SSL se encontrar o estado inicial maiores serão as deformações associadas à liquefação. Caso o solo esteja localizado acima do ponto M, desenvolve-se a condição de areia movediça onde não há contato efetivo entre os grãos do solo, assim, a resistência no estado residual será nula.

Figura 3 – Mecanismos de ruptura associados à liquefação.

Fonte: Guillén (2008) adaptado de Castro e Poulos (1977).

Já na mobilidade cíclica, partindo-se de uma areia densa, representada pelo ponto D no gráfico, caso seja submetida a um carregamento monotônico, em razão da tendência inicial de contração, há um leve deslocamento da trajetória para a esquerda, porém, logo o comportamento é invertido e o ponto se desloca em direção à SSL à medida que se prossegue com o carregamento. Caso seja aplicado um carregamento cíclico, em função dos pequenos deslocamentos, a cada ciclo será gerada uma poropressão positiva e, eventualmente, a depender da intensidade do carregamento, o solo pode atingir o ponto B de tensão confinante nula, ocorrendo sequências de liquefação. Com isso, podem ser gerados grandes deformações acumuladas o que caracteriza a denominação mobilidade cíclica (KRAMER, 1996).

3.5 CARREGAMENTOS CÍCLICOS EM AREIAS SATURADAS

Em testes de cisalhamento cíclico ou durante a ocorrência de um terremoto, são geradas ondas de tensão cisalhante em um curto período. Nessa situação um solo saturado pode apresentar dois tipos de comportamento dinâmico, contrativo ou dilatante, que dependem, preponderantemente, das características de compactidade e estado de tensão do solo (ISHIHARA, 1996).

Embora nos primeiros ciclos o solo possa experimentar uma tendência contrativa com geração de excessos de poropressão, esse comportamento se mantém apenas em solos de menor compactidade. Em solos medianamente compactos pode ocorrer uma nova acomodação das

partículas, com redistribuição dos vazios, equalização das poropressões e inversão do comportamento contrativo para dilatante.

O excesso de poropressão gerado no ensaio (Δu) pode ser normalizado pela tensão efetiva de consolidação (σ'_{3c}), essa razão é chamada de razão de poropressão normalizada ou razão de excesso de poropressão (r_u) (Equação 1):

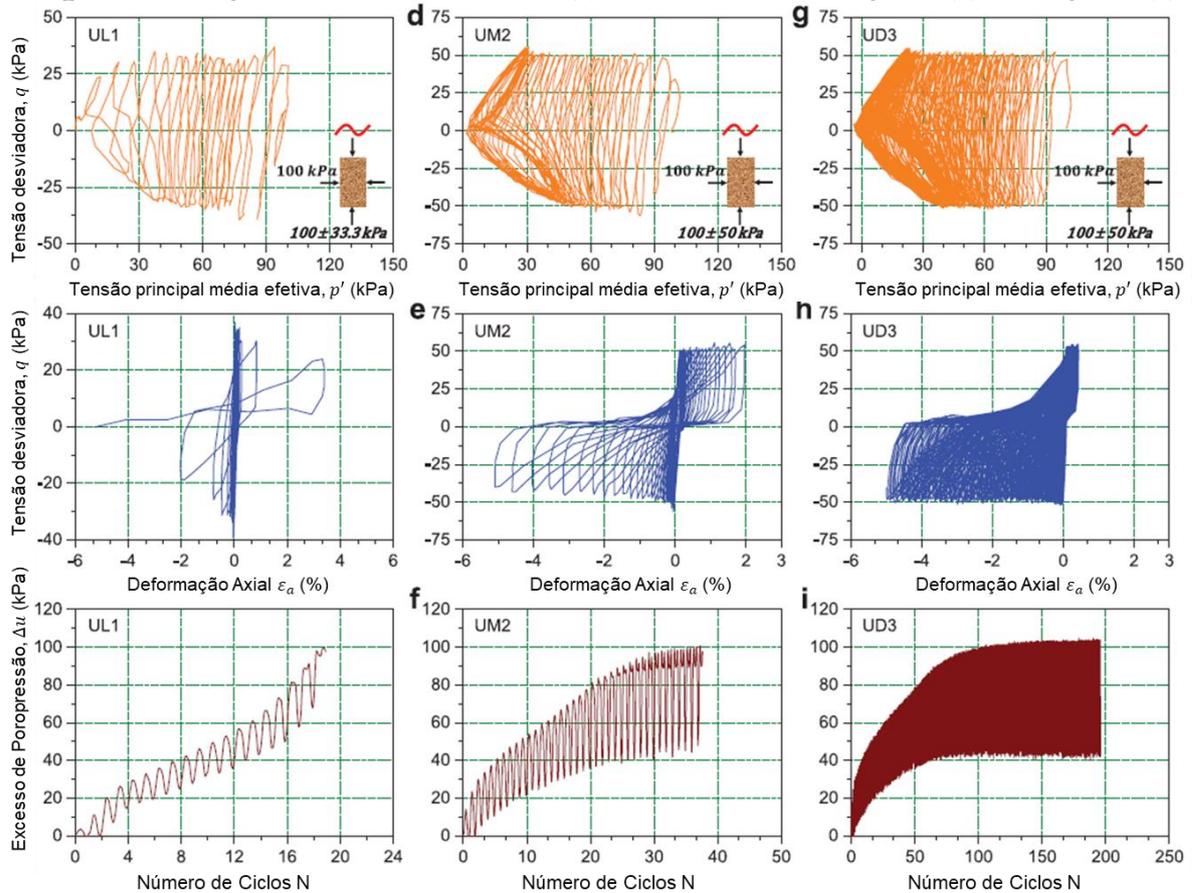
$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_{3c}} \quad (1)$$

O máximo valor para esse parâmetro é 1,0, que acontece quando a poropressão gerada iguala o valor da tensão efetiva de consolidação, sendo esse estado chamado de liquefação inicial.

Xiao et al. (2019) verificaram a resposta cíclica de areias de natureza calcárea através de ensaios triaxiais com tensão controlada. Para tal foram moldadas amostras de areia em três densidades relativas: 10% (Fofa), 50% (Medianamente Compacta) e 80% (Compacta). Inicialmente as amostras foram consolidadas isotropicamente para uma tensão efetiva de 100 kPa. A amplitude de tensão cisalhante variou entre 33,3 kPa para as amostras fofas e 50 kPa para as compactas e a frequência usada foi de 1 Hz. Para visualizar o comportamento das amostras, foram elaborados os gráficos (Figura 4) de trajetória de tensões nos planos tensão de desvio *versus* tensão principal média efetiva ($q: p'$), tensão de desvio *versus* deformação axial ($q: \varepsilon_a$) e excesso de poropressão *versus* número de ciclos ($\Delta u: N$).

É possível visualizar que a amostra fofa apresentou liquefação. Nos primeiros ciclos de carregamento foram gerados pequenos excessos de poropressão e deformação axial até atingir um r_u de, aproximadamente, 50% onde significativo amolecimento ocorre, levando a amostra a um rápido acúmulo de deformação e completa liquefação por fluxo com perda total da tensão principal. Já para as amostras compacta e medianamente compacta fica bem caracterizada a ocorrência de mobilidade cíclica e recuperação da rigidez por dilatação e endurecimento. A perda de rigidez no cisalhamento entre os ciclos permite uma lenta acumulação de deformação permanente. Os excessos de poropressão aumentam continuamente até estabilizarem, levando a uma gradual redução das tensões e um direcionamento da trajetória para a origem. Uma quantidade de ciclos muito superior é necessária para atingir o critério de paralização do ensaio (5% da dupla amplitude de deformação) (XIAO et al., 2019).

Figura 4 – Resposta cíclica de areia fofa (a), medianamente compacta (b) e compacta (c).



Fonte: Xiao et al. (2019)

3.5.1 Resistência à Liquefação

A essência dessa abordagem é estimar a razão de tensão cíclica ou “*Cyclic Stress Ratio*” (CSR) e a razão de excesso de poropressão (r_u) que conduzem à liquefação no solo. Ou seja, é a resistência do solo ao processo de iniciação da liquefação (IDRISS e BOULANGER, 2008).

O CSR é definido como a razão entre a tensão cisalhante cíclica e a tensão efetiva de confinamento no início do ensaio (Equação 2). Assim podem ser plotadas curvas de variação do CSR e número de ciclos (N) para diferentes parâmetros do solo e do ensaio.

$$CSR = \frac{\tau_{ciclica}}{\sigma'_{3c}} \quad (2)$$

O CSR necessário para provocar o colapso do material em um determinado número de ciclos é chamado de razão de resistência cíclica ou “*Cyclic Resistance Ratio*” (CRR). A relação entre CRR e N, dentro da faixa de ciclos de interesse para a engenharia, pode ser aproximada a uma função com o seguinte formato (Equação 3):

$$CRR = a \cdot N^{-b} \quad (3)$$

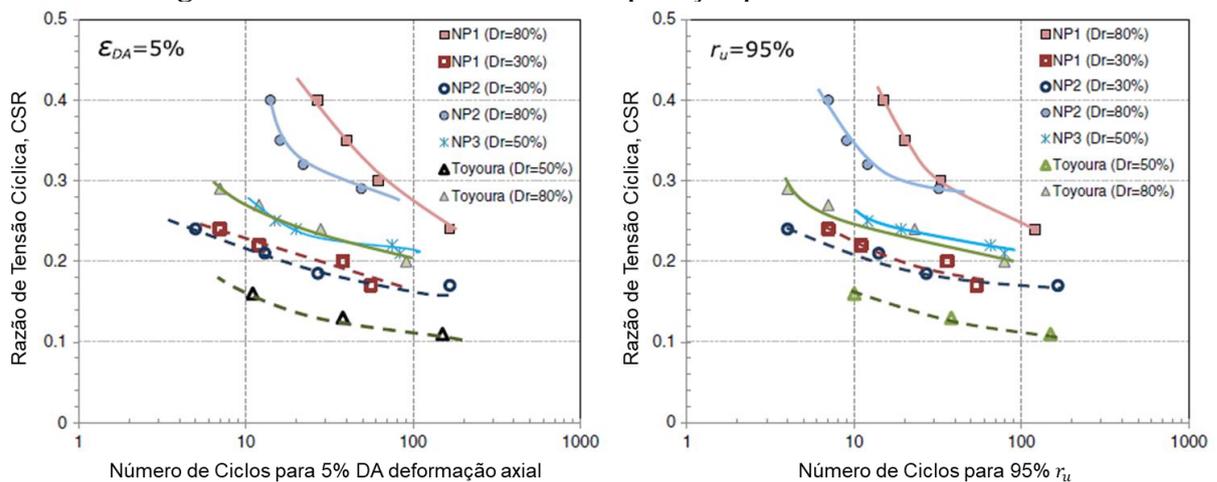
onde os parâmetros a e b podem ser determinados por regressão com os dados experimentais de ensaios triaxiais. O parâmetro b para areias limpas assume um valor típico de 0,34 enquanto o parâmetro a depende de uma série de fatores.

Aqui cabe mencionar o critério utilizado para determinar a ruptura do material em testes de carregamento cíclico. Em ensaios de cisalhamento triaxial dinâmicos existem dois principais critérios para se determinar o número de ciclos que caracterizam a liquefação do solo (N_L). O primeiro é o critério que se baseia na taxa de poropressão normalizada (r_u) que deve atingir o valor de 1 ou 100% (Ponto de Início de Liquefação). O outro critério é baseado na dupla amplitude de deformação, onde, atualmente considera-se liquefeito o material que atingir um valor mínimo de 5% (HUANG, 2017).

Estudos como o de Flora et al. (2012) indicam que os dois critérios são mutuamente consistentes sendo, na maioria dos casos, atingidos ao mesmo tempo em ensaios triaxiais cíclicos. Além disso, Sawada et al. (2003) mostraram que o efeito do critério de deformação para a resistência do solo é relevante apenas para o caso de solo de elevada densidade.

Podem ser elaboradas curvas de resistência, como as ilustradas na Figura 5, que relacionam o número de ciclos para o atingimento dos critérios de ruptura, seja de início de liquefação ou de dupla amplitude de deformação, com um CSR específico.

Figura 5 – Curvas de resistência à liquefação para diferentes materiais.



Fonte: Asadi et al. (2018).

3.5.2 Propriedades Dinâmicas do Solo

A análise dinâmica de estruturas, aterros e fundações requer que relações constitutivas para o solo e fundações sejam conhecidas a priori. Entretanto, a implementação dessas relações

necessita de um vasto conhecimento sobre suas características e softwares específicos para esse fim. Estes por sua vez se utilizam de curvas que relacionam a degradação do módulo cisalhante e taxa de amortecimento com as deformações cisalhantes, sendo específicas para cada tipo de solo (CHATTARAJ e SENGUPTA, 2016).

Um solo sujeito a um carregamento cíclico simétrico exibe um loop de histerese que pode ser descrito por duas formas. Primeiramente pelo caminho percorrido no loop e segundo por parâmetros que descrevem sua forma, sendo eles sua inclinação e largura. A inclinação do loop depende da rigidez do solo, podendo ser descrito em qualquer ponto durante o processo de carregamento através do módulo cisalhante secante (G). Já a largura relacionada a área do loop, pode ser medido pela corrente dissipação de energia através da taxa de amortecimento (D) (KRAMER, 1996).

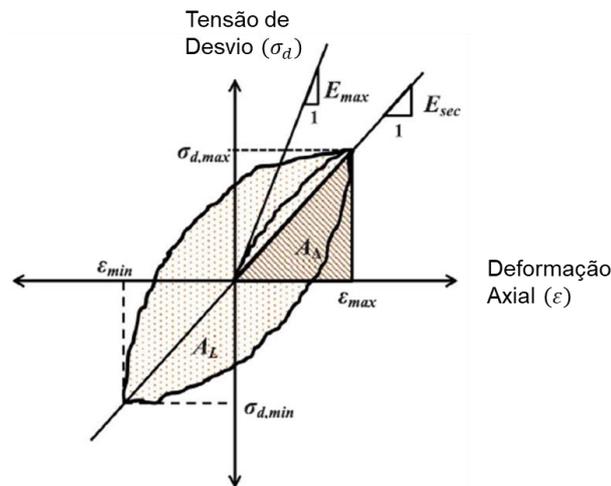
Assim, a taxa de amortecimento ou “*Damping Ratio*” pode ser definida como a quantidade de energia perdida a cada ciclo de histerese durante o carregamento dinâmico. Já o módulo cisalhante representa a inclinação da reta que liga dois pontos no diagrama tensão cisalhante *versus* deformação cisalhante, o que permite avaliar a variação na rigidez do material ao longo dos ciclos de carga. Esses dois parâmetros também podem ser obtidos através do gráfico que mostra o comportamento tensão deformação axial do solo através das Equações 4 e 5,

$$G = \frac{E_{sec}}{2(1 + \nu)} \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{4\pi} \times \frac{A_L}{A_\Delta} \quad (5)$$

onde E_{sec} representa o módulo de elasticidade secante, A_L e A_Δ representam, respectivamente, e para ciclos simétricos de carregamento, a área total compreendida pelo ciclo e a área do triângulo formado pela tensão de desvio e deformação máximas, conforme a Figura 6.

A pequenas deformações, o módulo de cisalhamento secante é elevado, mas diminui com o incremento nas deformações. A inclinação da reta que define esse parâmetro quando tomada na origem representa o maior valor do módulo secante (G_{max}). Para a avaliação da alteração de seu valor ao longo dos ciclos pode ser adotada a razão normalizada (G/G_{max}) o que permite a construção de uma curva relacionando essa nova razão e a deformação cisalhante.

Figura 6 – Ciclo simétrico de histerese.

Fonte: Kumar, Krishna e Dey (2017).

3.5.3 Fatores que Influenciam a Resistência sob Carregamentos Cíclicos

A resistência das areias sob carregamento cíclico depende de uma série de fatores, incluindo intensidade da carga, densidade relativa, tensão de confinamento, estrutura, histórico de tensões, idade, cimentação e outros fatores. Em razão de maior relevância para este trabalho, serão discutidos os efeitos dos três primeiros (IDRISS e BOULANGER, 2008).

A respeito da intensidade de carga, a liquefação pode ser provocada por diferentes combinações entre razão de tensão cíclica e o número de ciclos. Um aumento no CSR irá produzir o colapso do material por liquefação em um menor número de ciclos.

Com relação à influência da tensão de confinamento na resistência à liquefação das areias, os estudos mostram que a resistência diminui com o aumento da tensão de confinamento. Embora para maiores tensões de confinamento seja necessária uma tensão cisalhante de desvio e número de ciclos maiores para a ocorrência da liquefação, o CSR necessário diminui.

Uma vez que a tendência de contração do solo e consequente geração de excesso de poropressão que leva ao desencadeamento da liquefação depende, essencialmente, do grau de empacotamento da estrutura, é possível inferir que a resistência aumenta com o incremento de densidade relativa (LOMBARDI et al., 2014). Ou seja, o aumento da densidade eleva o entrosamento entre as partículas e reduz a tendência de geração de poropressões durante o ensaio.

3.6 AVALIAÇÃO DOS SOLOS EM ENSAIO TRIAXIAL CÍCLICO

A suscetibilidade à liquefação dos solos por meios de ensaios pode ser estimada por (1) comparação entre os perfis de resistência, obtidos por ensaios *in situ* como o *Standard Penetration Test* (SPT) ou *Cone Penetration Test* (CPT), e valores críticos ou (2) pelo cálculo de um fator de segurança como a razão entre resistência e sollicitação, sendo função da profundidade. Podem ser utilizadas equações empíricas para o cálculo da máxima aceleração na superfície ou cálculos dinâmicos que incluem a redução da rigidez do solo (LENTINI e CASTELLI, 2019). Além disso, a resistência pode ser encontrada através de ensaios de laboratório ou ainda por correlações com os testes *in situ*.

Em laboratório o equipamento de ensaio triaxial vem sendo amplamente utilizado para testar solos coesivos e não coesivos submetidos a condições de carregamento tanto monotônico quanto cíclico, assim permite a análise do potencial de liquefação da amostra, sendo capaz de reproduzir diversos estados e trajetórias de tensão, em uma variedade de aplicações da engenharia (ISHIHARA, 1996).

O princípio de funcionamento do teste é simples e claro, o que facilita sua realização nos mais diversos laboratórios pelo mundo, além disso, as variações nos estados de tensões, deformações e pressões da água podem ser simultaneamente medidas. Outra vantagem é que o plano a 45° de inclinação pode simular o estado do solo natural submetido a terremotos (HUANG, 2017). Aparelhos que conseguem aplicar carregamentos de extensão permitem a simulação da reversão das tensões, simulando ainda mais o que acontece na realidade. Assim, apresenta-se a seguir alguns estudos que utilizaram o aparelho triaxial tanto estático quanto cíclico para a análise do potencial de liquefação dos solos.

Para avaliar a resposta não drenada e a possibilidade de liquefação dos solos em um projeto de modernização sísmica na Itália, Lentini e Castelli (2019) realizaram uma série de ensaios em aparelho triaxial cíclico, coluna ressonante e cisalhamento torsional. As amostras de solo arenoso da região foram então consolidadas isotropicamente e submetidas a carregamento cíclicos, sendo os resultados exibidos através de gráficos que relacionam tensão de desvio *versus* deformação axial, CSR *versus* número de ciclos e para as trajetórias de tensão p' *versus* q . Esses resultados indicaram que a resistência cíclica aumentou com a redução nas tensões de confinamento e diminuiu com incrementos no teor de silte, confirmando ainda uma pequena tendência de liquefação.

Com vistas a avaliar a resistência à liquefação de misturas de finos não plásticos siltosos em areia, Akhila, Rangaswamy e Sankar (2019) realizaram ensaios triaxiais não drenados com

o teor de finos variando entre 0 e 40%. As amostras foram consolidadas em uma pressão de 100 kPa antes do carregamento cíclico que, por sua vez, foi executado com ondas senoidais em uma frequência de 1 Hz e CSR variando entre 0.127 e 0.178. Os resultados mostraram que, a uma mesma densidade relativa, a resistência à liquefação diminuiu com o aumento no teor de finos enquanto aumentou com o incremento de ciclos de pré carregamento e razão de sobreconsolidação.

Yang e Pan (2017) avaliaram a influência da tensão de cisalhamento inicial na resistência à liquefação de solos arenosos fofos. Várias combinações de magnitude entre as tensões de cisalhamento estáticas iniciais e as tensões do carregamento cíclico foram consideradas. Foi possível verificar nesse estudo que diferentes tensões cisalhantes iniciais levaram a diferentes modos de falha indicando a influência desse parâmetro. Encontrou-se um valor crítico de tensão cisalhante inicial, abaixo do qual existe um aumento da resistência do solo e uma diminuição para valores superiores. Além disso, os autores afirmam ser possível interpretar as condições de desencadeamento da liquefação por fluxo em carregamentos cíclicos a partir da instabilidade do solo demonstrada em ensaios com carregamentos monotônicos.

Depois dos diversos danos causados pelo terremoto de Kocaeli em 1999 na Turquia, estudos foram conduzidos por alguns pesquisadores para avaliar o comportamento tensão deformação e a resistência à liquefação dos solos da região. Kaya e Erken (2015) avaliaram a resistência cíclica e pós cíclica desses solos através de ensaios triaxiais dinâmicos e estáticos não drenados, respectivamente. Nos ensaios dinâmicos tanto a deformação axial quanto os excessos de poropressão aumentaram com o aumento no número de ciclos do ensaio. Já com o aumento na amplitude de tensão cisalhante ocorreu uma redução na resistência. Por fim a resistência à liquefação foi otimizada com incrementos no índice de plasticidade das amostras.

3.7 CRITÉRIOS DE SUSCETIBILIDADE

Diversos critérios para se estimar a suscetibilidade à liquefação dos solos já foram publicados na literatura e podem ser utilizados na investigação dos solos, é o caso dos critérios histórico, geológico, de composição e de estado. A importância desses critérios decorre do fato de que nem todos os depósitos são suscetíveis à liquefação e nos casos onde não há essa possibilidade não se necessitam realizar estudos mais aprofundados.

3.7.1 Critério Histórico

Um grande banco de informações sobre o comportamento dos solos quanto à liquefação advém de investigações de campo após a ocorrência de sismos com relatos do fenômeno, uma vez que a história mostra a frequente recorrência em locais onde as condições do solo e das águas subterrâneas permaneceram inalteradas. Assim, esses casos podem ser utilizados para a identificação de regiões e condições específicas e para a elaboração de mapas de suscetibilidade (KRAMER, 1996).

3.7.2 Critério Geológico

O ambiente deposicional, hidrológico e a idade de formação dos depósitos de solo contribuem para sua suscetibilidade à liquefação. Processos geológicos que formam solos de granulometria uniforme e os depositam em um estado fofo dão origem a materiais de alta suscetibilidade, é o caso de depósitos fluviais, coluviais e eólicos na condição saturada. Outro fator é o tempo de formação, a suscetibilidade de solos formados a mais tempo é inferior a solos mais recentes, provavelmente em razão de sobreadensamento e da cimentação de compostos na superfície dos grãos em depósitos mais antigos (IDRISS e BOULANGER, 2008).

A liquefação também é mais frequentemente observada em depósitos situados a poucos metros de profundidade, inferior a 15m, e da superfície do lençol freático. Isso é relacionado ao fato de que depósitos mais rasos são tipicamente mais jovens e então mais suscetíveis à liquefação. Aterros construídos pelo homem também merecem uma atenção especial, uma vez que, quando no estado fofo podem ser muito suscetíveis.

3.7.3 Critério de Composição

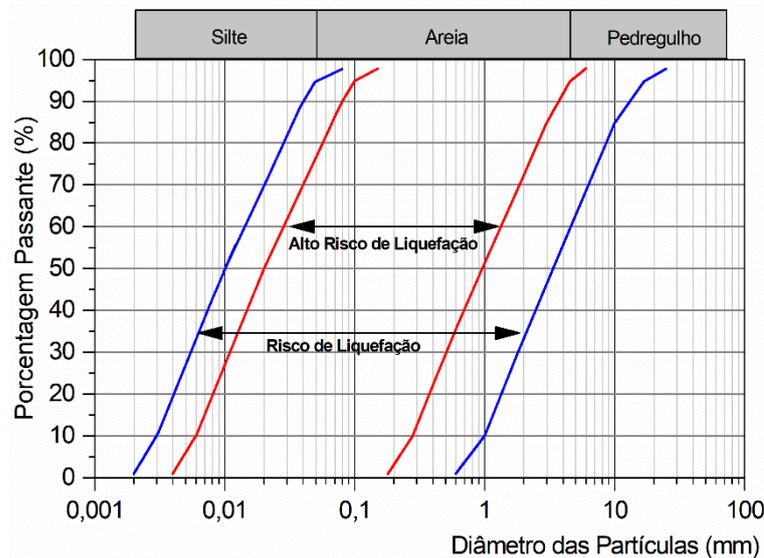
Sabe-se que a maior parte dos casos documentados de liquefação ocorrem em depósitos de areias puras ou com poucos finos, solos argilosos se beneficiam da existência de coesão entre suas partículas enquanto solos mais grossos possuem elevada permeabilidade e dificultam o estabelecimento de condições de carregamento não drenado. Entretanto, estudos mais atuais vêm comprovando a possibilidade de liquefação em solos com finos não plásticos (POLITO e SIBLEY, 2020), pedregulhos (TOYOTA e TAKADA, 2019) e até mesmo em solos mais coesivos (KRIM et al., 2019). A resistência a liquefação depende tanto da plasticidade do solo como dos finos inseridos na matriz (PARK e KIM, 2013).

Para solos com finos não plásticos, como no caso de areias siltosas, há um limite de finos acima do qual o solo perde considerável resistência à liquefação, uma vez que o comportamento passa a ser dominado pela matriz siltosa onde os grãos de areia estariam inseridos (POLITO e SIBLEY, 2019).

Já para finos com plasticidade (areias argilosas) Krim et al. (2019) encontraram o teor de 15% como limite, acima do qual a resistência à liquefação, a resistência não drenada de pico e residual reduzem com o incremento no teor de argila.

A suscetibilidade dos solos também é influenciada pelas características da granulometria. Solos bem graduados tendem a ser menos suscetíveis do que solos mal graduados uma vez que, o preenchimento dos vazios pelas partículas menores resulta em uma menor tendência contrativa e, conseqüentemente menor geração de poropressões. Já quanto ao formato das partículas, solos com partículas arredondadas geralmente são encontrados em estados mais fofos o que aumenta sua suscetibilidade ao fenômeno (KRAMER, 1996). Na Figura 7 podem ser vistas faixas limites no gráfico de granulometria correspondentes a solos que apresentam potencial para desenvolver o fenômeno de liquefação.

Figura 7 – Gráfico de granulometria com regiões de suscetibilidade à liquefação.



Fonte: Adaptado de NTC (2008).

3.7.4 Critérios de Estado

Além dos critérios mencionados até então a suscetibilidade do solo também é dependente do seu estado de tensão inicial e de sua compactidade relativa. Uma vez que a CSL ou a SSL delimitam uma fronteira entre comportamentos de contração e expansão, podem ser

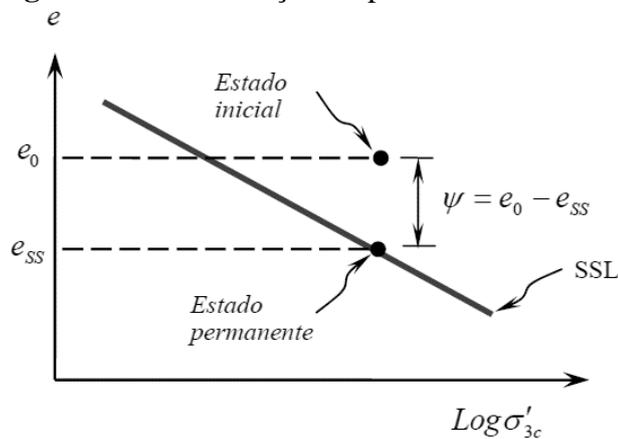
usadas como forma de estipular a suscetibilidade à liquefação. Solos localizados acima destas linhas são considerados suscetíveis enquanto solos que estão abaixo são considerados não suscetíveis.

Para facilitar esse entendimento e a localização do estado relativo dos solos no plano ($e: \sigma'_3$), Been e Jefferies (1985) introduziram o conceito de parâmetro de estado representado pela letra ψ (Figura 8), sendo definido como (Equação 6):

$$\psi = e_0 - e_{ss} \quad (6)$$

onde e_0 é o índice de vazios inicial e e_{ss} o índice de vazios no estado permanente para a tensão de confinamento do ensaio.

Figura 8 – Conceituação do parâmetro de estado.



Fonte: Been e Jefferies (1985)

3.8 MITIGAÇÃO DA LIQUEFAÇÃO

Nos últimos anos diversos pesquisadores tem se esforçado para desenvolver técnicas que reduzam a possibilidade de liquefação dos solos, minimizando custos, impactos ambientais e outros distúrbios.

O sucesso no desenvolvimento de um projeto dessa natureza requer um conhecimento aprofundado sobre os mecanismos que estão envolvidos, bem como, os danos prováveis para o sistema e estruturas associadas e os materiais e métodos disponíveis. Nesse sentido diferentes estratégias podem ser adotadas (IDRISS e BOULANGER, 2008).

- O melhoramento do solo para evitar danos ou reduzi-los a um nível aceitável;
- A modificação do projeto para que a liquefação do solo não danifique a estrutura, ou o dano seja reduzido para níveis aceitáveis.

Na alternativa de melhoramento do solo, a prevenção da liquefação pode ser alcançada com o aumento na resistência não drenada em carregamento cíclico do solo, bem como, pela melhoria na rigidez e dissipação das pressões neutras geradas. Por sua vez, o incremento de resistência pode ser obtido atingindo-se alguma das seguintes condições (YOSHIDA, 1998):

- 1) alta densidade;
- 2) distribuição granulométrica apropriada;
- 3) estrutura estável do solo;
- 4) baixa saturação.

Apesar do avanço ao longo dos anos nos métodos mais tradicionais, suas aplicações são problemáticas por causa dos altos custos envolvidos, impacto nas estruturas vizinhas e efeitos negativos no meio ambiente. Assim, novas técnicas e métodos de remediação dos efeitos da liquefação em grandes áreas foram desenvolvidos, levando destaque pelo baixo custo e bom desempenho estrutural e ambiental. Novos conceitos como remediação passiva, geotecnologias microbianas, utilização de rejeitos industriais e saturação parcial surgiram. (BAO et al., 2019).

3.8.1 Estabilização Química

As propriedades de engenharia dos solos como sua capacidade de carga podem ser significativamente melhoradas pela introdução de outros materiais em um processo de caráter físico ou químico. As transformações resultam, geralmente, em uma estrutura mais estável e menos suscetível a variações de características como resistência, volume e durabilidade. Os materiais utilizados incluem outros solos, cimentos, cal, polímeros e resíduos de processos industriais (NICHOLSON, 2014).

Melhorias físicas podem ser realizadas alterando a granulometria do solo, ou adicionando materiais que fisicamente unam as partículas do solo sem causar qualquer reação química ou alteração mineralógica. Por outro lado, processos de estabilização química podem ser induzidos pela adição de materiais que causam reações resultando em alterações físico químicas na estrutura original.

Melhoramento da resistência, rigidez, durabilidade e redução na plasticidade e potencial de retração/expansão do solo são alguns dos efeitos que podem ser atingidos com a estabilização química (FIROOZI et al., 2017). Além disso, esse processo é frequentemente utilizado em razão de vantagens como fácil mistura dos componentes que permite se atingir os padrões exigidos no projeto (PUPPALA, 2016).

No tratamento químico as propriedades do solo melhoram em função da formação de compostos que unem as partículas e preenchem os vazios aumentando a eficiência na transmissão dos carregamentos e reduzindo a deformabilidade da estrutura. Essa melhoria depende de reações pozolânicas e trocas catiônicas entre os materiais envolvidos.

A estabilização química dos solos também pode aumentar o desempenho de depósitos de solo sob solicitações dinâmicas através da redução na tendência contrativa e geração de poropressões ou ainda inibindo maiores degradações nas propriedades mecânicas.

Enquanto o comportamento de solos não cimentados vem sendo amplamente estudado ao longo das últimas décadas, há informações limitadas a respeito da resposta de solos estabilizados. Cimento e cal são os principais aditivos químicos utilizados atualmente, entretanto, a utilização desses materiais levanta preocupações a respeito de sua quantidade e qualidade bem como dos impactos ambientais que podem causar.

Nesse contexto surgem os materiais originários de processos industriais que embora sejam um risco ao meio ambiente quando dispostos de maneira inadequada, são passíveis de melhoria das propriedades do solo.

3.8.1.1 Utilização de Resíduos Industriais

Com o rápido crescimento da sociedade, a quantidade de lixo gerado nos mais diversos setores também vem aumentando. O tratamento e disposição desses materiais é uma atividade que exige grande consciência ambiental a fim de se minimizar os impactos causados. Além disso, a busca por materiais mais sustentáveis e alternativos aos aglomerantes tradicionais como cal e cimento tem impulsionado a utilização desses resíduos como uma nova fonte de elementos importantes para as reações de cimentação. De modo geral, são materiais que não agredem o meio ambiente se encapsulados em uma matriz endurecida (JAYANTHI e SINGH, 2016), conservam os recursos naturais além de constituírem opções de baixo custo para a utilização em grandes áreas (BAO et al., 2019).

Materiais como cinza volante (HORPIBULSUK et al., 2019), pó de vidro e cal de carbureto (CONSOLI et al., 2019b), escória granulada de alto forno (SEKHAR e NAYAK, 2018) e resíduos da biomassa, em especial cinza da casca do arroz (GHORBANI et al., 2018), estão sendo estudados como uma alternativa de inclusão para melhoria na resposta mecânica dos solos. Outros como tiras de pneus, fibra de vidro e resíduos de construção já foram avaliados na otimização da resistência dinâmica de determinados solos.

O resíduo proveniente do polimento de peças de porcelanato na indústria cerâmica, geralmente descartado em aterros, tem elevada produção diária, requer grandes áreas de armazenamento e pode ser fonte de contaminação do solo e lençol freático, ou ainda ser carregado pelos ventos afetando a vegetação local (BREITENBACH, 2013). O Brasil, por exemplo, produz cerca de 60 mil toneladas de resíduos provenientes de polimento de peças cerâmicas por ano (DE MATOS et al., 2018).

Considerando suas características, finura e composição química, Jacoby e Pelisser (2015) avaliaram o efeito da pozolanicidade do RPP na produção de materiais de construção cimentícios. Análises microestruturais conduzidas em argamassas e pastas de cimento produzidas com incorporação do resíduo em substituição ao cimento revelaram o consumo de portlandita para formação de CSH caracterizando as reações pozolânicas.

Essa propriedade do resíduo aliado à sua finura impulsionaram o desenvolvimento de estudos voltados à utilização desse material na produção de argamassas e concretos, bem como composição de camadas de solo (ARAÚJO, 2016).

De Matos et al. (2018) avaliaram a incorporação de resíduo da produção de porcelanato em pastas de cimento e concretos autoadensáveis em substituição ao cimento. Misturas com até 20% de resíduo apresentaram propriedades reológicas semelhantes ou melhores do que as pastas de referência. Huseien et al. (2020) obtiveram concretos com resistências entre 30 e 50 MPa incorporando o resíduo e ainda verificaram que a formação dos compostos hidratados foi influenciada pela presença do RPP.

A adição de RPP em argamassas pode aumentar consideravelmente a resistência à compressão, durabilidade ao ataque por sulfatos e reduzir a retração. Entretanto, a trabalhabilidade da mistura no estado fresco tende a diminuir com o aumento nos teores de substituição (LI, 2020).

Em solos o resíduo do polimento já foi utilizado como adição para fins de construção de aterros compactados, sendo avaliadas suas implicações físicas e mecânicas. Araújo (2016) incorporou teores de 5, 10, 15 e 20% em relação a massa de solo, sendo avaliadas características de granulometria, massa específica e plasticidade, bem como resistência ao cisalhamento e capacidade de carga. A adição do resíduo não alterou significativamente o desempenho das misturas, entretanto uma tendência de diminuição na resistência foi identificada com o aumento nos teores de incorporação. Na compactação maiores valores de massa específica máxima e menores umidades ótimas foram encontradas para os solos com RPP.

Já Silva (2016) investigou teores de até 40% em relação à massa de solo seco em ensaios de Índice de Suporte Califórnia (CBR) e adensamento unidimensional. Os resultados indicaram

uma redução na resistência das misturas em relação ao solo puro, bem como um aumento nas deformações, com exceção das misturas com 5% de resíduo. Entretanto, o autor julga que não houveram alterações significativas no comportamento mecânico para teores de até 10%. Ademais, a avaliação ambiental do resíduo indicou que as concentrações dos componentes em ensaio de lixiviação estavam dentro dos limites exigidos por norma.

3.8.2 Comportamento Mecânico de Solos Quimicamente Estabilizados

A microestrutura, densidade e tensões são os principais parâmetros que controlam propriedades como compressibilidade, tensão deformação e resistência dos solos cimentados. A cimentação influencia principalmente na microestrutura, especialmente na “fábrica” e ligação entre as partículas (LEROUEIL e VAUGHAN, 1990).

Mesmo em pequenos teores, a cimentação pode promover um ganho de resistência à compressão não confinada e resistência à tração. Além disso, um incremento no teor de agente cimentante causa um aumento na resistência não drenada em ensaios triaxiais e uma redução na tendência de contração das amostras (VRANNA e TIKKA, 2020).

Na resposta tensão deformação a cimentação entre os grãos impede sua movimentação até que essas ligações sejam rompidas, resultando em um comportamento similar ao dos solos sobreadensados onde existe uma superfície elástica inicial (LADE e TRADS, 2014). Quando comparado ao estado desestruturado, a presença das ligações entre os grãos permite ao solo atingir estados volumétricos impossíveis de serem alcançados no estado anterior (LEROUEIL e VAUGHAN, 1990).

Em solos arenosos cimentados, a resistência à compressão simples está diretamente relacionada ao grau de cimentação atingido, de maneira que o desempenho do solo no ensaio triaxial surge como uma função entre o ângulo de atrito interno do material não estruturado e sua resistência não confinada (SCHNAID et al., 2001). Já a resistência à tração é da ordem de 10% da tensão máxima à compressão, sendo um importante parâmetro uma vez que em camadas de solo estabilizado a falha geralmente começa com o desenvolvimento de trincas de tração (CONSOLI et al., 2020).

Nesse contexto, um parâmetro que pode ser utilizado para se estimar tanto a resistência à tração quanto à compressão do solo é o índice porosidade/ligante (η/C_{lv}). Esse parâmetro relaciona a porosidade de uma amostra compactada e o conteúdo volumétrico de material ligante (cimentou, cal ou pozolana + cal).

3.8.2.1 Resposta em carregamentos dinâmicos

A adição de resíduos na estrutura dos solos suscetíveis à liquefação pode atuar preenchendo as descontinuidades na granulometria dos grãos ou ainda reduzindo a tendência contrativa do conjunto pela adição de partículas com diferentes formatos e resistências.

Em condições semelhantes de índice de vazios, tensão de confinamento e intensidade de carregamento, os solos cimentados podem suportar uma quantidade maior de ciclos antes de atingir o estado de liquefação. Esse comportamento também é refletido na geração de poropressões, levando o solo de um mecanismo de ruptura marcadamente de fluxo para uma liquefação por mobilidade cíclica. Com isso, para uma mesma densidade os solos cimentados resultam em maiores valores de CRR (VRANNA e TIKA, 2020).

A resistência à liquefação pode aumentar significativamente com a introdução de agentes cimentícios. Rasouli, Fatahi e Nimbalkar (2019) encontraram valores de CSR 2,25, 4,2 e 5,2 vezes superiores para os solos com 0,5, 1 e 2% de cimento respectivamente. Além disso, enquanto amostras não cimentadas apresentaram praticamente rigidez nula após a liquefação, amostras com pequenos teores de cimento sofreram considerável incremento de rigidez. A resistência não drenada e módulo cisalhante dos solos estabilizados reduziu significativamente com a liquefação, sendo essa redução função da amplitude de carregamento, número de ciclos e grau de cimentação.

Porcino, Marciano e Granata (2015) avaliaram a resistência à liquefação cíclica de uma areia moderadamente cimentada com um material para grauteamento à base de sílica. A resistência e rigidez do solo foi otimizada com o tratamento sendo o ganho de resistência dependente do índice de vazios inicial e da tensão vertical efetiva.

Comparando o melhoramento de um solo quanto à liquefação utilizando soluções de 6 a 10% de sílica coloidal e teores de 1 a 3% de cimentação, Vranna e Tika (2020) verificaram que os dois tratamentos são eficazes na melhoria do solo. Entretanto, a utilização de cimento Portland, mesmo em pequenos teores de 1% resultou em melhorias equivalentes ou maiores do que aquelas obtidas com o uso da sílica coloidal.

Kolay et al. (2019) verificaram que a adição de finos não plásticos na forma de cinzas volantes em um teor de até 10% reduz a resistência à liquefação da areia limpa, já entre 10 e 25% as misturas apresentam um incremento nesse parâmetro para então voltar a decrescer. Ademais, as amostras confeccionadas apenas com cinza volante apresentaram resistência significativamente menor quando comparada com a areia pura. Nesses casos as deformações e poropressões aumentaram repentinamente levando ao rápido colapso.

Já Keramatikerman, Chegenizadeh e Nikraz (2017) encontraram que amostras de areia com 2% de cinza volante foram mais resistentes do que o solo natural em todas as densidades analisadas. O aumento no teor de cinza e no tempo de cura resultaram no aumento da resistência à liquefação cíclica do solo. A adição da cinza também causa uma modificação nos parâmetros dinâmicos, com tendência a um aumento no módulo elástico dinâmico e redução na taxa de amortecimento (WANG et al., 2019).

Precipitação de calcita induzida por microrganismos utiliza uma ação metabólica natural de bactérias para induzir a precipitação de carbonato de cálcio e alterar as propriedades de engenharia dos solos. Riveros e Sadrekarimi (2020) utilizaram essa técnica para melhorar a resistência cíclica da areia do rio Fraser. Os resultados demonstram que a velocidade de propagação de ondas cisalhantes aumenta com a técnica. Já a resistência à liquefação das amostras tratadas foi 67% superior à dos solos em estado natural.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritas as etapas que transcorrerão para o desenvolvimento da pesquisa, os materiais a serem utilizados bem como os procedimentos metodológicos. A metodologia pode ser classificada como de caráter qualitativa uma vez que busca compreender com profundidade o comportamento dos materiais coletados. É ainda uma pesquisa exploratória e descritiva uma vez que objetiva proporcionar maior familiaridade com o tema e descrever o fenômeno de liquefação e estabilização do solo.

O planejamento foi realizado com o intuito de analisar a suscetibilidade à liquefação de uma areia eólica através de ensaios triaxiais não drenados sob carregamentos dinâmicos, simulando a ocorrência de um sismo ou de ondas geradas por máquinas. Além disso, também se objetivou verificar a influência da estabilização química com material alternativo na resistência mecânica e resposta dinâmica do solo.

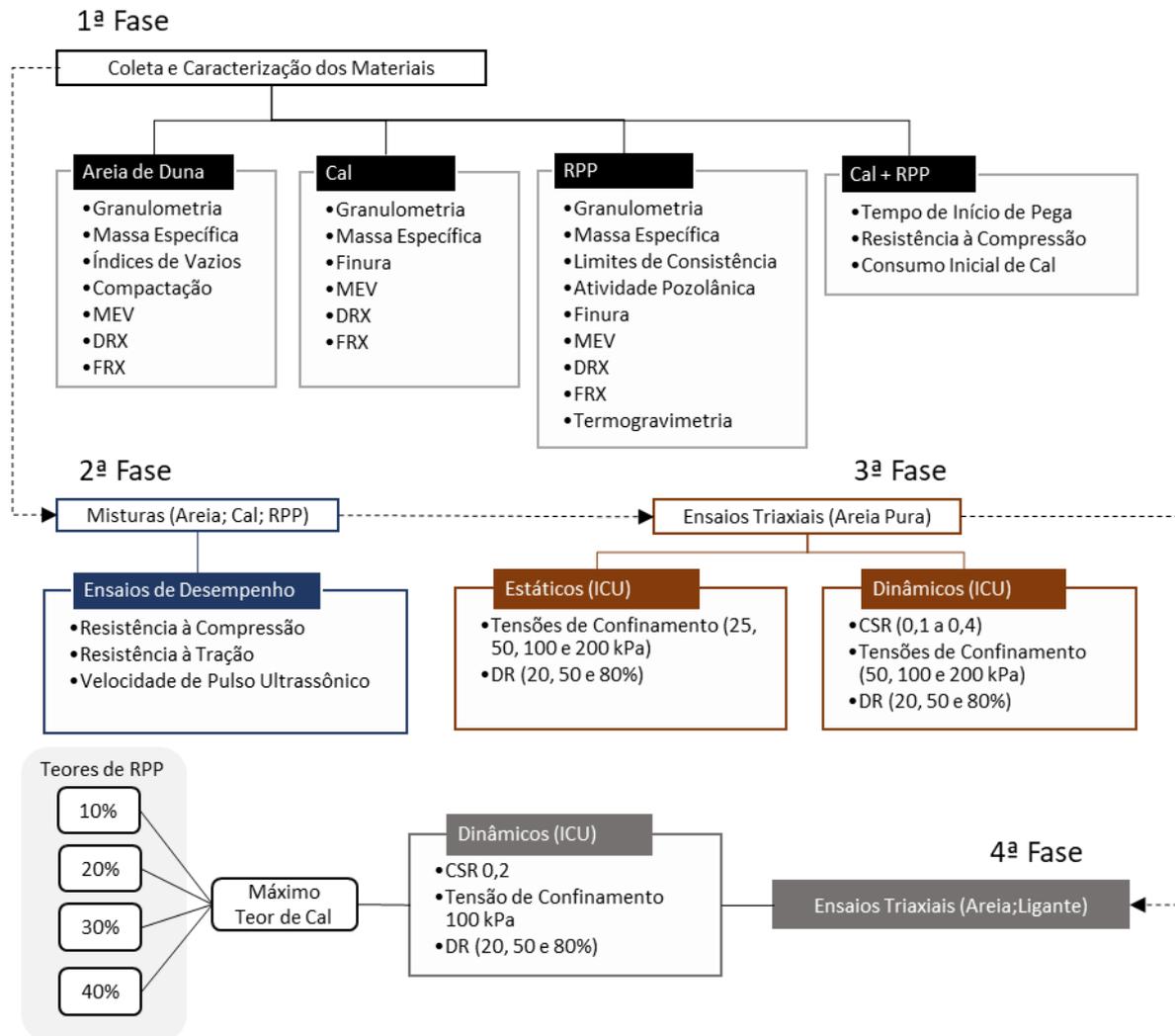
Quanto aos procedimentos, compreendeu, inicialmente, de uma pesquisa bibliográfica com levantamento de publicações da área disponíveis em bases de dados seguida de um programa experimental. Este último será desenvolvido em quatro etapas (Figura 9), na primeira com a execução de visitas *in loco* para a coleta de amostras dos materiais seguida de caracterização quanto às propriedades físicas, químicas e mineralógicas.

Na segunda etapa serão realizados ensaios de cunho físico e mecânico para avaliação do desempenho de amostras compactadas de solo natural e estabilizadas pela incorporação de cal e resíduo do polimento de porcelanato em diferentes teores e tempos de cura. Essa etapa visa analisar previamente a melhoria na resistência do solo pelo desenvolvimento de reações pozolânicas entre o resíduo e a cal.

Uma terceira etapa que objetiva caracterizar o comportamento mecânico do solo de natureza arenosa em ensaios triaxiais sob carregamento monotônico e cíclico, em condição não drenada, através de amostras reconstituídas por compactação em diferentes índices de vazios e submetidas a diferentes estados de tensão. Nessa fase irá se analisar a resposta do solo em termos de poropressões e tensões efetivas obtendo ainda seus parâmetros dinâmicos, módulo cisalhante e taxa de amortecimento, importantes na modelagem do comportamento dos depósitos.

Por fim, na quarta etapa a influência do estabilizante na mitigação da liquefação e melhoria do desempenho dinâmico da areia poderá ser avaliada através de aspectos como o padrão de geração das poropressões, deformações e número de ciclos para desencadeamento da liquefação.

Figura 9 – Esquema do programa experimental da pesquisa.



Fonte: Autor (2021)

4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 AREIA EÓLICA

A areia utilizada na pesquisa provém de um depósito eólico localizado na cidade de Natal no Estado do Rio Grande do Norte. A geologia do município é formada basicamente pelos terrenos sedimentares da Formação Barreiras, acima do qual se encontram, na maior parte do território, os terrenos eólicos vegetados, dunas fixas, originadas pela ação dos ventos e compostas de areias quartzosas bem selecionadas de coloração avermelhada a amarronzada, com formas de dunas residuais ou lençóis arenosos. Há ainda os depósitos eólicos não vegetados com areias finas a médias de coloração esbranquiçada (FONSECA et al., 2012).

As amostras serão coletadas no Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, próximo ao Parque das Dunas, cujos limites ocorrem com a faixa de praia formada por depósitos arenosos ricos em bioclastos. A areia utilizada nesse estudo já foi amplamente caracterizada pelos trabalhos de Fontoura (2015) e Souza Júnior (2019) que avaliaram, respectivamente, seu comportamento tensão deformação quando submetida à cimentação artificial e seu comportamento drenado e não drenado à luz da Teoria dos Estados Críticos.

Por se tratar de um material não coesivo, puramente arenoso, a extração de amostras indeformadas em campo é uma tarefa de grande complexidade exigindo métodos não convencionais. Optou-se então pelo estudo de amostras reconstituídas em laboratório através de processo de compactação, sendo realizadas coletas de amostras deformadas por meio de escavação com trado e em quantidade suficiente para a realização de toda a pesquisa.

As amostras serão então armazenadas em sacos plásticos identificados e devidamente transportadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte onde serão executadas a primeira e segunda fase do programa experimental. Para a terceira e quarta fases, o restante do solo será levado ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade Federal de Campina Grande onde ficarão acondicionadas até a realização dos ensaios triaxiais.

A caracterização da areia quanto às suas propriedades físicas será executada através de ensaios de umidade, granulometria, massa específica, compactação e índices de vazios máximo e mínimo. A composição química, mineralógica e morfologia das partículas serão obtidas, respectivamente, por meio de Fluorescência de Raios X (FRX), Difractometria de Raios-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

4.1.2 PÓ DE PORCELANATO

O resíduo do polimento de peças de porcelanato utilizado nesta pesquisa será coletado em uma indústria localizada no município de Conde/PB que fabrica até 15.000 m² de porcelanato polido diariamente. Em função dessa atividade são geradas cerca de 35 toneladas de resíduo por dia. O processo de coleta será realizado nessas pilhas de acordo com as recomendações da NBR 10007/2004 que trata da amostragem de resíduos sólidos.

Para caracterização do RPP serão realizados ensaios de granulometria à laser, massa específica real dos grãos e limites de liquidez e plasticidade, finura e atividade pozolânica. Serão ainda avaliadas sua composição química, mineralogia, morfologia e estabilidade térmica através dos ensaios de FRX, DRX, MEV e Termogravimetria (TG/DTG), respectivamente.

4.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS

O planejamento dos ensaios que envolvem a avaliação de desempenho das misturas requer a definição dos teores de cal e RPP a serem utilizados para confecção dos corpos de prova. No intuito de avaliar a incorporação de pequenas e grandes quantidades do resíduo de polimento optou-se pela utilização de quatro teores 10, 20, 30 e 40% em relação à massa de areia. Já o teor mínimo de cal necessário para a estabilização química será obtido por meio do ensaio de consumo inicial de cal (ROGERS et al., 1997)

A escolha da umidade e densidade de moldagem será realizada em função dos valores encontrados em ensaios de compactação. Estes serão executados para cada composição obtida com a areia, cal e RPP no intuito de verificar as mudanças no formato da curva bem como nos valores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.

4.3 PROGRAMA DE ENSAIOS

Os fatores controláveis das variáveis independentes utilizadas na segunda etapa desta pesquisa serão o teor de cal, teor de RPP e tempo de cura. Já os fatores constantes serão o tipo de solo, cal e resíduo e condição ótima de moldagem. Para a minimização de fatores ruído como equipamento, operador e condições ambientais será adotada a utilização de um único equipamento, climatização do local, limitação no número de operadores e padronização nos processos de mistura e produção dos corpos de prova.

Os ensaios da segunda etapa que abrangem as variáveis dependentes resistência à compressão, resistência à tração e velocidade do pulso ultrassônico serão realizados em amostras de solo puro e misturas de solo, cal e RPP. Uma vez que as reações pozolânicas são consideradas lentas, grandes períodos de cura são necessários para que sua influência seja adequadamente avaliada nos ensaios. Para tanto optou-se por avaliar o desempenho das misturas aos 7, 28 e 91 dias permitindo assim inferir se o tempo de cura é um aspecto fundamental no desenvolvimento da resistência do solo melhorado.

Para avaliação das variáveis independentes controláveis realizou-se um planejamento fatorial com variação de todos os fatores e combinações entre eles para cada nível. Ou seja, cada teor de cal será avaliado com cada teor de RPP e tempo de cura. Ao todo foram obtidas 36 combinações entre as variáveis.

4.4 ENSAIOS TRIAXIAIS

Com o intuito de avaliar a resistência ao cisalhamento dos solos coletados nesta pesquisa serão realizados ensaios triaxiais em equipamento da marca IPC Global modelo 002-2049 dotado de instrumentação interna e externa para aquisição de dados. Em uma primeira fase serão conduzidos testes em amostras de areia natural consolidadas isotropicamente e cisalhadas em carregamento estático sob condição não drenada (CIU) permitindo assim, a construção da SSL. Por fim, ensaios cíclicos, não-drenados garantirão a simulação e análise da resposta dos solos durante a ocorrência de sismos.

As amostras a serem testadas nos ensaios monotônicos serão confeccionadas em diferentes estados de compactação, bem como consolidadas em pressões de confinamento variadas e submetidas a testes sob deformação controlada a fim de reproduzir condições de campo diversas. Serão utilizadas tensões de confinamento variando de 25 a 200 kPa, permitindo assim a análise da resistência sob pequenas e grandes tensões.

Os ensaios de cisalhamento dinâmico serão realizados tanto na areia natural quanto nas misturas de areia natural e estabilizante. O teste conta com as etapas de percolação, saturação e consolidação que antecedem a etapa de cisalhamento.

4.4.1 Ensaios Estáticos

O processo de cisalhamento das amostras sob carregamento monotônico ocorrerá na condição não drenada, sendo ao total realizados 12 ensaios, conforme mostrado na Tabela 1. Nessa fase, a tensão de desvio axial é incrementada até que se ocorra a ruptura do material.

Tabela 1 – Parâmetros dos ensaios triaxiais estáticos.

Ensaio	Densidade Relativa (%)	Tensão de Confinamento (kPa)
MF_25	20	25
MF_50	20	50
MF_100	20	100
MF_200	20	200
MM_25	50	25
MM_50	50	50
MM_100	50	100
MM_200	50	200
MC_25	80	25
MC_50	80	50
MC_100	80	100
MC_200	80	200

M – Monotônico; F – Fofo, M – Medianamente Compacto, C – Compacto;

A realização desses ensaios objetiva não somente a verificação da resistência última do solo, mas também do seu comportamento tensão deformação. Para isso vários gráficos serão gerados através dos dados obtidos nos instrumentos de medição, relacionando:

- a) índice de vazios (e) *versus* tensão de confinamento efetiva (σ'_3)
- b) tensão de cisalhamento (τ) *versus* tensão de confinamento efetiva (σ'_3)
- c) poropressão (u) *versus* deformação axial (ε_a)
- d) tensão de desvio (σ_d) *versus* deformação axial (ε_a)
- e) tensão de cisalhamento (q) *versus* tensão principal média efetiva (p')

Desse modo, será possível verificar as trajetórias de tensão percorridas e encontrar o potencial de liquefação com determinação do parâmetro de estado e características das ações que conduzem ao processo.

4.4.2 Ensaio Dinâmicos

Os ensaios com aplicação de cargas cíclicas serão conduzidos no mesmo equipamento dos ensaios monotônicos, em amostras de solo arenoso natural e estabilizado, consolidadas isotropicamente sob condição não drenada e carregamento controlado. As amostras serão submetidas a diferentes razões de tensão cíclica (0,1 a 0,4) e tensões de confinamento de 50, 100 e 200 kPa, isso permitirá a simulação de sismos com magnitudes variadas e o estudo da resistência à liquefação desses solos sob condições dinâmicas diversas. A densidade relativa das amostras também irá variar, sendo utilizados os valores de 20%, 50% e 80%, respectivamente, relativas a amostras fofas, medianamente compactas e compactas.

Para as amostras com resíduo será avaliada a resistência sob diferentes teores de incorporação e densidades, mantendo-se constante a tensão de confinamento e o CSR, visando avaliar os efeitos da adição na resistência à liquefação do solo. Ao total 32 ensaios de compressão triaxial cíclicos serão executados, na Tabela 2 é possível visualizar todas as especificações dos ensaios planejados para a areia pura, enquanto na Tabela 3 estão os ensaios a serem realizados apenas nas misturas estabilizadas.

Com os dados a serem coletados serão elaborados gráficos que relacionam as tensões, deformações e número de ciclos necessários para a ruptura do solo e o teor de resíduo:

- a) poropressão (u) *versus* número de ciclos (N)
- b) deformação axial (ε_a) *versus* número de ciclos (N)
- c) tensão de cisalhamento (τ) *versus* deformação axial (ε_a)

- d) tensão de cisalhamento (τ) *versus* número de ciclos para liquefação (N_F)
- e) razão de tensão cíclica (CSR) *versus* número de ciclos para liquefação (N_F)
- f) teor de incorporação *versus* número de ciclos para liquefação (N_F)

Para completar a análise do comportamento dinâmico do solo, serão estudadas as variações do módulo de cisalhamento secante (G) e da taxa de amortecimento (D) ao longo dos ciclos de carregamento, verificando a degradação do módulo pelo fator G/G_{max} .

Tabela 2 – Parâmetros dos ensaios triaxiais cíclicos na areia pura.

Ensaio	Densidade Relativa (%)	Tensão de Confinamento (kPa)	CSR
CNF50_10	20	50	0,10
CNF50_20	20	50	0,20
CNF50_30	20	50	0,30
CNF50_40	20	50	0,40
CNF100_10	20	100	0,10
CNF100_20	20	100	0,20
CNF100_30	20	100	0,30
CNF100_40	20	100	0,40
CNF200_10	20	200	0,10
CNF200_20	20	200	0,20
CNF200_30	20	200	0,30
CNF200_40	20	200	0,40
CNM100_10	50	100	0,10
CNM100_20	50	100	0,20
CNM100_30	50	100	0,30
CNM100_40	50	100	0,40
CNC100_10	80	100	0,10
CNC100_20	80	100	0,20
CNC100_30	80	100	0,30
CNC100_40	80	100	0,40

C – Cíclico; N – Solo Natural; F – Fofo, M – Medianamente Compacto, C – Compacto;

Tabela 3 – Parâmetros dos ensaios triaxiais cíclicos no solo estabilizado.

Ensaio	Teor de Resíduo (%)	Densidade Relativa (%)	Tensão de Confinamento (kPa)	CSR
CEF10	10	20	100	0,20
CEM10	10	50	100	0,20
CEC10	10	80	100	0,20
CEF20	20	20	100	0,20
CEM20	20	50	100	0,20
CEC20	20	80	100	0,20
CEF30	30	20	100	0,20
CEM30	30	50	100	0,20
CEC30	30	80	100	0,20
CEF40	40	20	100	0,20
CEM40	40	50	100	0,20
CEC40	40	80	100	0,20

C – Cíclico; E – Solo Estabilizado;

5 RESULTADOS ESPERADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A areia analisada trata-se de um solo sedimentar de origem eólica com mineralogia predominantemente quartzosa e com forma angular a sub-angular, sendo classificada, no Sistema Unificado, como uma areia mal graduada e uniforme (SOUZA JÚNIOR, 2019). Pode ser considerado um solo de formação recente e que se acumulou ao longo do tempo em dunas ocupadas pela expansão urbana local.

Sob o ponto de vista histórico, a ocorrência de liquefação estática no evento que culminou no deslizamento de grandes proporções no ano de 2014 no município indica a suscetibilidade do solo a perdas de resistência quando submetido a elevados gradientes hidráulicos. Além disso, a proximidade da região com o município de João Câmara, distante apenas 86 km, com diversos casos documentados de sismos, eleva o risco associado à liquefação por eventos dinâmicos naturais.

Quanto ao critério geológico, viu-se que processos geológicos que dão origem a solos uniformes e em estado fofo, como os que estão associados a formação das dunas, resultam em depósitos de elevada suscetibilidade. Diferentemente de outros solos locais, como aqueles formadores de falésias, o solo eólico não apresenta cimentação natural entre suas partículas, além de ser encontrado, geralmente, no estado fofo.

Solos de grãos uniformes são caracterizados pela geração de grandes poropressões positivas em ensaios não drenados, contrastando com solos bem graduados que permitem a obtenção de uma estrutura mais compacta e de menor tendência contrativa. Outro aspecto importante, é o teor de finos, grande parte dos casos de liquefação ocorre em depósitos de areia pura, caso do material estudado nessa pesquisa. A presença de finos, até um certo limite, poderia aumentar a resistência à liquefação do material.

Quando plotada a curva granulométrica do solo em questão (Figura 10), verifica-se que esta se posiciona dentro da faixa de solos considerados de alto risco para desencadear o processo de liquefação segundo o gráfico da norma técnica italiana para construções (NTC, 2008). Ademais, é possível verificar que a granulometria da areia eólica de Natal é semelhante a encontrada em outros solos amplamente estudados quanto a resposta dinâmica, é o caso das areias de Osório (Brasil), Toyoura (Japão), Ottawa (Canadá) e areia do rio Fraser (Canadá).

Uma comparação entre essas areias no que diz respeito a outras características físicas como diâmetro médio (D_{50}), coeficiente de uniformidade (C_u), índice de vazios máximo (e_{max}) e mínimo (e_{min}) e massa específica (G_s) pode ser visualizada na Tabela 4.

Figura 10 – Posição da curva granulométrica da areia de Natal em relação aos limites de solos suscetíveis à liquefação.

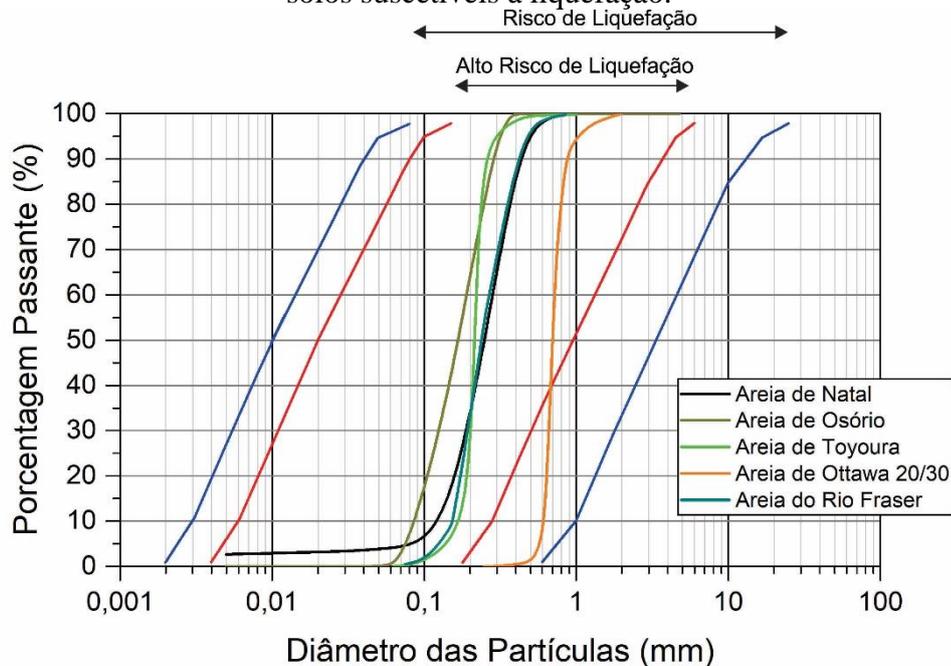


Tabela 4 – Comparação das características físicas da areia de Natal.

Areia	D_{50} (mm)	C_u	e_{max}	e_{min}	G_s (g/cm ³)	Fonte
Areia de Natal	0,25	1,86	0,80	0,59	2,66	Souza Júnior (2019)
Areia de Osório	0,17	2,11	0,85	0,60	2,65	Cruz (2008)
Areia de Toyoura	0,21	1,24	0,89	0,61	2,66	Asadi et al. (2018)
Areia de Ottawa 20/30	0,70	1,16	0,72	0,51	2,67	Kolay et al. (2019)
Areia do Rio Fraser	0,24	1,74	0,96	0,63	2,69	Riveros e Sadrekarimi (2020)

Fonte: Autor (2020)

O resíduo gerado na fabricação de peças de porcelanato é o mesmo utilizado em outras pesquisas como as de Sousa Júnior (2016), Araújo (2016), Silva (2016), Medeiros (2019). Trata-se de um material com elevada finura composto principalmente por sílica e alumínio no estado amorfo e grande atividade pozolânica (JACOBY e PELISSER, 2015).

Com isso, espera-se que a inclusão desse material juntamente com a cal possa provocar a ocorrência de reações de caráter pozolânico com formação de compostos cimentantes capazes de criar vínculos entre as partículas de areia.

5.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS MISTURAS

As areias são materiais não coesivos e mesmo no estado compacto desenvolvem pequenos valores de resistência nos ensaios de compressão e tração não confinados. Entretanto, a inserção do resíduo deverá causar uma cimentação dos grãos do solo e conseqüentemente aumentar seu desempenho frente às solicitações impostas, sendo diretamente proporcional ao teor de incorporação.

Uma vez que trabalhos anteriores demonstraram a viabilidade de utilização da relação vazios/aglomerante (η/C_{iv}) para uma predição da resistência à compressão/tração do solo, espera-se ser possível também obter um coeficiente de ajuste para o solo e aglomerante utilizados nesta pesquisa.

Já o módulo de cisalhamento dinâmico sob pequenas deformações obtido no ensaio de medição da velocidade do pulso ultrassônico deve aumentar com o incremento na quantidade de resíduo e cal incorporados pelo maior preenchimento dos vazios com os produtos de hidratação.

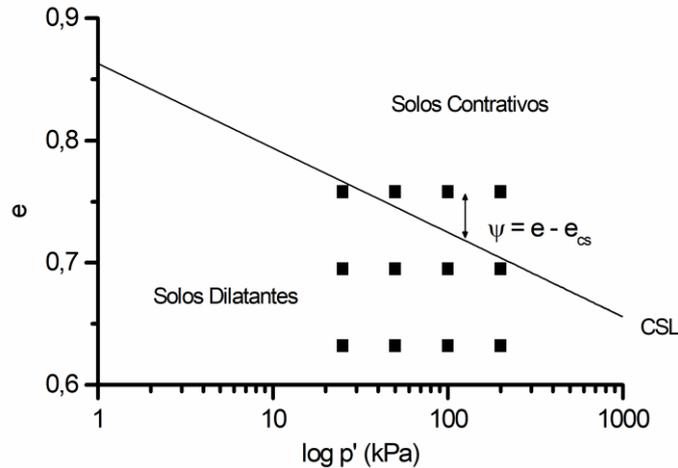
5.3 ENSAIOS TRIAXIAIS ESTÁTICOS

Nos ensaios de cisalhamento triaxial sob condições estáticas espera-se que o solo eólico de Natal possua um comportamento similar ao encontrado nas pesquisas anteriores de Souza Júnior (2019) e Fontoura (2017), embora a mudança no equipamento utilizado e em alguns aspectos do ensaio, como método de preparação da amostra, possa causar pequenas diferenças nos resultados obtidos.

Para o caso de amostras no estado fofo, espera-se que mesmo sob pequenas tensões de confinamento o solo tenha um comportamento marcadamente contrativo e de amolecimento, com geração de poropressões positivas e atingimento do estado permanente sob grandes deformações. Já para as amostras compactadas ou medianamente compactas não se espera a perda de resistência, mas sim uma tendência dilatante com desenvolvimento de poropressões negativas e ganho de resistência.

Analisando os parâmetros de estado dos ensaios monotônicos através da Figura 11 visualizam-se valores positivos e negativos, indicando que no plano ($e:p'$) alguns ensaios se posicionam na região acima da CSL e outros abaixo, caracterizando solos de natureza contrativa e dilatante, respectivamente.

Figura 11 – Parâmetros de estado dos ensaios estáticos a serem executados.



Fonte: Autor (2020)

5.4 ENSAIOS TRIAXIAIS DINÂMICOS

Para os ensaios dinâmicos, em especial nas amostras de menor compactidade, espera-se que a cada ciclo ocorra o desenvolvimento de poropressões e deformações axiais, tanto na etapa de compressão quanto de extensão do ensaio, havendo redução das tensões efetivas até a ocorrência de liquefação por fluxo do material. Já para as areias de maior compactidade, a depender das tensões de confinamento, espera-se a ocorrência de um padrão de perda e recuperação das tensões efetivas, caracterizando o modo de ruptura intitulado mobilidade cíclica.

O aumento da magnitude do carregamento irá provocar uma redução no número de ciclos necessários para liquefazer o solo. Desse modo serão construídas as curvas de resistência do solo, representadas pela variação de N_L com a mudança no CSR . Assim como observado em outros trabalhos, e nos solos de comparação citados anteriormente, o aumento da tensão de confinamento deve provocar uma redução no CSR necessário para liquefazer o material em um determinado número de ciclos, ou seja, no CRR .

Para os solos estabilizados, assim como nas pesquisas realizadas com solos cimentados, espera-se que o número de ciclos necessários para o atingimento do critério de ruptura seja superior ao da areia natural sob mesmas condições de carregamento, aumentando com o incremento no teor de incorporação. Enquanto em amostras de areia fofa o comportamento esperado é o de liquefação por fluxo, nas amostras com resíduos, pela criação de vínculos entre as partículas, a tendência contrativa deve ser reduzida com mudança no mecanismo para mobilidade cíclica.

REFERÊNCIAS

AKHILA, M.; RANGASWAMY, K.; SANKAR, N. Undrained response and liquefaction resistance of sand–silt mixtures. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 37, n. 4, p. 2729-2745, 2019.

ANDREW, R. M. Global CO₂ emissions from cement production. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 1, p. 195, 2018.

ARAÚJO, S. C. J. F. N. **Análise de microestrutura e de características geotécnicas de misturas de resíduo de polimento de porcelanato e solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

ASADI, M. S.; ASADI, M. B.; ORENSE, R. P.; PENDER, M. J. Undrained cyclic behavior of reconstituted natural pumiceous sands. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 144, n. 8, 2018.

BALDOVINO, J. J. A.; IZZO, R. L. S.; SILVA, E. R.; ROSE, J. L. Sustainable use of recycled-glass powder in soil stabilization. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 5, p. 04020080, 2020.

BAO, X.; JIN, Z.; CUI, H.; CHEN, X.; XIE, X. Soil liquefaction mitigation in geotechnical engineering: An overview of recently developed methods. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 120, p. 273-291, 2019.

BHATTACHARYA, S.; TOKIMATSU, K.; GODA, K.; SARKAR, R.; SHADLOU, M.; ROUHOLAMIN, M. Collapse of Showa Bridge during 1964 Niigata earthquake: A quantitative reappraisal on the failure mechanisms. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 65, p. 55–71, 2014.

BREITENBACH, S. B. **Desenvolvimento de argamassa para restauração utilizando resíduo do polimento do porcelanato**. 2013. 180f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2013.

CASAGRANDE, A. On liquefaction phenomena. **Géotechnique**, v. 21, n. 3, p. 197-202, 1971.

CHATTARAJ, R.; SENGUPTA, A. Liquefaction potential and strain dependent dynamic properties of Kasai River sand. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 90, p. 467-475, 2016.

CLOUGH, G.; IWABUCHI, J.; RAD, N. S.; KUPPUSAMY, T. Influence of cementation on liquefaction of sands. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 115, n. 8, p. 1102-1117, 1989.

CONSOLI, N. C.; CARRETTA, M. S.; LEON, H. B.; SCHNEIDER, M. E. B.; REGINATO, N. C.; CARRARO, J. A. H. Behaviour of cement-stabilised silty sands subjected to harsh environmental conditions. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering**, v. 173, n. 1, p. 40-48, 2020.

CONSOLI, N. C.; LEON, H. B.; CARRETTA, M. S.; DARONCO, J. V. L.; LOURENÇO, D. E. The effects of curing time and temperature on stiffness, strength and durability of sand-environment friendly binder blends. **Soils and Foundations**, v. 59, n. 5, p. 1428-1439, 2019a.

CONSOLI, N. C.; MARIN, E. J. B.; SAMANIEGO, R. A. Q.; HEINECK, K. S.; JOHANN, A. D. R. Use of sustainable binders in soil stabilization. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, n. 2, p. 06018023, 2019b.

CRUZ, R. C. **Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistência e dilatância de uma areia artificialmente cimentada**. 2008, Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DASH, S. K.; HUSSAIN, M. Lime stabilization of soils: reappraisal. **Journal of materials in civil engineering**, v. 24, n. 6, p. 707-714, 2012.

DE MATOS, P. R.; OLIVEIRA, A. L.; PELISSER, F.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. Rheological behavior of Portland cement pastes and self-compacting concretes containing porcelain polishing residue. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 508-518, 2018.

DU, S.; CHIAN, S. C. Excess pore pressure generation in sand under non-uniform cyclic strain triaxial testing. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 109, p. 119-131, 2018.

FIROOZI, A. A.; OLGUN, C. G.; FIROOZI, A. A.; BAGHINI, M. S. Fundamentals of soil stabilization. **International Journal of Geo-Engineering**, v. 8, n. 1, p. 16, 2017.

FLORA, A.; LIRER, S.; SILVESTRI, F. Undrained cyclic resistance of undisturbed gravelly soil. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 43, n. 12, p. 366–379, 2012.

FONSECA, V. P.; SOUSA, M. O. L.; SILVA, F. O.; BEZERRA, F. H. R.; AMARAL, R. F.; SOUZA, Z. S.; FERREIRA, A. C.; DUTRA, R. R. **Carta Geológica – Folha Natal (SB-25-V-C-V), escala 1:100.00**. Natal, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

FONTOURA, T. B. **Comportamento tensão – deformação e resistência ao cisalhamento de uma areia de duna cimentada artificialmente**. 2017, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

GAUTAM, D.; MAGISTRIS, F. C.; FABBROCINO, G. Soil Liquefaction in Kathmandu Valley due to 25 April 2015 Gorkha, Nepal Earthquake. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 97, p. 37–47, 2017.

GHADR, S.; ASSADI-LANGROUDI, A. Effect of grain size and shape on undrained behaviour of sands. **International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering**, v. 5, n. 3, p. 18, 2019.

GHORBANI, A.; SALIMZADEHSHOOILI, M.; MEDZVIECKAS, J.; KLIUKAS, R. Strength characteristics of cement-rice husk ash stabilized sand-clay mixture reinforced with polypropylene fibers. **The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, v. 13, n. 4, p. 447-474, 2018.

GUILLÉN, J. L. C. **Modelagem Elasto-plástica da liquefação dinâmica de solos**. 2008, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

HORPIBULSUK, S.; RACHAN, R.; RAKSACHON, Y. Role of fly ash on strength and microstructure development in blended cement stabilized silty clay. **Soils and Foundations**, v. 49, n. 1, p. 85-98, 2009.

HUANG, Y.; YU, M. **Hazard analysis of seismic soil liquefaction**. Springer, 2017.

HUSEIEN, G. F.; SAM, A. R. M.; SHAH, K. W.; MIRZA, J. Effects of ceramic tile powder waste on properties of self-compacted alkali-activated concrete. **Construction and Building Materials**, v. 236, p. 117574, 2020.

IDRISS, I. M.; BOULANGER, R. W. **Soil liquefaction during earthquakes**. 2. ed. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute, 2008.

ISHIHARA, K. **Soil behaviour in earthquake geotechnics**. 1. ed. Oxford: Clarendon Press, 1996.

ISHIHARA, K.; UENO, K.; YAMADA, S.; YASUDA, S.; YONEOKA, T. Breach of a tailings dam in the 2011 earthquake in Japan. **Soils Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 68, p. 3-22, 2015.

JACOBY, P. C.; PELISSER, F. Pozzolanic effect of porcelain polishing residue in Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 84-88, 2015.

JAFARIAN, Y.; GHORBANI, A.; SALAMATPOOR, S.; SALAMATPOOR, S. Monotonic triaxial experiments to evaluate steady-state and liquefaction susceptibility of Babolsar sand. **Journal of Zhejiang University SCIENCE A**, v. 14, n. 10, p. 739-750, 2013.

JAYANTHI, P. N. V.; SINGH, D. N. Utilization of sustainable materials for soil stabilization: state-of-the-art. **Advances in Civil Engineering Materials**, v. 5, n. 1, p. 46-79, 2016.

JEFFERIES, M.; BEEN, K. **Soil liquefaction: a critical state approach**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

KANG, X.; XIA, Z.; CHEN, R.; GE, L.; LIU, X. The critical state and steady state of sand: A literature review. **Marine Georesources & Geotechnology**, v. 37, n. 9, p. 1105-1118, 2019.

KAYA, Z.; ERKEN, A. Cyclic and post-cyclic monotonic behavior of Adapazari soils. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 77, p. 83-96, 2015.

KERAMATIKERMAN, M.; CHEGENIZADEH, A.; NIKRAZ, H. Experimental study on effect of fly ash on liquefaction resistance of sand. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 93, p. 1-6, 2017.

KOLAY, P. K.; PURI, V. K.; TAMANG, R. L.; REGMI, G.; KUMAR, S. Effects of fly ash on liquefaction characteristics of Ottawa sand. **International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering**, v. 5, n. 2, 2019.

KRAMER, S.L. **Geotechnical Earthquake Engineering**, Prentice Hall, 1996.

KRIM, A.; ARAB, A.; CHEMAM, M.; BRAHIM, A.; SADEK, M.; SHAHROUR, I. Experimental study on the liquefaction resistance of sand–clay mixtures: Effect of clay content and grading characteristics. **Marine Georesources & Geotechnology**, v. 37, n. 2, p. 129-141, 2019.

KUMAR, S. S.; KRISHNA, A. M.; DEY, A. Evaluation of dynamic properties of sandy soil at high cyclic strains. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 99, p. 157-167, 2017.

KUMAR, S. S., KRISHNA, A. M., DEY, A. Dynamic properties and liquefaction behaviour of cohesive soil in northeast India under staged cyclic loading. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, v. 10, p. 958-967, 2018.

LADE, P. V.; TRADS, N. The role of cementation in the behaviour of cemented soils. **Geotechnical Research**, v. 1, n. 4, p. 111-132, 2014.

LENTINI, V.; CASTELLI, F. Liquefaction resistance of sandy soils from undrained cyclic triaxial tests. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 37, n. 1, p. 201-216, 2019.

LEROUEIL, S.; VAUGHAN, P. R. The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. **Geotechnique**, v. 40, n. 3, p. 467-488, 1990.

LI, L. G.; ZHUO, Z. Y.; ZHU, J.; KWAN, A. K. H. Adding ceramic polishing waste as paste substitute to improve sulphate and shrinkage resistances of mortar. **Powder Technology**, v. 362, p. 149-156, 2020.

LOMBARDI, D.; BHATTACHARYA, S.; HYODO, M.; KANEKO, T. Undrained behaviour of two silica sands and practical implications for modelling SSI in liquefiable soils. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 66, p. 293-304, 2014.

MEDEIROS, A. G. **Propriedades de concreto sustentável produzido com pó do polimento do porcelanato e resíduo da scheelita**. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

MOUSAVI, S.; GHAYOONI, M. Liquefaction mitigation of sands with nonplastic fines via microbial-induced partial saturation. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 147, n. 2, p. 04020156, 2021.

NATIONAL INFORMATION SERVICE FOR EARTHQUAKE ENGINEERING. **Soil liquefaction, Niigata**. 1964. Disponível em: https://nisee.berkeley.edu/elibrary/files/jpg/6257_3021_0662/IMG0013.jpg. Acesso em: 29 de junho de 2020.

NICHOLSON, P. G. **Soil improvement and ground modification methods**. Butterworth-Heinemann, 2014.

NTC. **Norme tecniche per le costruzioni**. Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008.

PARK, S. S.; KIM, Y. S. Liquefaction resistance of sands containing plastic fines with different plasticity. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 139, n. 5, p. 825–830, 2013.

POLITO, C. P.; SIBLEY, E. L. D. Threshold fines content and behavior of sands with nonplastic silts. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 57, n. 3, p. 462-465, 2020.

PORCINO, D.; MARCIANÒ, V.; GRANATA, R. Cyclic liquefaction behaviour of a moderately cemented grouted sand under repeated loading. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 79, p. 36-46, 2015.

POULOS, S. J.; CASTRO, G.; FRANCE, J. W. Liquefaction evaluation procedure. **Journal of Geotechnical Engineering Division**, ASCE, v. 111, n. 6, p. 772-792, 1985.

PUPPALA, A. J. Advances in ground modification with chemical additives: From theory to practice. **Transportation Geotechnics**, v. 9, p. 123-138, 2016.

RASOULI, H.; FATAHI, B.; NIMBALKAR, S. Liquefaction and post-liquefaction assessment of lightly cemented sands. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 57, n. 2, p. 173-188, 2020.

RIVEROS, G. A.; SADREKARIMI, A. Liquefaction resistance of Fraser River sand improved by a microbially-induced cementation. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 131, p. 106034, 2020.

ROGERS, C. D. F.; GLENDINNING; ROFF, T. E. J. Lime modification of clay soils for construction expediency. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering**, v. 125, n. 4, p. 242-249, 1997.

SAWADA, S.; TAKESHIMA, Y.; MIKAMI, T. Effect of K0-condition on liquefaction characteristics of saturated sand. *In: Deformation characteristics of geomaterials*, Lyon, p. 511-517, 2003.

SCHNAID, F.; PRIETTO, P. D. M.; CONSOLI, N. C. Characterization of cemented sand in triaxial compression. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 127, n. 10, p. 857-868, 2001.

SEKHAR, D. C.; NAYAK, S. Utilization of granulated blast furnace slag and cement in the manufacture of compressed stabilized earth blocks. **Construction and Building Materials**, v. 166, p. 531-536, 2018.

SILVA, F. B. S. **Avaliação de misturas de solo e resíduo de polimento de porcelanato para emprego em obras rodoviárias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SILVANI, C.; BENETTI, M.; CONSOLI, N. C. Maximum tensile strength of sand–coal fly ash–lime blends for varying curing period and temperature. **Soils and Rocks**, v. 42, n. 1, p. 83-89, 2019.

SIMATUPANG, M.; MANGALLA, L. K.; EDWIN, R. S.; PUTRA, A. A.; AZIKIN, M. T.; ASWAD, N. H.; MUSTIKA, W. The mechanical properties of fly-ash-stabilized sands. **Geosciences**, v. 10, n. 4, p. 132, 2020.

SOUSA JÚNIOR, A. M. **Efeito da adição filler a base de resíduo do polimento do porcelanato e dispersão aquosa de poliuretana na permeabilidade de pastas de cimento**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

SOUZA JÚNIOR, P. L. **Comportamento drenado e não drenado de uma areia eólica de Natal/RN**. 2019, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

TOYOTA, H., TAKADA, S. Effects of gravel content on liquefaction resistance and its assessment considering deformation characteristics in gravel-mixed sand. **Canadian Geotechnical Journal**, n. 56, v. 12, 2019.

TRANTAFYLLOS, P. K.; GEORGIANNOU, V. N.; DAFALIAS, Y. F.; GEORGOPOULOS, I. O. New findings on the evolution of the instability surface of loose sand. **Acta Geotechnica**, v. 15, n. 1, p. 197-221, 2020.

VRANNA, A.; TIKA, T. Undrained monotonic and cyclic response of weakly cemented sand. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 146, n. 5, p. 04020018, 2020.

WANG, Q.; WANG, L.; ZHONG, X.; GUO, P.; WANG, J.; MA, H.; GAO, Z.; WANG, H. Dynamic behaviour and constitutive relationship of saturated fly ash-modified loess. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, p. 1-16, 2019.

XIAO, P.; LIU, H.; STUEDLEIN, A. W.; EVANS, T. M.; XIAO, Y. Effect of relative density and bio-cementation on the cyclic response of calcareous sand. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 56, n. 12, p. 1849-1862, 2019.

YANG, Z. X.; PAN, K. Flow deformation and cyclic resistance of saturated loose sand considering initial static shear effect. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 92, p. 68-78, 2017.

YOSHIDA, N. **Remedial measures against soil liquefaction: From investigation and design to implementation**. 1. ed. London: Routledge, 1998.

ZHONGXUN, Z.; DESHUN, Y.; CHUNYU, B.; CHAO, Z. Influence of sand content on the flow characteristics of soft soil under cyclic and high-frequency vibration. **Earthquake Engineering and Engineering Vibration**, v. 18, n. 3, p. 487-496, 2019.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

DECLARAÇÃO

Processo nº 23096.001588/2019-11

Declaramos para os devidos fins as informações acadêmicas do aluno (a) a seguir:

- **Aluno (a): JOSE DANIEL JALES SILVA**
- **Matrícula: 191002030187**
- **CPF: 064.748.054-98**
- **Curso:** Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental
- **Nível:** DOUTORADO
- **Área:** GEOTECNIA
- **Forma:** PRESENCIAL
- **Carga horária semanal:** 40h (carga horária destinadas às suas atividades acadêmicas e de pesquisa realizadas em dedicação exclusiva no referido Programa de Pós-Graduação)
- **Conceito da CAPES:** 4
- **Créditos exigidos no curso:** 36
- **Início do curso:** março de 2019
- **Previsão de término do curso:** fevereiro de 2023



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANO ELISIO DE FIGUEIREDO LOPES LUCENA, CHEFE**, em 17/06/2021, às 16:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1555944** e o código CRC **3DDD15D7**.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG**

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo VIII)

TERMO DE DECLARAÇÃO E COMPROMISSO

EU, José Daniel Jales Silva, portador do CPF nº 064.748.054-98 RG nº 002.288.211, matrícula siape nº 1255130, devidamente autorizado(a) pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA para realizar o curso de Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental - UFCG, pelo presente e na melhor forma de direito, conforme a Lei nº 8.112/90, em seu Artigo 96-A, o Regimento Geral da UFERSA, em seu Artigo 338, e a RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25 de junho de 2018, assumo o compromisso formal de permanecer, obrigatoriamente a serviço da UFERSA, por tempo integral e com dedicação exclusiva por um prazo igual ao do afastamento, a contar da conclusão do referido curso, sob pena de ressarcimento de todas as despesas, diretas ou indiretas em que a mesma tenha incorrido financiando aquele curso, tais como: salários, gratificações, passagens, diárias, ajudas de custo, bolsa de complementação salarial, bolsa de estudos, custos de matrícula, mensalidades e anuidades, enfim, qualquer dispêndio feito pela União, através da sua administração direta ou indireta, centralizada ou descentralizada, com o fim de custeio do curso em epígrafe.

Declaro estar ciente das Normas e Regulamentos do Curso.

Fica eleito o foro da Justiça Federal, Seção Judiciária do Rio Grande do Norte para dirimir todas as questões porventura decorrentes deste instrumento.

Pau dos Ferros (RN), 28 de junho de 2021.

JOSE DANIEL JALES SILVA:06474805498 Assinado de forma digital por JOSE DANIEL JALES SILVA:06474805498
Dados: 2021.06.28 22:06:26 -03'00'

José Daniel Jales Silva
CPF: 064.748.054-98

ALISSON GADELHA DE MEDEIROS:08445526405

Digitally signed by ALISSON GADELHA DE MEDEIROS:08445526405
Date: 2021.06.29 21:37:31 -03'00'

Alisson Gadelha de Medeiros
CPF: 084.455.264-05

WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS:01354154380

Assinado de forma digital por WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS:01354154380
Dados: 2021.06.29 12:51:26 -03'00'

Wesley de Oliveira Santos
CPF: 013.541.543-80



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS**

DECLARAÇÃO

Declaramos, para os fins que se fizerem necessários, que **JOSÉ DANIEL JALES SILVA**, Matrícula SIAPE nº 1255130, portador(a) do CPF nº 064.748.054-98, ocupante do cargo de Professor do Magistério Superior, não possui registro até a presente data, em seu assentamento funcional, de responder ou ter respondido à Sindicância ou Processo Administrativo Disciplinar, nos termos da Lei nº 8.112/90, que dispõe sobre o Regime Jurídico Único dos servidores públicos civis da União.

Mossoró/RN, 15/06/2021

RAIANE MOUSINHO Assinado de forma digital
FERNANDES por RAIANE MOUSINHO
BORGES PALHANO FERNANDES BORGES
PALHANO
GALVAO:05295516 GALVAO:05295516407
Dados: 2021.06.16
407 08:41:27 -03'00'

Raiane Mousinho Fernandes Borges Palhano Galvão
Pró-Reitora



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS
DIVISÃO DE ADMINISTRAÇÃO DE PESSOAL

DECLARAÇÃO

Declaramos, para os fins que se fizerem necessários, que **José Daniel Jales Silva**, Matrícula SIAPE nº 1255130, com início do exercício nesta Universidade em 15 de julho de 2016, possui, até a presente data, em seu assentamento funcional, registros de licenças e/ou afastamentos previstos na Lei nº 8.112/90, ressalvados os afastamentos por motivo de saúde e observadas as demais legislações vigentes à época da(s) ocorrência(s), conforme especificado abaixo:

Licença à Gestante (Art. 207)	<i>Sem registro</i>
Licença-Paternidade (Art. 208)	<i>Sem registro</i>
Licença à Adotante (Art. 210)	<i>Sem registro</i>
Lic. por motivo de afast. do cônjuge ou companheiro (Art. 81 II)	<i>Sem registro</i>
Licença para o serviço militar (Art. 81 III)	<i>Sem registro</i>
Licença para atividade política (Art. 81 IV)	<i>Sem registro</i>
Licença para capacitação (Art. 81 V)	<i>Sem registro</i>
Licença para tratar de interesses particulares (Art. 81 VI)	<i>Sem registro</i>
Licença para desempenho de mandato classista (Art. 81 VII)	<i>Sem registro</i>
Cessão para exerc. de cargo em comissão ou função de confiança (Art. 93 I)	<i>Sem registro</i>
Cessão em casos previstos em leis específicas (Art. 93 II)	<i>Sem registro</i>
Afastamento para mandato eletivo (Art. 94)	<i>Sem registro</i>
Afastamento para Estudo ou Missão no Exterior (Art. 95)	<i>Sem registro</i>
Afast. para Partic. em Prog. de Pós-Graduação Stricto Sensu no País (Art. 96A)	<i>22/09/2020 - 28/02/2023</i>

Eu, Laura Maria Araújo Mendes Pereira, ocupante do cargo de Assistente em Administração, digitei e conferi a presente declaração, conforme dados extraídos do Sistema Integrado de Administração de Recursos Humanos – SIAPE e assentamentos funcionais, nesta data.

Pau dos Ferros/RN, 16 de junho de 2021.

DHOUGO ARAGONES AMARO DA SILVA:01031095446
Assinado de forma digital por
DHOUGO ARAGONES AMARO
DA SILVA:01031095446
Dados: 2021.06.16 15:43:32
-03'00'

D'hougo Aragonês Amaro da Silva
Diretor



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SÊMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG**

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo XIII)

CÓPIA DO PDP DA UFERSA 2021 - NECESSIDADES DE DESENVOLVIMENTO

De acordo com a planilha de necessidades de desenvolvimento aprovadas para execução no ano de 2021, que consta na página 9 do Plano de Desenvolvimento de Pessoas da UFERSA para o ano de 2021, a qualificação a nível de doutorado que estou realizando se relaciona com as competências marcadas na planilha e que seguem abaixo.

PROPPG

Aprimorar os conhecimentos em gestão de riscos
Aplicar conhecimentos em Ciências Exatas e da Terra
Aprimorar conhecimento sobre boas práticas administrativas da UFERSA
Ampliar conhecimentos na área da psicologia
Atualizar o conhecimento em Ciências Humanas
Aprimorar conhecimentos sobre redação oficial
Aprimorar conhecimento nas áreas de comportamento e bem-estar animal
Aprimorar praticas em Linguística, Letras e Artes
Atualizar conhecimentos na área de gestão de projetos
Atualizar conhecimentos sobre a execução de funções administrativas.
Aperfeiçoar o conhecimento em Ciências da Saúde
Atualizar os conhecimentos das normas e legislações que regem os direitos, deveres e a carreira do servidor público
Ampliar conhecimentos na área Multidisciplinar
Desenvolver conhecimentos na área de Ciências Biológicas
Desenvolver conhecimentos e habilidades na área de qualidade de vida
Aperfeiçoar a operacionalização dos sistemas internos da Universidade
Melhorar a aprendizagem em línguas estrangeiras
Ampliar conhecimentos na área de práticas e estruturação de laboratórios
Atualizar praticas e conhecimento na área das Engenharias
Aperfeiçoar o conhecimento em Ciências da saúde
Ampliar o conhecimento e habilidades na consolidação de informações sobre vigilância sanitária
Capacitar conhecimentos na utilização do Software BRAHMS 6
Atualizar conhecimentos sobre orçamento e finanças
Ampliar conhecimentos sobre o sistema eletrônico de informações (SEI)
Ampliar conhecimentos sobre gestão de pessoas

7. AÇÕES DE DESENVOLVIMENTO PREVISTAS NO PDP 2021

7.1 Ações de Desenvolvimento em Parceria com a ENAP – Modalidade à distância:

Durante todo o ano de 2021 os servidores da UFERSA, em acordo com as chefias imediatas, poderão se inscrever em qualquer um dos cursos listados abaixo:

AÇÃO DE DESENVOLVIMENTO	NECESSIDADES A SEREM ATENDIDAS	PÚBLICO-ALVO	CH	LINK
Inteligência Emocional	Desenvolver conhecimentos e habilidades na área de qualidade de vida	Técnicos-administrativos e Docentes.	50h	https://www.escolavirtual.gov.br/curso/318/
	Desenvolver Habilidades Interpessoais			



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E
CONTRATOS

EMITIDO EM 28/07/2021 07:59



Processo nº. 23091.003543/2020-74

Assunto: 022.121 - APERFEIÇOAMENTO E TREINAMENTO: CURSOS (INCLUSIVE BOLSAS DE ESTUDO) PROMOVIDOS POR OUTRAS INSTITUIÇÕES NO BRASIL

DESPACHO FAVORÁVEL

À Pró-reitora de Pós Graduação e Pesquisa,

O processo **23091.003543/2020-74** de solicitação de renovação de afastamento do docente José Daniel Jales Silva, vinculado ao DETEC, foi analisado na 6ª Reunião Ordinária de 2021. Tendo sido aprovado por unanimidade.

Retornamos os autos a esta pró-reitoria para os encaminhamentos necessários.

Att.,

(Autenticado digitalmente em 27/07/2021 14:58)
VINICIUS SAMUEL VALERIO DE SOUZA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA - PAU DOS FERROS (11.01.36.12.08)
CHEFE DE DEPARTAMENTO

SIPAC | Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação - (84) 3317-8210 | Copyright © 2005-2021 - UFRN - srv-sipac01-prd.ufersa.edu.br.sipac1i1