

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LEONARDO CAMBRAIA MENDONÇA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR SÍLICA DA CASCA
DE ARROZ EM PRISMAS DE TIJOLOS MACIÇOS**

Alegrete

2022

LEONARDO CAMBRAIA MENDONÇA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR SÍLICA DA CASCA
DE ARROZ EM PRISMAS DE TIJOLOS MACIÇOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ederli Marangon

Coorientador: Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira

Alegrete

2022

LEONARDO CAMBRAIA MENDONCA

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR SÍLICA DA CASCA DE ARROZ EM PRISMAS DE TIJOLOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. EDERLI MARANGON - UNIPAMPA - Orientador

Eng. Me. MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA - UNIPAMPA - Coorientador

Profa. Dra. FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA - UNIPAMPA

Eng. GUILHERME DURIGON COCCO - Membro externo



Assinado eletronicamente por **MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA, ENGENHEIRO-AREA**, em 10/08/2022, às 23:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/08/2022, às 09:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDERLI MARANGON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/08/2022, às 10:01, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Guilherme Durigon Cocco, Usuário Externo**, em 11/08/2022, às 19:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0892123** e o código CRC **067D0486**.

Dedico este trabalho à minha família,
meus amigos e a todos que me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Em especial, aos meus pais Waderson e Jaqueline que sempre me guiaram nessa jornada até aqui, pessoas fortes que nunca mediram esforços para cuidar, aconselhar, apoiar e me inspirar a sempre realizar meus sonhos, meu eterno agradecimento.

Aos meu irmãos Gustavo e Júlia, por serem meus melhores amigos e sempre estarem comigo, amo muito vocês.

Também um agradecimento especial ao meu amigo e orientador Professor Dr. Ederli Marangon, além de um profissional excepcional, se tornou uma grande inspiração no mundo da pesquisa, obrigado por todos os conselhos, conversas e ensinamentos passados durante esta etapa, serei eternamente grato.

Ao meu Coorientador Me. Marcelo Oliveira, por toda dedicação para com o meu trabalho, todos os ensinamentos técnicos e teóricos passados durante os procedimentos experimentais, sem dúvida um exemplo de profissional a seguir.

Aos meus amigos e companheiros incansáveis de laboratório, Rubens Meichtry e Vitor Ávila, meu agradecimento especial por todos os experimentos e ajudas prestadas durante estas etapas da graduação, sem elas esse trabalho não seria possível.

A Professora Dra. Fernanda Bianchi e ao Eng. Guilherme Cocco pelos ensinamentos e todas as colaborações com o meu trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa em Materiais Aplicados à Engenharia Civil – MAEC e a todos os meus amigos de longa data que estão presentes em todas as etapas de minha vida, obrigado pela parceria, amizade e companheirismo de sempre.

A todos que cruzaram meu caminho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

No presente trabalho, foi analisada a resistência à tração na flexão em três pontos e a resistência à compressão axial de argamassas com teores de substituição de Cimento Portland por Sílica da Casca do Arroz em três porcentagens (0, 5 e 30%) ensaiados conforme a NBR 13279. Nestas argamassas, também foram analisados os desempenhos em relação a resistência de aderência através do ensaio de cisalhamento com utilização de pré-compressão de prismas moldados com as argamassas com estes teores de substituição quando aplicadas em diferentes tempos (15, 60 e 180 minutos). Nos resultados encontrados para os desempenhos à compressão axial e flexão em três pontos, a substituição nos valores de 5% não alterou significativamente a resistência das argamassas em relação à tração indireta e à compressão. Além disso, a substituição em valores de 30% de sílica da casca de arroz na idade de 28 dias apresentou valores menores que os de referência para os ensaios de flexão em três pontos e compressão axial. Por outro lado, no ensaio de resistência ao cisalhamento dos prismas de tijolos maciços, a substituição de 30% de sílica da casca de arroz apresentou as melhores resistências quando aplicadas em tempos de até 60 minutos. As argamassas sem adição e com 5% de substituição não apresentaram diferenças significativas em relação ao desempenho desta substituição e demonstraram que podem ser aplicadas em qualquer tempo sem que haja perda considerável de desempenho nos ensaios de cisalhamento.

Palavras-Chave: Aderência; Argamassas; Resistência ao Cisalhamento de prismas; Sílica da Casca de Arroz; Substituição de Cimento Portland.

ABSTRACT

In this work, the flexural tensile strength and the axial compression strength was analyzed with mortars prepared with high percentage of Rice Husk Silica tested according to NBR 13279. In the mortars, was used to replace 5% and 30% by mass of cement. Was also analyzed of performance to bond strength through the shear test using pre-compression of molded prisms with the mortars contents replacements when applied at different times (15, 60 and 180 minutes). In the results found for the performances to axial compression and bending in three points, the substitution in the values of 5% did not significantly alter the strength of the mortars in relation to indirect traction and compression. In addition, the replacement in values of 30% of rice husk silica at the age of 28 days presented values lower than the reference values for the three-point bending and axial compression tests. On the other hand, in the shear strength test of solid brick prisms, the replacement of 30% of rice husk silica showed the best strengths when applied in times of up to 60 minutes. The mortars without addition and with 5% replacement did not present significant differences in relation to the performance of this replacement and demonstrated that they can be applied at any time without considerable loss of performance in the shear tests.

Key-Words: Adherence; Cement Replacement; Mortars; Rice Husk Silica; Shear Test of Prisms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Formas de Rupturas em paredes de alvenaria submetidas a ações no plano	23
Figura 2- Ensaio Proposto por Khalaf e Naysmith (1994)	26
Figura 3- Teste aprimorado utilizando duas unidades de alvenaria.	26
Figura 4 - Ensaio proposto por Riddington (1997)	27
Figura 5- Ensaio para obtenção de ângulo de atrito e força de cisalhamento em unidades de alvenaria.....	28
Figura 6- Ensaio Utilizado por Sinha (1983)	29
Figura 7- Ensaio realizado com tripletas e adotado pela EN 1052-3 (2002).....	30
Figura 8- Procedimentos Experimentais desenvolvidos no trabalho.....	36
Figura 9- Granulometria dos Materiais.	38
Figura 10 - Dimensões do Tijolo Maciço Utilizado	39
Figura 11- Processo de Obtenção de Massa seca dos tijolos maciços: a) Tijolos colocados em estufa para secagem; b) Pesagem e obtenção da Massa Seca do Tijolo.....	40
Figura 12- Obtenção da Massa Úmida dos Tijolos: a) Tijolos Submersos para Saturação por 24 horas; b) Tijolos dispostos em bancada para escorrimento do excesso de água; c) Pesagem e obtenção da Massa úmida do Tijolo	41
Figura 13- Capeamento dos Corpos de Prova para ensaio de Resistência Característica do Tijolo Maciço.	42
Figura 14- Ensaio de Compressão Axial de Tijolo Maciço no Sentido do Carregamento.	43
Figura 15- Ensaio de Desvio em Relação ao Esquadro.....	45
Figura 16- Ensaio de Realização de Planeza das Faces dos Tijolos Maciços.	46
Figura 17 - Primeira etapa do processo de Assentamento dos Tijolos.....	48
Figura 18 - Assentamento do Terceiro Bloco e Formação dos Prismas para ensaio de Cisalhamento.	48
Figura 19- (a) Vista Superior do Sistema de Nebulização para Cura dos Prismas. (b) Vista Frontal do Sistema de Nebulização para Cura dos Prismas.	49
Figura 20- Molde prismático das Argamassas e distribuição de Argamassa para Aplicação dos golpes em mesa de adensamento.	50
Figura 21- Mesa de adensamento utilizada para aplicação dos golpes para moldagem dos prismas de argamassa para ensaio de compressão axial e tração na flexão em 3 pontos.	50

Figura 22- (a) Ensaio de Resistência à traço na Flexão. (b) Ensaio de Resistência à compressão axial.....	51
Figura 23- Visualização da face de obtenção das imagens do Prisma durante o Ensaio.	52
Figura 24- Visualização da face instrumentada do Prisma durante o Ensaio.....	54
Figura 25- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 15 minutos.	61
Figura 26- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 15 minutos.	61
Figura 27- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 60 minutos.	62
Figura 28- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 60 minutos.	62
Figura 29- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 180 minutos.	63
Figura 30- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 180 minutos.	63
Figura 31- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 15 minutos.....	64
Figura 32- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 15 minutos.	64
Figura 33- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 60 minutos.....	65
Figura 34 - Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 60 minutos.	65
Figura 35- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 180 minutos.....	66
Figura 36- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 180 minutos.	66
Figura 37- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA30 aplicado aos 15 minutos.....	67
Figura 38 - Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do Traço SCA30 aplicado aos 15 minutos.	67

Figura 39 - Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA30 aplicado aos 60 minutos.....	68
Figura 40- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do Traço SCA30 aplicado aos 60 minutos.	68
Figura 41- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA30 aplicado aos 180 minutos.....	69
Figura 42- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do Traço SCA30 aplicado aos 180 minutos.	69
Figura 43- Início do Processo de Falha da argamassa REF.	70
Figura 44 - Metade do Processo de Falha da argamassa REF.....	71
Figura 45- Final do Processo de Falha da argamassa REF.....	72
Figura 46 - Início do Processo de Falha da argamassa SCA5.....	73
Figura 47- Metade do Processo de Falha da argamassa SCA5.	74
Figura 48 - Final do Processo de Falha da argamassa SCA5.....	75
Figura 49- Início do Processo de Falha da argamassa SCA30.....	76
Figura 50 - Metade do Processo de Falha da argamassa SCA30.	77
Figura 51- Final do Processo de Falha da argamassa SCA30.	78
Figura 52 - Esquema Explicativo de Padrão de Ruptura na Interface Argamassa-Tijolo dos Prismas.	79
Figura 53 - Tensão X Deslocamento REF_15Min_CP01.	87
Figura 54 - Tensão X Deslocamento REF_15Min_CP02.....	87
Figura 55 - Tensão X Deslocamento REF_15Min_CP03.	88
Figura 56 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP01.....	88
Figura 57 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP02.	89
Figura 58 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP03.	89
Figura 59 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP04.	90
Figura 60 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP01.....	90
Figura 61 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP02.....	91
Figura 62 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP03.	91
Figura 63 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP04.	92
Figura 64 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP01.....	92
Figura 65 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP02.....	93
Figura 66 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP03.....	93

Figura 67 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP04.....	94
Figura 68 - Tensão X Deslocamento SCA5_60 Min_CP01.....	94
Figura 69 - Tensão X Deslocamento SCA5_60Min_CP02.....	95
Figura 70 - Tensão X Deslocamento SCA5_60Min_CP03.....	95
Figura 71 - Tensão X Deslocamento SCA5_180Min_CP01.....	96
Figura 72 - Tensão X Deslocamento SCA5_180Min_CP02.....	96
Figura 73 - Tensão X Deslocamento SCA5_180Min_CP03.....	97
Figura 74 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP01.....	97
Figura 75 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP02.....	98
Figura 76 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP03.....	98
Figura 77 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP04.....	99
Figura 78 - Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP01.....	99
Figura 79 - Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP02.....	100
Figura 80 - Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP03.....	100
Figura 81- Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP04.....	101
Figura 82 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP01.....	101
Figura 83 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP02.....	102
Figura 84 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP03.....	102
Figura 85 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP04.....	103
Figura 86 - Tempo X Deslocamento REF_15Min_CP01.	103
Figura 87 - Tempo X Deslocamento REF_15Min_CP02.	104
Figura 88 - Tempo X Deslocamento REF_15Min_CP03.	104
Figura 89 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP01.	105
Figura 90 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP01.	105
Figura 91 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP03.	106
Figura 92 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP04.	106
Figura 93 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP01.	107
Figura 94 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP02.	107
Figura 95 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP03.	108
Figura 96 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP04.	108
Figura 97 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP01.....	109
Figura 98 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP02.....	109
Figura 99 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP03.....	110

Figura 100 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP04.....	110
Figura 101 - Tempo X Deslocamento SCA5_60Min_CP01.....	111
Figura 102 - Tempo X Deslocamento SCA5_60Min_CP02.....	111
Figura 103 - Tempo X Deslocamento SCA5_60Min_CP03.....	112
Figura 104 - Tempo X Deslocamento SCA5_180Min_CP01.....	112
Figura 105 - Tempo X Deslocamento SCA5_180Min_CP02.....	113
Figura 106 - Tempo X Deslocamento SCA5_180Min_CP03.....	113
Figura 107 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP01.....	114
Figura 108 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP02.....	114
Figura 109 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP03.....	115
Figura 110 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP04.....	115
Figura 111 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP01.....	116
Figura 112 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP02.....	116
Figura 113 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP03.....	117
Figura 114 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP04.....	117
Figura 115 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP01.....	118
Figura 116 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP02.....	118
Figura 117 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP03.....	119
Figura 118 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP04.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Traço das argamassas estudadas (Kg).....	36
Tabela 2- Especificação e quantidades de prismas ensaiados aos 28 dias.	37
Tabela 3- Quantidade de Prismas Para Ensaio das Argamassas.....	37
Tabela 4- Caracterização dos Materiais.....	38
Tabela 5- Resultados do ensaio de Absorção d'água.....	41
Tabela 6- Resistência à Compressão dos Tijolos Maciços.....	44
Tabela 7 - Resultados do Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em 3 pontos.	56
Tabela 8 - Modo de Ruptura dos Prismas à Tração e Tensão média encontrada.....	57
Tabela 9 - Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão das Argamassas.	58
Tabela 10 - Valores obtidos durante os ensaios para o traço REF.	59
Tabela 11 - Valores obtidos durante os ensaios para o traço SCA5.....	59
Tabela 12 - Valores obtidos durante os ensaios para o traço SCA30.....	59

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Valor de Resistência Ao Cisalhamento Com Utilização De Pré-Compressão.....	24
Equação 2 - Valor de Resistência ao Cisalhamento (EN 1052-3).....	30
Equação 3 - Índice de Absorção D'Água Do Tijolo Maciço	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

AF- Areia fina

AG – Areia grossa

AM- Areia média

CAL - Cal Hidráulica

CP – Cimento Portland

FL – Filer Calcário

LVDT'S – Linear Variable Differential Transformer

NBR – Norma Brasileira

SCA – Sílica da Casca de Arroz

TM – Tijolo Maciço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Objetivo Geral	20
1.2	Objetivos Específicos	20
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	Alvenaria e o Fenômeno de Aderência.....	22
2.2	Ensaio para avaliação da resistência ao cisalhamento em blocos de alvenaria	23
2.3	A Influência da Pré-Compressão em Ensaio de Resistência ao Cisalhamento.....	24
2.4	Ensaio Utilizados para a Avaliação da Resistência ao Cisalhamento.....	25
2.4.1	Ensaio realizados com duas unidades de alvenaria	25
2.4.2	Ensaio realizados com três unidades de Alvenaria	27
2.5	Tempo de Utilização das Argamassas	31
2.6	Adições Mineraias em Materiais Compósitos.....	31
2.6.1	Influência no Comportamento Reológico.....	32
2.6.2	Influência no Comportamento Mecânico.....	33
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	Caracterização dos Materiais das Argamassas	37
3.2	Características do Tijolo Maciço	38
3.2.1	Índice de Absorção d'água.....	39
3.2.2	Resistência à Compressão Axial.....	42
3.2.3	Desvio em Relação ao Esquadro	44
3.2.4	Planeza das Faces.....	45
3.2	Procedimentos de Montagem dos Prismas e Métodos de Ensaio das Argamassas	46
3.2.1	Mistura das Argamassas	47
3.2.2	Método de Assentamento e Cura dos Prismas.....	47
3.2.3	Ensaio de Tração à Flexão e Resistência à Compressão das Argamassas.....	49
3.2.4	Ensaio de Cisalhamento dos Prismas.....	51
3.3	Programa utilizado para análise das Imagens.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
4.1	Resistência à Tração na Flexão	56
4.2	Resistência à Compressão Axial.....	58
4.3	Resistência de Aderência ao Cisalhamento de Prismas e Determinação do Modo de Ruptura	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	82
7 REFERÊNCIAS	83
ANEXO A	87

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, gerou-se uma preocupação crescente com as questões ambientais e a busca por formas de preservar o meio ambiente e minimizar a degradação ao nosso planeta. A influência das emissões de gases do efeito estufa é considerado o principal fator do aquecimento global e das mudanças climáticas. Em uma perspectiva de curto espaço de tempo, a busca pelo cumprimento de acordos nacionais e internacionais para diminuir essas emissões entre inúmeros países tendem a ser ainda maiores (BEIDAGHY DIZAJI *et al.*, 2022).

A indústria da construção civil, assim como o restante dos setores da sociedade, também vem se dedicando a tentar diminuir as emissões destes gases. Globalmente, as emissões de CO₂ da indústria do cimento representam cerca de 7% das emissões antropogênicas. No Brasil, em função de ações que vêm sendo implementadas há anos, esta participação é praticamente um terço da média mundial, ou 2,3% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2021)

Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2020), junto com o setor industrial os maiores emissores de gases de efeito estufa são os setores de Energia, Agropecuária, Resíduos e as Mudanças de uso da terra e florestas, estas que incluem conversão de florestas em pastagens ou cultivos agrícolas.

Neste contexto, o Brasil é uma grande potência do setor agrícola, sendo o maior produtor de arroz fora do continente asiático, com uma produção de 11 milhões de toneladas por ano (FAO, 2020).

A região Sul, que inclui os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, correspondem a 82% da produção total de arroz do país, tendo uma área média em torno de 1,1 milhões de hectares plantados e produtividade média em torno de 7700 kg/ha. Dentre estes estados, o Rio Grande do Sul destaca-se como o maior produtor de arroz do Brasil com 73% da produção nacional (CONAB, 2020; GHISLENI RIBAS *et al.*, 2021).

Aproximadamente 20-25% e 40-60% da massa deste arroz produzido são cascas de arroz e palha de arroz, respectivamente. A abundância deste material corresponde ao setor um enorme potencial de utilização para produção de bioenergia como forma de aproveitamento destes resíduos, tendo em vista que sua participação nos resíduos agrícolas globais é em torno de 43% do total (CHEN *et al.*, 2013; KADAM; FORREST; JACOBSON, 2000; WERTHER *et al.*, 2000).

No entanto, o descarte inadequado deste material pode gerar inúmeros danos ambientais, pois a casca de arroz quando descartada diretamente ao solo e em condições naturais, demora cerca de 5 anos para se decompor e emite grandes quantidades de gás metano (CH₄) à atmosfera (MAYER; HOFFMANN; RUPPENTHAL, 2006). Este material, classifica-se como resíduo sólido e entre os destinos de descartes mais comuns, encontram-se os depósitos a céu aberto, depósitos em aterros sanitários, usinas de compostagem, usinas de reciclagem, usinas de incineração e usinas verdes (SIRVINSKAS, 2020).

Neste contexto, a construção civil representa um setor que se destaca pelo aproveitamento de resíduos, principalmente na produção de concretos e argamassas, seja como agregado ou como substituição parcial do cimento Portland (CP) (WU; KOU, 2019). Assim, quanto menor o consumo de Cimento Portland, menor o impacto ambiental e mais sustentável o material desenvolvido (CORDEIRO *et al.*, 2009).

A casca de arroz é um resíduo sólido que quando submetido à um processo de queima controlada (temperatura e tempo) dá origem ao material denominado de cinza da casca de arroz, essa cinza submetida ao processo, apresenta um teor de sílica superior a 90% e recebe o nome de Sílica da Casca de Arroz (SCA) (DAS *et al.*, 2020; HOSSAIN; ROY, 2020; SOBROSA *et al.*, 2017). Nas últimas décadas, estes materiais tem sido utilizados para redução de custos, questões ambientais (redução de emissões de CO₂) e melhorias nas propriedades de compósitos cerâmicos, argamassas e concretos do estado fresco ao endurecido (MARANGON *et al.*, 2021; NAIR *et al.*, 2008; STOCHERO *et al.*, 2017).

Outro fator preponderante para a incorporação destes materiais é a busca pelo aumento da produtividade e desempenho nos canteiros de obras, no qual o conhecimento do material ao qual se está trabalhando, torna-se uma questão primordial. Sabe-se que em uma obra de construção civil, seja ela uma residência ou edificação, há várias etapas importantes que devem ser executadas em sequência para o seu desenvolvimento adequado. Dentre estas, pode-se citar a etapa de assentamento da alvenaria.

A alvenaria é descrita como um grupo de materiais formados pela união entre blocos/tijolos cerâmicos ou de concreto, através de juntas de argamassa que formam um conjunto rígido e coeso. As características dos blocos/tijolos e argamassas a serem utilizadas e seu comportamento no estado endurecido, são determinantes para avaliar o comportamento da estrutura.

Resultados experimentais indicam que um dos principais fatores de bons resultados quanto ao comportamento mecânico, qualidade, durabilidade e desempenho desses sistemas é

um fenômeno denominado aderência. A Aderência é responsável pelo desenvolvimento de inúmeras pesquisas na área de concretos, revestimentos argamassados, reparo à materiais de base cimentícia e tecnologia dos materiais (JO, 2020; LI; XIE; XIONG, 2001; PACHTA; SERPEZOUDI; STEFANIDOU, 2020; SAVASTANO; AGOPYAN, 1999; ZHANG; WANG; WANG, 2020).

Segundo Costa (2013), embora envolva materiais e processos de produção diferentes, todos estes casos implicam na formação de uma interface, cujas interações ocorrem após o contato da matriz cimentícia ainda no estado plástico com o substrato e vão se modificando ao longo do tempo devido à cinética de hidratação dos materiais aglomerantes e absorção do bloco cerâmico. Apesar de ter sido alvo de inúmeras pesquisas, os parâmetros que determinam o contato de matrizes cimentícias a substratos ainda não são bem compreendidos, tornando difícil estabelecer métodos para o melhor entendimento desta zona de interface entre a argamassa e o bloco.

Deste modo, o presente trabalho avaliou a resistência de aderência e seus mecanismos de funcionamento na interface entre a argamassa e o tijolo, através de ensaios de cisalhamento com a utilização de pré-compressão em prismas formados por tijolos cerâmicos maciços, argamassas com diferentes composições e submetidas a diferentes tempos de aplicação. Esse tempo de aplicação foi definido como referência o momento em que toda a água de mistura entrou em contato com os materiais constituintes das argamassas “ t_0 ”.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a resistência de aderência através do ensaio de cisalhamento de prismas de tijolos cerâmicos maciços, compostos por argamassas produzidas com substituição parcial do Cimento Portland por Sílica da Casca de Arroz e aplicadas em diferentes tempos.

1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a resistência mecânica das argamassas, submetidas aos ensaios de resistência à tração na flexão em 3 pontos e resistência à compressão axial conforme a ABNT- NBR 13279;

- Analisar a resistência de aderência através do ensaio de cisalhamento de prismas moldados com argamassas com teores de substituição de CP por SCA em três porcentagens (0, 5 e 30%) quando aplicadas em diferentes tempos (15, 60 e 180 minutos) após a hidratação do cimento, utilizando como diretriz o ensaio da norma EN 1052-3 (CEN, 2002);
- Analisar o processo de fissuração e as causas das falhas na interface argamassa-tijolos através de análise gráfica e de imagens obtidas durante os ensaios;

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Alvenaria e o Fenômeno de Aderência

Sabe-se que a alvenaria é um sistema estrutural complexo, no qual cada componente tem características físicas e mecânicas distintas. Estes materiais podem variar de acordo com as determinações do projetista, mas todos devem trabalhar em conjunto para que se atendam às solicitações de projeto. Neste contexto, torna-se necessário um entendimento do comportamento destes conjuntos sob várias condições de carregamento.

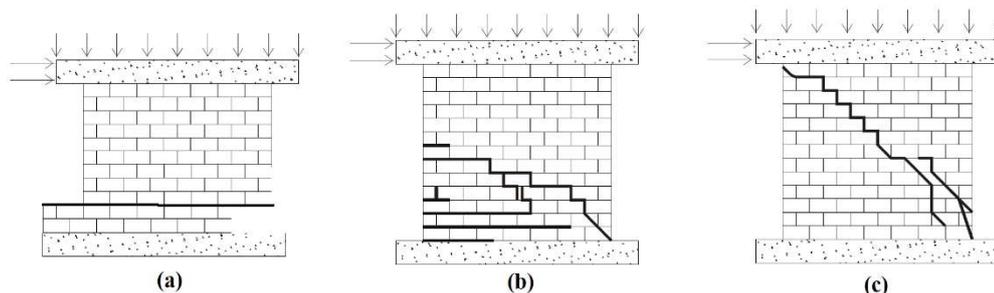
As paredes de alvenaria são elementos projetados para sustentar carregamentos axiais, no qual a resistência à compressão é o principal fator de dimensionamento de projeto. No entanto, constantemente estas paredes são submetidas às cargas de cisalhamento e forças laterais, estas causadas pela força do vento e a aplicação de cargas excêntricas na estrutura. Deste modo, ressalta-se à importância de considerar a resistência ao cisalhamento e à flexão destes conjuntos de alvenaria para o desenvolvimento do projeto de edificações (MATA, 2005).

Para compreender o comportamento global da estrutura, é necessário compreender o comportamento individual de cada zona, principalmente a interface entre o tijolo e a argamassa, que é a responsável pelo fenômeno de aderência da argamassa de assentamento ao bloco (CARASEK; DJANIKIAN, 1997) .

Segundo Mata (2005), a aderência da argamassa de assentamento é responsável pela capacidade da junta de resistir aos esforços de tração perpendiculares ao seu plano e à tensão de cisalhamento devido às forças tangenciais, além de suportar acomodações de origem térmica. O entendimento desta aderência entre o bloco e a argamassa é necessária em casos nos quais as paredes de alvenaria não são armadas.

Nestes casos, para que estas paredes resistam ao cisalhamento produzido por forças laterais, a resistência de aderência é essencial para a estabilidade da estrutura, pois a combinação de fatores como a qualidade das argamassas de assentamento, a magnitude das forças verticais e horizontais e o tipo de bloco utilizado podem gerar diferentes formas de ruptura, estas representadas na Figura 1.

Figura 1- Formas de Rupturas em paredes de alvenaria submetidas a ações no plano



Fonte: Adaptado de (MATA, 2005).

A forma de ruptura representada na Figura 1-a, ocorre geralmente em paredes que são submetidas a cargas verticais relativamente baixas e cargas horizontais que quando combinadas com uma argamassa de baixa aderência, causam o deslizamento por cisalhamento da parede na interface argamassa-tijolo.

Já no caso da Figura 1-b é representado o mecanismo de ruptura de uma parede de alvenaria quando submetida a um momento fletor causado pela força lateral e uma baixa força vertical uniformemente distribuída ao longo da parede. Esses carregamentos levam à abertura de fissuras horizontais por levantamento da parede, enquanto na extremidade direita, verifica-se o esmagamento das unidades de alvenaria por compressão.

Por último, no caso de paredes submetidas a elevadas forças verticais e horizontais, ocorrem fissuras diagonais, causadas pelo cisalhamento da alvenaria ou da argamassa.

Dependendo da qualidade da argamassa e dos blocos utilizados, elas podem localizar-se unicamente nas juntas de argamassas (argamassa de baixa qualidade) ou também podem se manifestar nos blocos (blocos de baixa resistência).

2.2 Avaliação da resistência ao cisalhamento em blocos de alvenaria

No Brasil, pela complexidade de determinados ensaios e a precariedade tecnológica disponível em boa parte dos campos de desenvolvimento de pesquisas, há falta de normalização de ensaios para a determinação das tensões de cisalhamento entre as unidades de alvenaria e as juntas de argamassas.

Atualmente, a normalização para este tipo de pesquisa, constitui-se na utilização de normas estrangeiras, o que gera polêmica e conduz a padrões muitas vezes inadequados à realidade local.

A falta de um ensaio padrão no país, gera a busca por novos métodos de ensaio e avaliação das argamassas que sejam aplicáveis às nossas condições e que permitam obter parâmetros confiáveis para uso na execução dos controles de qualidade e na avaliação do desempenho final do produto. Neste contexto, nas seções a seguir serão discutidos métodos de ensaio, suas aplicabilidades e as considerações preponderantes de autores brasileiros e internacionais em relação ao ensaio de cisalhamento em argamassas.

2.3 A Influência da Pré-Compressão em Ensaio de Resistência ao Cisalhamento

Estudos realizados por Riddington e Jukes (1994), relatam a relação entre a pré-compressão e a resistência ao cisalhamento seguindo a Lei de Coulomb. Os autores concluem que existe uma resistência de cisalhamento inicial que depende da aderência entre a argamassa e a alvenaria, aumentada por um componente friccional proporcional à pré-compressão. Esta relação pode ser descrita pela Equação 1:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_y \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

τ é o valor de resistência ao cisalhamento com utilização de pré-compressão

τ_0 é a resistência ao cisalhamento para compressão zero

μ é o coeficiente de atrito

σ_y é a tensão de pré-compressão.

Jukes (1997) afirma que esta relação é aceita por diversos pesquisadores e que é válida para valores de pré-compressão de até 2 N/mm² para tijolos cerâmicos, no entanto, a sua tensão de cisalhamento última pode ser menor que o valor encontrado através da fórmula. Também foi evidente no estudo realizado que quando a tensão de pré-compressão se aproximava da resistência à compressão da alvenaria, a resistência ao cisalhamento do material caía a zero.

Sabe-se que a resistência ao cisalhamento depende da resistência da argamassa e da aderência entre os tijolos e a argamassa utilizada. Carasek e Djanikian (1997) afirmam que a aderência entre a argamassa e o bloco tem origem na interação entre os dois materiais, não constituindo assim uma característica inerente à argamassa, mas sim ao conjunto. Sendo assim, a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-bloco: resistência

de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

Existe uma grande diferença de resultados encontrados para ensaios de cisalhamento, pois como não há uma norma obsoleta sobre o assunto, são encontrados inúmeros trabalhos, com distintas geometrias dos corpos de prova, diferentes valores de pré-compressão, diferentes velocidades de ensaio, orientação das cargas, propriedades físicas dos materiais constituintes e principalmente dos diferentes tipos de ensaios, estes, apresentados a seguir.

2.4 Descrição dos Ensaios para a Avaliação da Resistência ao Cisalhamento

Atualmente, pela busca da padronização de ensaios para obtenção do valor da resistência ao cisalhamento de argamassas, são desenvolvidos ao redor do mundo inúmeros ensaios para obtenção deste valor. Estes ensaios variam o corpo de prova em duas, três, quatro ou até paredes de alvenaria, os carregamentos com e sem pré-compressão e as cargas centradas ou excêntricas. Os valores encontrados por estes ensaios, podem ser o valor do coeficiente de atrito (μ), o valor da resistência ao cisalhamento (τ), ou ambos os fatores.

Os testes de duas, três e quatro unidades, apesar de não representarem em escala o comportamento da estrutura, são mais fáceis de moldar, transportar e ensaiar, além de permitir um maior controle das tensões utilizadas e um melhor entendimento das causas e fatores que levaram o conjunto a falha.

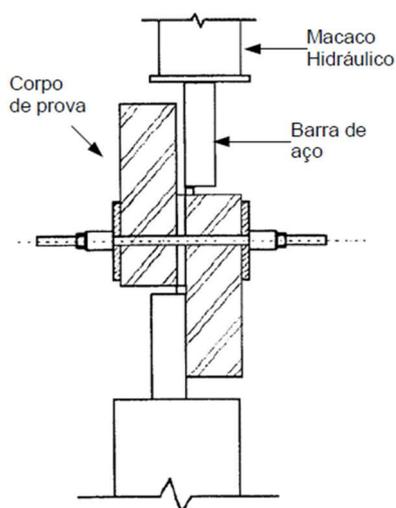
2.4.1 Ensaios realizados com duas unidades de alvenaria

Os ensaios realizados com duas unidades de alvenaria consistem em ligar as duas unidades por uma única junta de argamassa. Estes são ensaios realizados de forma simples e tornam-se economicamente viáveis para reprodução em grande escala. No entanto, os ensaios podem apresentar uma dificuldade de se conseguir uma distribuição de tensões uniformes ao longo da interface argamassa-tijolo. Em todas as configurações há a preocupação de evitar os esforços de flexão entre o bloco e a argamassa, porém nos ensaios duplos esse fator pode ser ainda mais preponderante.

Khalaf e Naysmith (1994), propuseram um modelo com dois blocos e apenas uma junta, como mostrado na Figura 2. Com um aparato e um ensaio fácil de se executar, foram ensaiados 5 tipos de blocos cerâmicos e três tipos de argamassas, todos rompidos aos 28 dias. Os ensaios foram realizados para estudar o efeito do aumento da resistência das argamassas na resistência

ao cisalhamento nas juntas. Nos ensaios, foram obtidos os valores do módulo de elasticidade longitudinal do material do tirante, convertido estes valores em deformação e assim obtidos os valores das tensões de pré-compressão. Os testes apresentaram uma confiabilidade, pois seus resultados tiveram pequena variação de resultados (apud MARTINS, 2001).

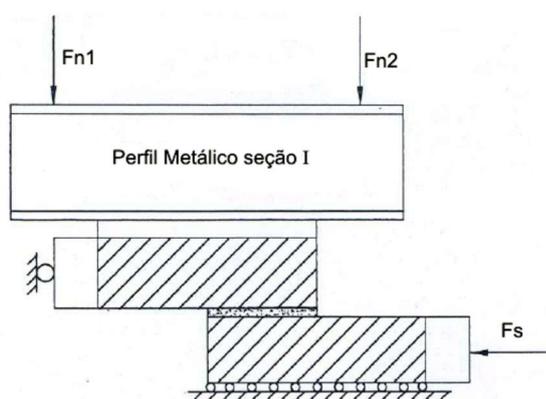
Figura 2- Ensaio Proposto por KHALAF E NAYSMITH (1994)



Fonte: Martins (2001).

Stockl e Hofmann (1986), também apresentaram o seu modelo de ensaio proposto para medição da resistência ao cisalhamento com duas unidades de alvenaria (Figura 3).

Figura 3- Teste aprimorado utilizando duas unidades de alvenaria.



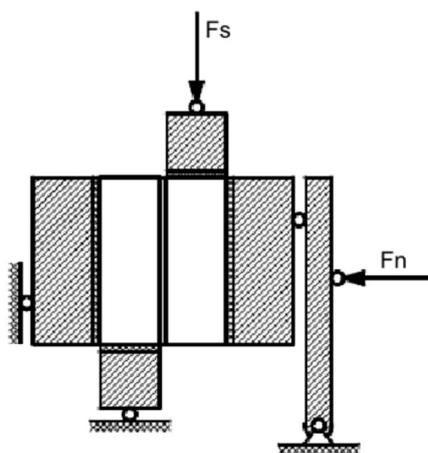
Fonte: Stockl e Hoffman (1986) apud (OLIVEIRA, 2014).

Este modelo de ensaio consiste na utilização de duas forças verticais controladas eletronicamente, que são usadas para anular qualquer tipo de momento criado por reações do

corpo de prova durante o ensaio. O ensaio permite que se crie uma tensão constante na junta e possa ser aplicado diversos valores de pré-compressão.

Riddington (1997) concluiu, através de uma análise de elementos finitos, que esse método de ensaio proposto por Stockl e Hoffman (1986) é aquele que consegue produzir uma distribuição de tensões mais uniforme. Após este mesmo estudo, Riddington (1997) apresentou uma nova proposta para uma configuração de ensaio para verificar a resistência ao cisalhamento (Figura 4). Neste ensaio, as forças são aplicadas através de conjuntos cilíndricos dispostos de forma a anular a flexão causada na junta da argamassa.

Figura 4 - Ensaio proposto por RIDDINGTON (1997)



Fonte: RIDDINGTON (1997) apud Mata (2005).

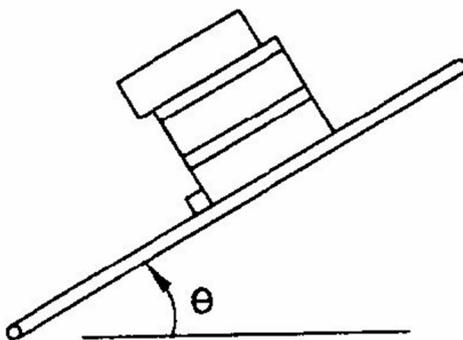
O autor concluiu que mesmo com a pré-compressão aplicada, as tensões de cisalhamento e de compressão não foram uniformes ao longo da junta, porém pode-se afirmar que o aparato utilizado foi o que mais reduziu os efeitos indesejados da flexão na interface argamassa-tijolo Riddington (1997) apud Mata (2005).

2.4.2 Ensaio realizados com três unidades de Alvenaria

Os ensaios utilizando tripletas ou prismas são constituídos por três unidades de alvenaria ligadas entre si por duas juntas de argamassa. Os carregamentos são aplicados simetricamente tornando o equipamento de ensaio mais simples e apresentando, assim, uma vantagem em relação aos ensaios duplos. No entanto, estes ensaios demandam mais material, tempo de execução, além dos valores obtidos serem representados pela média dos valores encontrados para as duas juntas.

Um método de teste simples para determinação da resistência ao cisalhamento de juntas de alvenaria, como os parâmetros τ e μ foi proposto por Ghazali e Riddington (1988) (Figura 5).

Figura 5- Ensaio para obtenção de ângulo de atrito e força de cisalhamento em unidades de alvenaria



Fonte: Ghazali e Riddington (1988) apud (JUKES, 1997).

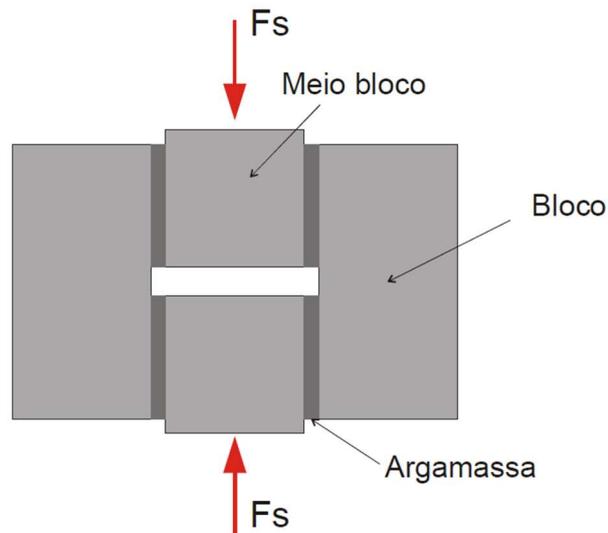
Este método de teste requer o uso de equipamentos de teste menos sofisticados em comparação com os outros necessários para testar corpos de prova com três unidades de alvenaria, pois não é necessário a aplicação de pré-compressão e os blocos só precisam ser carregados e monitorados em uma direção. Eles mostraram que é possível usar seu método de teste como uma alternativa aos métodos de teste existentes e obter resultados eficazes.

O método consiste em dois estágios: A primeira etapa consiste em testar um corpo de prova com três unidades de alvenaria ao teste de cisalhamento sem carga de pré-compressão para obter um valor inicial de resistência ao cisalhamento (τ_0).

Para a segunda etapa do teste são novos corpos de provas e estes, são submetidos ao carregamento inclinando os blocos até que ocorra o deslizamento do tijolo superior na junta causado pela aplicação da força. O coeficiente de atrito obtido (μ) é tomado como o tangente do ângulo de inclinação da junta horizontal. Embora o teste do plano inclinado meça o coeficiente de atrito externo, Ghazali e Riddington mostraram que este valor dá uma boa indicação do valor do coeficiente de atrito interno (μ).

Sinha (1983) realizou ensaios com corpos de prova moldados com quatro tijolos, ensaio este muito utilizado por pesquisadores da década de 80 (Figura 6). O estudo teve como foco, estudar a influência do teor de umidade do tijolo, da granulometria da areia e do carregamento da alvenaria durante o período de cura sobre a resistência ao cisalhamento da alvenaria.

Figura 6- Ensaio Utilizado por Sinha (1983)



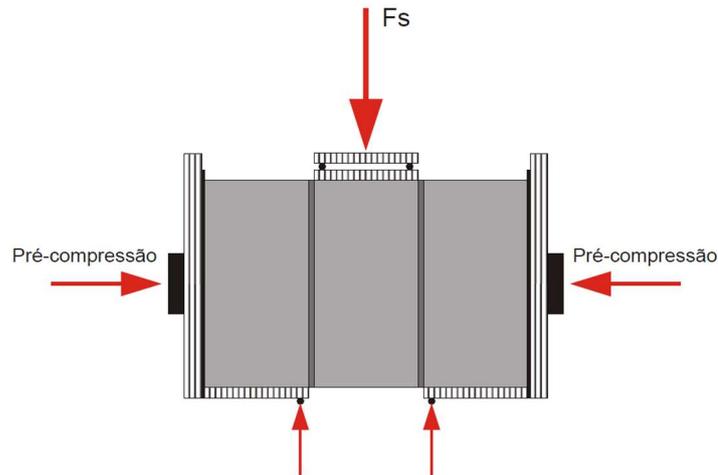
Fonte: Sinha (1983) apud (MATA, 2005).

Este tipo de ensaio possui algumas desvantagens, entre elas consta que a força cortante nos meios blocos é resultante na parte exterior do corpo de prova (resultante no centro dos blocos laterais), o que potencializa o efeito da flexão nas juntas devido a excentricidade gerada e a inexistência de apoios que limitem o movimento de translação do bloco lateral (tensões de pré-compressão). Nestes casos, as forças geradas pela flexão acabam em romper o corpo de prova através da tensão última de tração da argamassa durante o ensaio e conduzindo a resultados não precisos para os parâmetros analisados em relação ao cisalhamento.

Outro ponto negativo deste ensaio é o fato de o prisma possuir quatro juntas, por isso, a resistência medida neste ensaio corresponde à média de quatro juntas, dificultando a caracterização e o entendimento do comportamento de uma junta simples.

Uma forma encontrada de minimizar os efeitos de tração e a ocorrência da flexão nas juntas é a alteração do posicionamento da força atuante e das reações de apoio nos blocos cerâmicos. Dessa forma, um novo arranjo deste ensaio foi adotado pela norma europeia EN 1052-3 (2002) (Figura 7).

Figura 7- Ensaio realizado com tripletas e adotado pela EN 1052-3 (2002).



Fonte: EN 1052-3 apud (MATA, 2005).

Os valores das tensões de cisalhamento máximas para os ensaios de tripletas pela EN 1052-3 são calculados através da Equação 2.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{2A} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$F_{m\acute{a}x}$ – é a força máxima aplicada sobre o bloco central;

A – É a área de contato do bloco com a argamassa;

$\tau_{m\acute{a}x}$ – Tensão de cisalhamento máximo da argamassa.

No entanto, apesar da aplicação das tensões de pré-compressão e a busca por minimizar os efeitos de tração no ensaio, nenhum dos ensaios conhecidos atualmente são capazes de produzir uma distribuição uniforme das tensões normais e de cisalhamento, considerando este, o ensaio que se revelou capaz de obter valores de τ mais consistentes para a avaliação do desempenho das argamassas estudadas no trabalho.

2.5 Tempo de Utilização das Argamassas

Pode-se chamar de tempo de utilização ou tempo útil da argamassa, o tempo pelo qual a argamassa pode ser utilizada após a hidratação, sem que tenha uma perda de suas propriedades reológicas no estado fresco ou de suas propriedades mecânicas no estado endurecido. Após este período de hidratação, não é indicada a utilização desta argamassa, mesmo com o acréscimo de água e a incorporação de material nesta mistura (OLIVEIRA, 2015).

O tempo de utilização das argamassas dependem de sua composição, condições externas (temperatura e umidade) e seu método de preparação. O tempo de utilização também pode ser relacionado ao tempo de pega da argamassa, quanto mais rápido o processo de pega, menor o tempo de utilização da argamassa (SILVA, 2003).

Segundo Neville (1997), o tempo de pega pode ser estimado pelo ensaio de Vicat Modificado e definido como o tempo da hidratação do cimento, até o enrijecimento da pasta (apud CORTESE, 2019).

Neste contexto, definiu-se como “tempo de aplicação” o período no qual a argamassa era utilizada para realização do assentamento dos tijolos maciços após a água da mistura entrar em contato com os demais materiais utilizados na composição das argamassas.

2.6 Adições Minerais em Materiais Compósitos

O uso de Adições minerais, sejam elas com propriedades cimentantes ou pozolânicas, tem sido amplamente utilizado nas últimas décadas como substituto parcial do cimento Portland. A incorporação destes materiais tem apresentado melhorias, tanto para redução de custos, quanto para amplificação do desempenho e durabilidade dos produtos à base de cimento (Amaral *et al.*, 2020).

As adições podem ser classificadas em tipo I e tipo II, de acordo com sua reatividade. As adições do tipo I são representadas basicamente pelos filers calcários e quartzos moídos. Este grupo de adições minerais são materiais inertes e que promovem uma ação física, aumentando a compacidade da mistura. Enquanto para a classificação do tipo II, são incluídas as adições reativas, estas que tem como representante a cinza da casca de arroz, cinza volante, metacaulim, escória de alto forno e o fumo sílica (microsílica). As adições do tipo II contribuem para a formação de hidratos sendo empregadas em substituição ao cimento em teores de até 30%. Muitas vezes é feita a utilização destes dois tipos de adição em conjunto (MARANGON, 2006).

Segundo Dal Molin (2011), o efeito químico das adições minerais está aliado à capacidade de reação com o hidróxido de cálcio (CaOH_2), formado durante o processo de hidratação do cimento para os silicatos de cálcio hidratado adicionais (C-S-H) serem formados. Estes silicatos formados tendem a preencher os vazios capilares, aumentando a resistência da argamassa.

Estudos realizados por Guedert (1989) apud Tonello (2017), ressaltam que a adição de pozolanas ao cimento interfere em algumas características fundamentais do material, como:

- Aumento da resistência mecânica em idades mais avançadas (resistências iniciais ligadas a fatores físicos e mais avançadas, a fatores químicos);
- Diminuição do calor de hidratação;
- Maior trabalhabilidade (melhor arranjo e volume do aglomerante);
- Aumento da resistência ao ataque de ácidos, acarretando em uma maior durabilidade em ambientes agressivos (compostos de menor relação CaO/SiO_2);
- Inibição da expansão devida à reação álcali-agregado;
- Proporciona ao material maior impermeabilidade (preenchimentos dos poros da pasta);
- Aumento do módulo de elasticidade;
- Melhor comportamento na cura térmica;
- Basicidade baixa (maior risco de corrosão, porém compensado pela maior impermeabilidade).

2.6.1 Influência no Comportamento Reológico

O comportamento reológico pode ser afetado de inúmeras formas em misturas cimentícias, podendo-se citar alguns fatores como: distribuição granulométrica dos materiais, empacotamento das partículas, volume de sólidos, densidade das partículas e porosidade.

Na dosagem de argamassas, a distribuição granulométrica possui grande influência sobre o empacotamento de partículas, já que dois materiais de diâmetros diferentes tendem a diminuir os vazios deixados pelo outro. Destaca-se ainda, que em misturas de alta compacidade, após as adições minerais, há um ganho na resistência e uma menor porosidade do material, as quais são características preponderantes em argamassas de revestimento (FORMAGINI, 2005).

2.6.2 Influência no Comportamento Mecânico

O uso de adições minerais, principalmente a adição de pozolanas mais ativas (sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz) ao concreto e argamassas, indicam uma melhora considerável na resistência à compressão e na flexão em três pontos, dependendo da quantidade de incorporação destes materiais (Gomes, 2013).

Gomes (2013) afirma que esta melhora está diretamente ligada com o aumento da resistência da matriz na zona de transição, devido ao processo de refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento. O autor também ressalta que com a adição de pozolanas ao concreto, sua resistência à compressão aos 7 dias é inferior ao sem adição, justificado pelo fato da reação de hidratação das pozolanas ainda não ser suficiente para afetar a resistência. Entretanto, aos 28 dias, misturas contendo 10% de pozolanas já apresentam resistências superiores.

No estudo desenvolvido por MARANGON *et al.* (2021), foi observado no ensaio de Squeeze Flow proposto pelo autor que a carga máxima de tração tende a aumentar à medida que o teor de Sílica das argamassas também aumenta. Embora os valores de carga de tração possam variar sutilmente com a idade, as maiores cargas de tração foram obtidas para os maiores teores de substituição do CP por SCA para as idades de 15 e 60 minutos de aplicação, este efeito é associado provavelmente à maior capacidade de retenção de água das argamassas (apesar do maior número de partículas finas). Aos 120 e 180 minutos, a carga de tração aumenta para as argamassas com maior teor de SCA, devido ao lento processo de hidratação, que retarda o tempo de pega, mantendo uma consistência viscosa na mistura.

Para idades iniciais, a capacidade de retenção de água de argamassas com teor de substituição mais baixos é menor, devido à ausência ou menor quantidade de Sílica, aliada ao processo de hidratação mais rápido. Concluindo então, que a maior quantidade de água liberada leva a um menor efeito de adesão. Para idades posteriores, o processo de secagem da água superficial permite uma maior adesão entre a argamassa e o substrato.

MARANGON *et al.* (2021), também conclui que estas argamassas com teores de substituição mais baixos, possivelmente poderiam ser aplicadas em tempos mais longos (120 e 180 minutos), visando um aumento da aderência entre a argamassa e o substrato. Por outro lado, as demais argamassas (10,15,20 e 30% de Substituição) podem ser aplicadas a qualquer

momento, pois sua capacidade de retenção de água permite um melhor efeito de adesão sem perda de água para o substrato.

De um modo geral, a adição de pozolanas mais ativas apresentam características mecânicas muito baixas nas primeiras idades, mas quando se trata de idades mais avançadas, os concretos e argamassas com adições minerais podem apresentar resistências mecânicas semelhantes ou superiores às determinadas em materiais sem adição. Esse fato justifica-se pela reação pozolânica ser lenta, mas prolongada, constatando-se uma recuperação dos níveis de resistência nos concretos e argamassas com adições ao longo do tempo. A incorporação de materiais pozolânicos também permite reduzir a relação água/cimento da mistura e potencializar a resistência mecânica (AZEVEDO, 2002).

3 METODOLOGIA

A composição das argamassas utilizadas no trabalho foram desenvolvidas por (MARANGON *et al.*, 2021). Adaptações foram necessárias devido a comercialização da marca do cimento utilizado pelo autor não estar disponível na região, adotou-se então, o uso do cimento de marca CSN. O trabalho tem o embasamento justamente em replicar as argamassas já submetidas a ensaios reológicos e estudar os comportamentos destas argamassas em relação à resistência mecânica e sua interação com os tijolos cerâmicos.

Para isso, utilizou-se os seguintes materiais:

- Areia Fina Calcária (AF);
- Areia Média (AM);
- Areia Grossa (AG);
- Filer Calcário (FIL);
- Cal Hidráulica (CAL);
- Cimento CP II – F 32 (CIM);
- Sílica da Casca de Arroz (SCA);
- Água

O cimento utilizado foi adquirido em estabelecimento comercial na cidade de Santa Maria - RS. Os agregados miúdos utilizados foram provenientes da jazida da empresa Fida de Caçapava do Sul - RS.

Todas as substituições de CP por SCA nos diferentes teores, foram realizadas em relação ao traço massa da mistura. Na Tabela 1, pode ser observada então, a composição das misturas produzidas e a quantidade dos materiais utilizados em traço unitário (Kg).

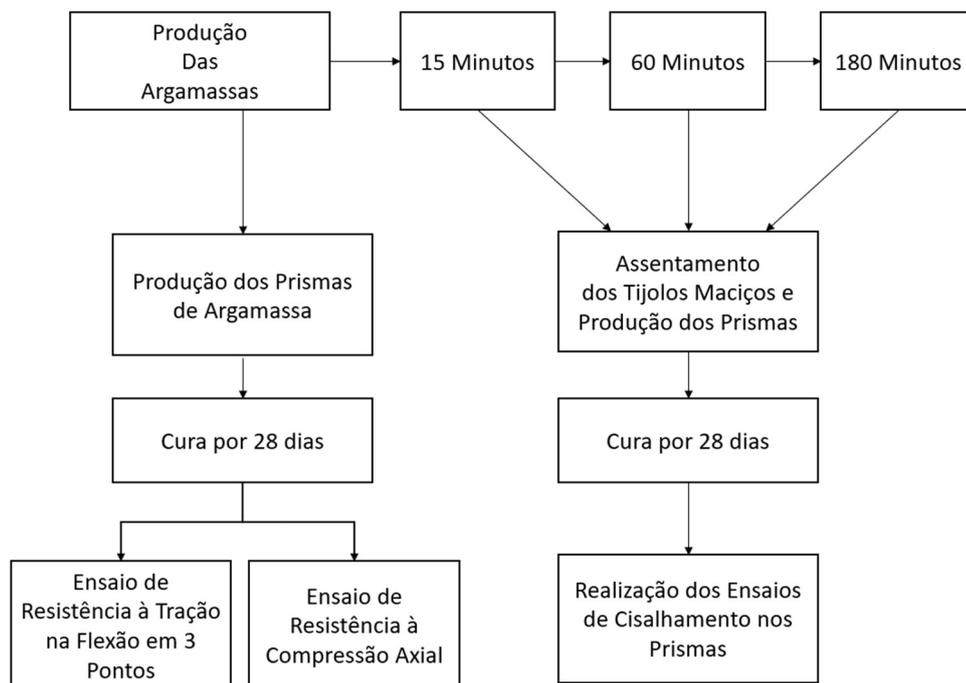
Tabela 1- Traço massa das argamassas estudadas (Kg).

Nomenclatura	Cimento CII-F-32	Cal Hidráulica	Fíler Calcário	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Sílica da Casca de Arroz	Água
REF	1,000	1,200	0,917	2,833	1,583	1,000	0,000	1,562
SCA5	0,950	1,200	0,917	2,833	1,583	1,000	0,050	1,562
SCA30	0,700	1,200	0,917	2,833	1,583	1,000	0,300	1,562

Fonte: Adaptado de MARANGON *et al.*(2021).

Na Figura 8, estão dispostos os procedimentos experimentais realizados para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 8- Procedimentos Experimentais desenvolvidos no trabalho.



Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 2 pode ser visualizada a quantidade de prismas de tijolos maciços moldados para realização do ensaio de resistência ao cisalhamento aos 28 dias de cura. Na Tabela 3, está demonstrado o quantitativo dos prismas de argamassas submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial ensaiados aos 28 dias de cura.

Tabela 2- Especificação e quantidades de prismas ensaiados aos 28 dias.

Idade de Aplicação	Traço Referência	Argamassa com 5% de Substituição	Argamassa Com 30% De Substituição
15 minutos	4	4	4
60 minutos	4	4	4
180 minutos	4	4	4
Total de Prismas Por Traço	12	12	12
Total De Prismas	36		

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 3- Quantidade de Prismas de Argamassas para Ensaio de Resistência à Tração na Flexão/ Compressão Axial.

Prisma moldado para Ensaio de Resistência à Tração na Flexão/ Compressão Axial	Número de Prismas
Traço Referência	3
Argamassa com 5% de Substituição	3
Argamassa com 30% de Substituição	3
Total	9

Fonte: Elaboração Própria

3.1 Caracterização dos Materiais das Argamassas

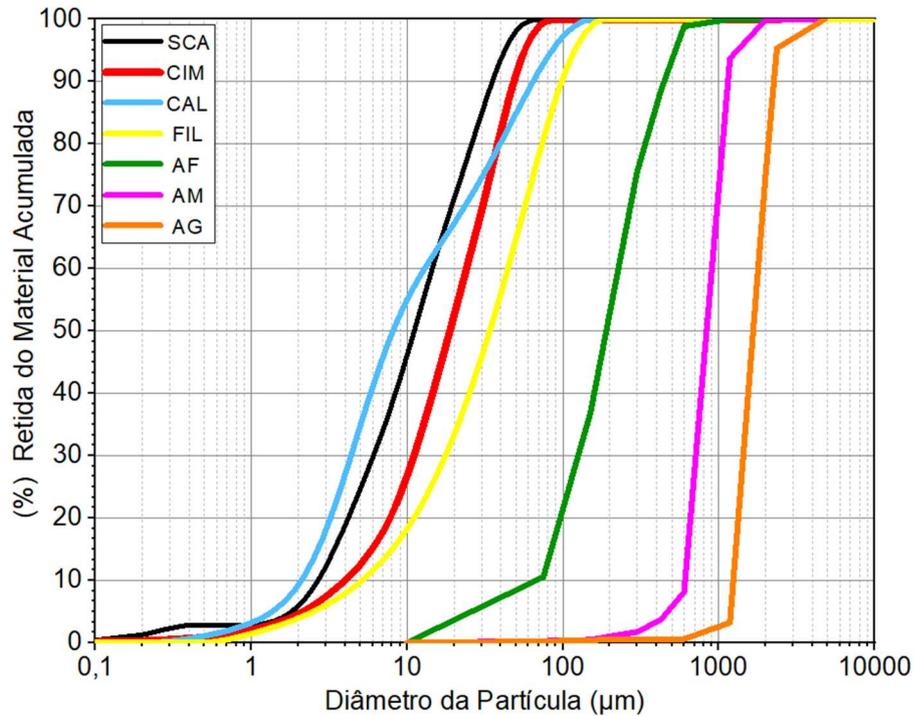
A composição granulométrica e as massas específicas dos agregados miúdos (areia fina, areia média e areia grossa), assim como dos materiais finos (fíler, cal, cimento e sílica da casca de arroz) foram realizadas. O cimento Portland foi caracterizado através de ensaio de Difração de raios X, realizado na Universidade Federal do Pampa – Campus Uruguaiana. O resultado da caracterização dos materiais, está apresentado na Tabela 4 e a composição granulométrica dos materiais na Figura 9.

Tabela 4- Caracterização dos Materiais

Material	Peso Específico (g/cm ³)	Densidade de Empacotamento	Área Específica de Superfície (m ² /kg)	Perda ao Fogo (%)
CIM	2.97	0.575	0.38 m ² /kg	5.34
CAL	2.53	0.545	1.18 m ² /kg	25.92
SCA	2.09	0.460	21.142 m ² /kg	3.50
FIL	2.87	0.577	0.55 m ² /kg	-
AF	2.82	0.620	-	-
AM	2.78	0.630	-	-
AG	2.80	0.600	-	-

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 9- Granulometria dos Materiais.

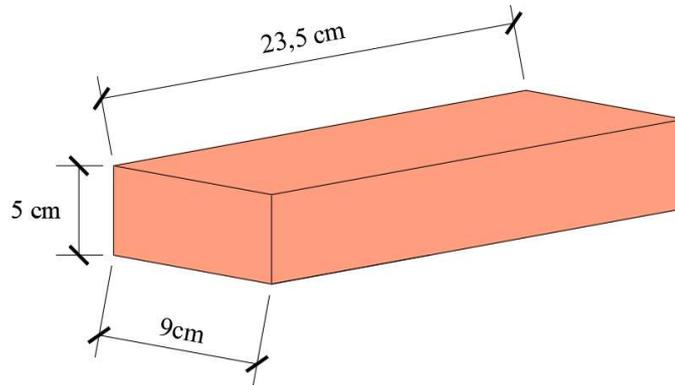


Fonte: Elaboração Própria.

3.2 Características do Tijolo Maciço

O tijolo escolhido para a realização do trabalho foi um tijolo maciço por considerar-se o mais recomendado por pesquisadores para o tipo de experimento. O tijolo foi adquirido em estabelecimento comercial de materiais de construção civil na cidade de Alegrete e possui geometria que pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Dimensões do Tijolo Maciço Utilizado



Fonte: Elaboração Própria.

Para a caracterização dos tijolos maciços, foram realizados os ensaios de Índice de absorção d'água, Resistência à compressão característica, planeza das faces e desvio em relação ao esquadro. Todos os ensaios foram realizados seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR 15270-2 e estão explicados de forma sucinta nas seções seguintes.

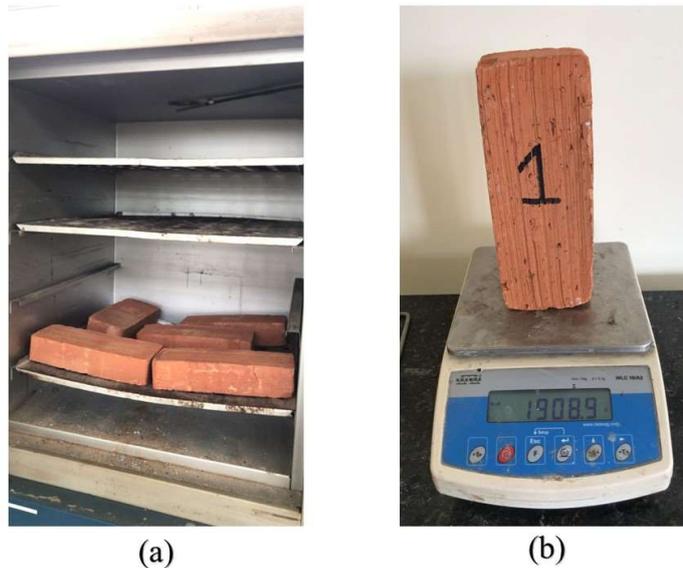
3.2.1 Índice de Absorção d'água

O ensaio foi realizado em 5 tijolos, utilizando balança com precisão de 0,1g para medição dos valores de massa seca e massa úmida dos tijolos e recipientes para submersão dos mesmos.

Para determinação da massa seca (M_s) foi realizado os seguintes procedimentos:

- Retirou-se todo o pó e outras partículas soltas dos tijolos;
- Os corpos de prova foram colocados em secagem na estufa a (105 °C) por 24 horas (Figura 11-a);
- Logo após, foi medido sua massa seca em gramas na balança (Figura 11-b).

Figura 11- Processo de Obtenção de Massa seca dos tijolos maciços: a) Tijolos colocados em estufa para secagem; b) Pesagem e obtenção da Massa Seca do Tijolo.

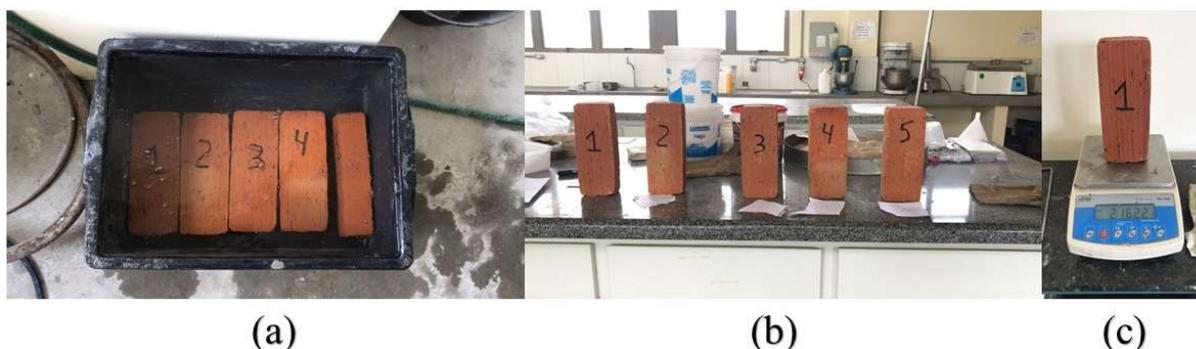


Fonte: Elaboração Própria.

Após a determinação da massa seca (M_s), os corpos de prova foram submetidos ao procedimento de obtenção dos valores de massa úmida (M_u):

- Os corpos de prova foram colocados em recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água a temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos por 24 horas (Figura 12-a);
- Foram retirados e deixados em bancada para escorrer o excesso de água (Figura 12-b);
- A água remanescente foi removida com o auxílio de um pano limpo e úmido, observando-se que o tempo de remoção e pesagem não fosse superior a 15 minutos;
- Pesado e obtidos os valores de Massa úmida, expresso em gramas para cada tijolo (Figura 12-c).

Figura 12- Obtenção da Massa Úmida dos Tijolos: a) Tijolos Submersos para Saturação por 24 horas; b) Tijolos dispostos em bancada para escoamento do excesso de água; c) Pesagem e obtenção da Massa úmida do Tijolo



Fonte: Elaboração própria

Com os valores obtidos, pode-se utilizar a Equação 3 para obtenção da Absorção d'água:

$$AA (\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

Mu – Massa úmida (g);

Ms – Massa seca (g).

AA – Absorção d'água do tijolo.

Os valores obtidos na pesagem de cada tijolo foram aplicados na Equação 3 e seus resultados estão disposta na Tabela 5:

Tabela 5- Resultados do ensaio de Absorção d'água.

Corpo de Prova	Massa Seca(g)	Massa Úmida (g)	Absorção d'água (%)
CP01	1908,9	2162,2	13,27
CP02	1928,1	2181,6	13,15
CP03	1921,2	2179,9	13,47
CP04	1949,8	2205,1	13,09
CP05	1917,2	2175,3	13,46
Média	1925,04	2180,82	13,29

Fonte: Elaboração Própria.

Para o requisito da norma NBR 15270-2 para absorção d'água, a norma especifica que o bloco deve ter entre 8 e 25%. O valor médio obtido foi de 13,29% o que atende os requisitos da norma.

3.2.2 Resistência à Compressão Axial

A resistência à compressão axial característica dos tijolos foi determinada através da norma ABNT NBR 15270-2 . O procedimento foi realizado conforme a seguir:

- Os corpos de Prova foram ser recebidos, identificado, limpos e foram colocados em ambiente protegido para que preservassem suas características originais;
- Cada corpo de prova foi constituído por um tijolo principal, íntegro e isento de defeitos.
- As faces do tijolo em contato com as faces das placas da prensa foram regularizadas por meio de capeamento com argamassa de resistência superior à 70% da resistência dos tijolos na área líquida. O procedimento foi realizado conforme Figura 13;
- Após o endurecimento das camadas de capeamento, os corpos de prova foram submersos em água por tempo determinado de 24 horas.

Figura 13- Capeamento dos Corpos de Prova para ensaio de Resistência Característica do Tijolo Maciço.



Fonte: Elaboração Própria.

Todos os corpos de prova foram ensaiados de modo que a carga foi aplicada na direção do esforço a que o bloco ou tijolo deve suportar durante o seu emprego. O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete (LEMAC), através da máquina EMIC DL-1500 (Figura 14).

Figura 14- Ensaio de Compressão Axial de Tijolo Maciço no Sentido do Carregamento.



Fonte: Elaboração Própria.

Para a execução do ensaio de compressão axial, foram realizados os procedimentos da seguinte forma:

- Os tijolos foram ensaiados na condição saturada;
- Todos os corpos de prova foram ensaiados de modo que a carga foi aplicada na direção do esforço em que o tijolo deve suportar durante seu emprego, sempre perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento;
- Os corpos de prova foram colocados na prensa, de modo que o seu centro de gravidade ficou no eixo de carga dos pratos da prensa;
- O ensaio de compressão, foi efetuado de forma que a tensão aplicada, calculada em relação a área bruta, se elevou progressivamente à razão de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s.

A resistência à compressão característica dos tijolos foi a média dos resultados obtidos no ensaio, expressa em Megapascals (MPa), com aproximação decimal, calculada como a média aritmética dos valores individuais e os resultados podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6- Resistência à Compressão dos Tijolos Maciços.

Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)
CP01	19,35
CP02	15,93
CP03	18,37
CP04	15,95
CP05	22,70
Média	18,46
Desvio Padrão	2,81
Variância	7,88

Fonte: Elaboração Própria.

A resistência à compressão característica dos tijolos considerada foi a média dos resultados obtidos no ensaio, **18,46 (MPa)**.

3.2.3 Desvio em Relação ao Esquadro

Para determinação do desvio em relação ao esquadro, foi feito o ensaio especificado pela norma NBR 15270-2 (Anexo A). Os corpos de prova foram colocados sobre uma superfície plana e indeformável. Foi então medido com Paquímetro com sensibilidade mínima de 0,05mm o desvio em relação ao esquadro metálico em ângulo de $(90\pm 0,5)^\circ$ entre uma das faces destinados ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do tijolo, empregando-se o esquadro metálico, conforme Figura 15.

Figura 15- Ensaio de Desvio em Relação ao Esquadro.



Fonte: Elaboração Própria

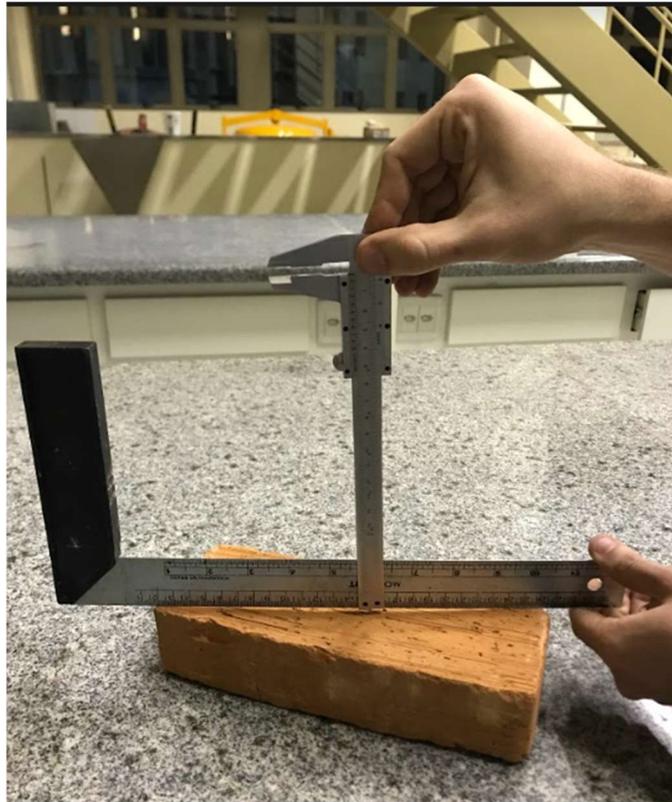
Os valores foram obtidos e analisados em relação as especificações da norma NBR 5270-1, todos os tijolos utilizados no experimento foram verificados e respeitaram um desvio em relação ao esquadro máximo de 3 mm.

3.2.4 Planeza das Faces

O ensaio de planeza das faces foi realizado de acordo com a NBR 15270-2 e os passos realizados para execução do ensaio estão descritos abaixo:

Para a realização dos ensaios, os corpos de prova de tijolos maciços foram colocados sobre uma superfície plana e indeformável. Foi então medido o desvio em relação ao esquadro entre as faces destinadas ao revestimento do tijolo, empregando-se o esquadro metálico de uma extremidade a outra do corpo de prova e medindo a flecha gerada, conforme Figura 16.

Figura 16- Ensaio de Realização de Planeza das Faces dos Tijolos Maciços.



Fonte: Elaboração Própria

Os valores foram obtidos e analisados em relação as especificações da norma NBR 5270-1, os blocos que não respeitaram o desvio em relação a planeza das faces (flecha) máximo de 3 mm foram descartados e somente utilizados os blocos que obtiveram uma flecha máxima menor que o valor estabelecido de 3 mm.

3.2 Procedimentos de Montagem dos Prismas e Métodos de Ensaio das Argamassas

Nesta seção estão dispostos os métodos utilizados e os procedimentos adotados para a elaboração das argamassas, o método de assentamento e cura dos prismas de tijolos maciços, a execução dos ensaios de tração à flexão das argamassas, os ensaios de compressão axial para determinação da resistência à compressão das argamassas e o ensaio de cisalhamento dos prismas.

3.2.1 Mistura das Argamassas

Devido ao grande volume de argamassa necessário para a execução da montagem dos prismas e a pouca capacidade do misturador mecânico disponível no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete (LEMAC), a preparação das argamassas foi realizada conforme a ABNT NBR 7215:2019 com algumas adaptações.

A pesagem dos materiais foi realizada utilizando duas balanças de plataforma comercial digital Amira ® com capacidade máxima de 100 kg e precisão WLC 10/A2 RADWAG®. A mistura mecânica foi executada com a utilização de uma betoneira monofásica Motomil ® MB-150 litros.

Para execução de cada traço, inicialmente foram adicionados na betoneira toda a quantidade de água, os materiais finos e imediatamente a betoneira e o cronômetro foram acionados simultaneamente. A mistura destes materiais foi realizada durante 90 segundos e após este tempo, a betoneira foi desligada e realizada a raspagem nas paredes internas do tambor por 30 segundos.

Após a raspagem, a argamassa ficou em repouso por mais 30 segundos, cobrindo a abertura do tambor por um pano úmido. Transcorrido este tempo, a betoneira foi ligada e então foram acrescentados os agregados miúdos (previamente misturados), durante o tempo de 30 segundos. Após este intervalo, a mistura dos materiais foi realizada por mais 120 segundos e posteriormente a betoneira foi desligada novamente para realização da raspagem nas paredes internas do tambor durante 30 segundos e então acionada novamente a betoneira por mais 90 segundos.

3.2.2 Método de Assentamento e Cura dos Prismas

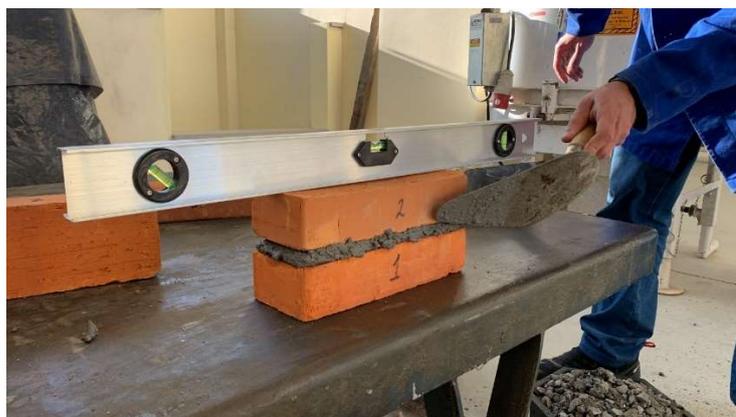
Após efetuar as misturas das argamassas, as mesmas respeitaram a idade em que deveriam ser aplicadas para a produção dos prismas de tijolos maciços. As argamassas foram aplicadas aos prismas nas idades de 15, 60 e 180 minutos após sua hidratação.

Foi também identificada a posição dos blocos para a análise da forma de ruptura, buscando através da disposição, entender o que ocorre nestas interfaces. Foi então, adotada a seguinte numeração: tijolo número 1 (primeiro tijolo em que a argamassa foi aplicada em sua face superior), tijolo número 2 (tijolo que ficou entre as duas juntas de argamassa) e tijolo

número 3 (tijolo que foi aplicado sobre a segunda junta e teve contato com a argamassa somente em sua face inferior).

Para o assentamento, o procedimento foi realizado aplicando a argamassa e efetuando o assentamento de forma a colocar o bloco central (número 2), sobre o bloco inferior (número 1), aplicando força moderada de forma a não prejudicar a produção dos prismas, finalizando com a medição do nível e prumo (Figura 17).

Figura 17 - Primeira etapa do processo de Assentamento dos Tijolos.



Fonte: Elaboração Própria.

Após assentado o segundo bloco sobre o primeiro, foi efetuado o mesmo processo para o terceiro bloco, de forma a dar origem ao prisma formado por três unidades de tijolos e duas juntas de argamassa. As juntas das argamassas foram determinadas com espessuras de aproximadamente 1,5 cm. A disposição dos blocos e a formação dos prismas após o assentamento, pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 - Assentamento do Terceiro Bloco e Formação dos Prismas para ensaio de Cisalhamento.

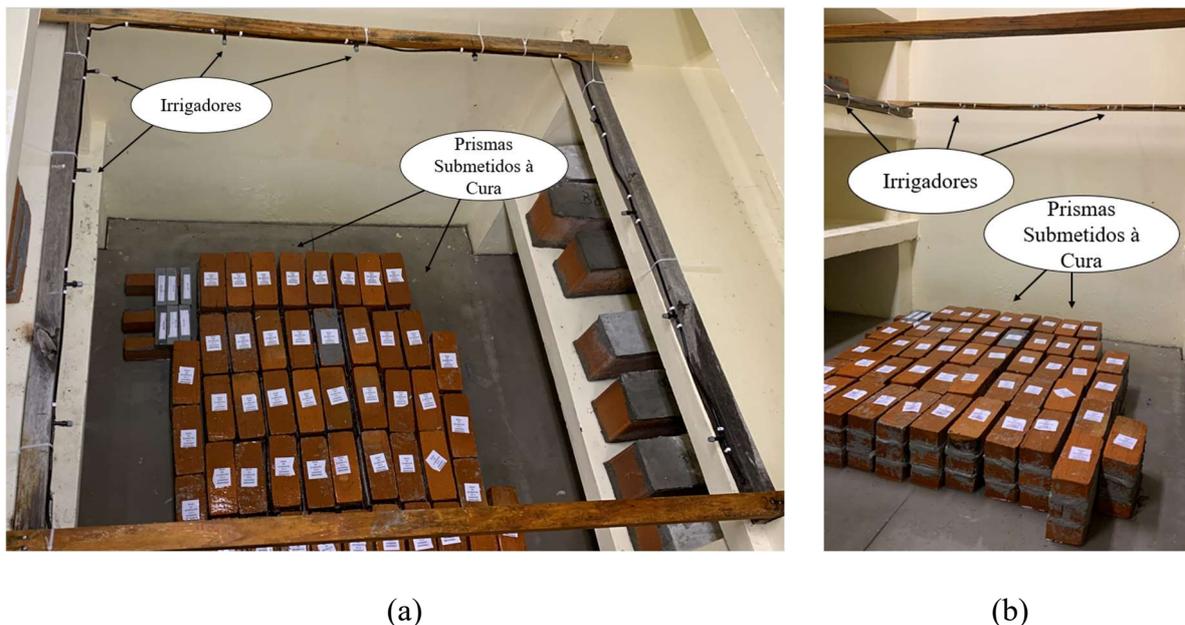


Fonte: Elaboração Própria.

O assentamento foi realizado sempre pela mesma pessoa, para que a força de aplicação fosse possivelmente a mesma, desta forma, tentou-se minimizar a diferença de aplicação de forças no bloco, tendo em vista que não foi encontrada uma forma mecânica possível para solucionar esta variável.

Após a etapa de assentamento, os prismas foram colocados em câmara úmida sob irrigação de nuvem de nebulização. O intuito foi expor os prismas a umidade, mas sem a submersão, deste modo, o sistema de nebulização formava apenas uma nuvem densa de água sobre os prismas, mas permitindo que os mesmos também estivessem expostos ao ar. Os prismas foram submetidos à cura por tempo determinado de 28 dias. O procedimento foi realizado no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete (LEMAC), e a foto da vista frontal e superior do sistema pode ser visualizada na Figura 19.

Figura 19- (a) Vista Superior do Sistema de Nebulização para Cura dos Prismas. (b) Vista Frontal do Sistema de Nebulização para Cura dos Prismas.



Fonte: Elaboração Própria.

3.2.3 Ensaio de Tração à Flexão e Resistência à Compressão das Argamassas

O método adotado para determinação da resistência à tração na flexão e a resistência à compressão das argamassas foi o descrito pela NBR 13279 (2005). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete (LEMAC).

Com as argamassas preparadas conforme item 3.3.1, foram introduzidas em molde prismático com dimensões de 16x4x4cm e dispostas em uma camada uniforme (Figura 20).

Figura 20- Molde prismático das Argamassas e distribuição de Argamassa para Aplicação dos golpes em mesa de adensamento.



Fonte: Elaboração Própria.

Em seguida, foram aplicados 30 golpes utilizando a mesa de adensamento. Após isso, foram preenchidos os compartimentos até o topo e aplicados 30 golpes novamente (Figura 21).

Figura 21- Mesa de adensamento utilizada para aplicação dos golpes para moldagem dos prismas de argamassa para ensaio de compressão axial e tração na flexão em 3 pontos.



Fonte: Elaboração Própria.

Com uma régua metálica, os corpos de prova foram rasados e submetidos à cura conforme descrito no item 3.2.2. Após 28 dias, foram removidos do sistema de cura e submetidos aos ensaios de Resistência à tração na Flexão (Figura 22-a) e Resistência à compressão axial (Figura 22-b). Os ensaios foram realizados na prensa Universal EMIC-DL 20000.

Figura 22- (a) Ensaio de Resistência à traço na Flexão. (b) Ensaio de Resistência à compressão axial.



(a)

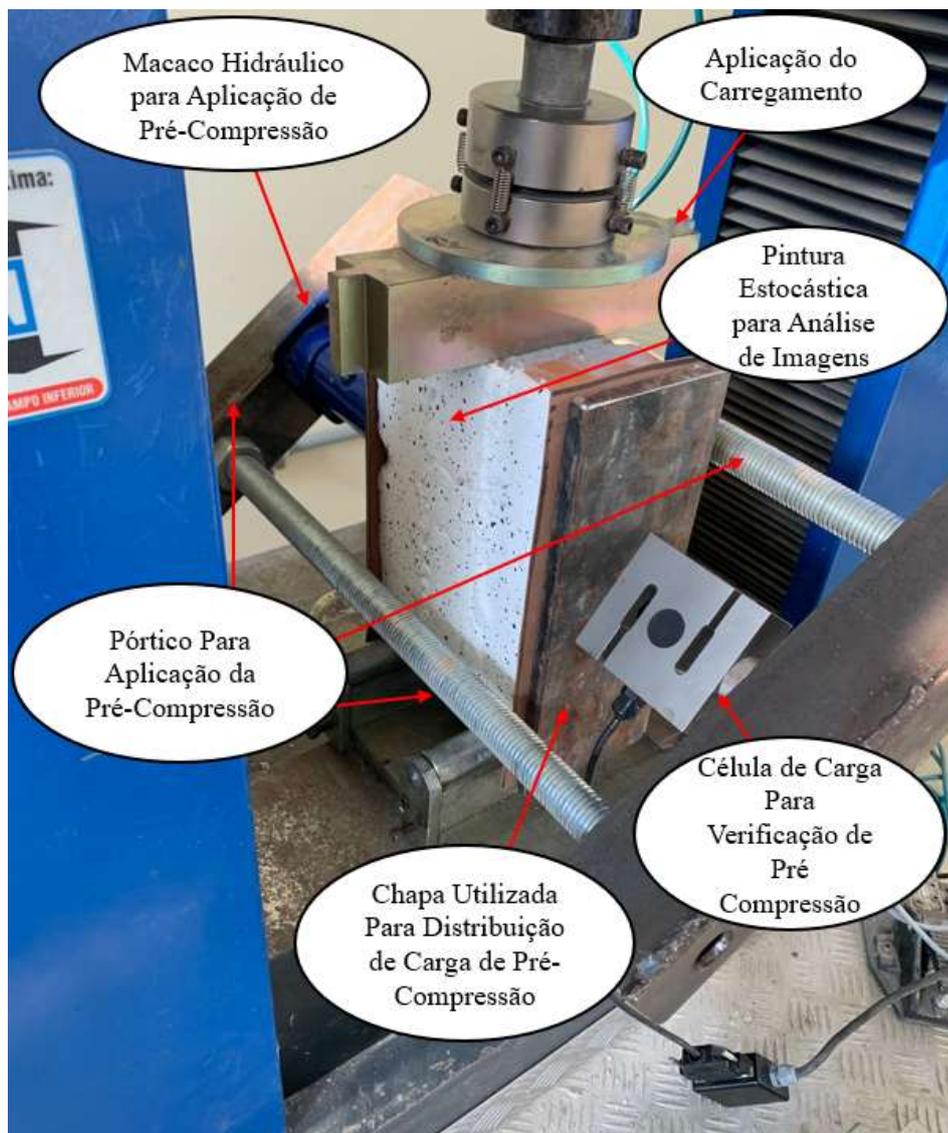
(b)

Fonte: Elaboração Própria.

3.2.4 Ensaio de Cisalhamento dos Prismas

O ensaio para a avaliação mecânica de cisalhamento de prismas foi realizado na máquina de ensaios universais EMIC DL-20000, localizada no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete (LEMAC). O ensaio foi realizado seguindo as normas da EN 1052-3 (2002). O sistema desenvolvido para os ensaios de prismas com pré-compressão pode ser visualizado na Figura 23.

Figura 23- Visualização da face de obtenção das imagens do Prisma durante o Ensaio.



Fonte: Elaboração Própria.

As configurações do ensaio, instrumentação e demais aparatos para realização estão descritos a seguir.

Após a verificação da resistência à compressão dos tijolos, através da norma ABNT NBR 15270-1 (2017). A tensão de Pré-compressão foi definida utilizando os parâmetros da norma EN 1052-3, no qual a mesma recomenda que para tijolos com resistência à compressão superior a 10 MPa, é adequado a utilização de cargas de pré-compressão de aproximadamente 0,2 MPa, 0,6 MPa e 1,0 MPa. Para tijolos com resistência à compressão inferior a 10 MPa, recomenda-se o uso de cargas de pré-compressão de aproximadamente 0,1 MPa, 0,3 MPa e 0,5 MPa. A Tensão de Pré-compressão definida para o ensaio foi então o valor de 0,5 MPa.

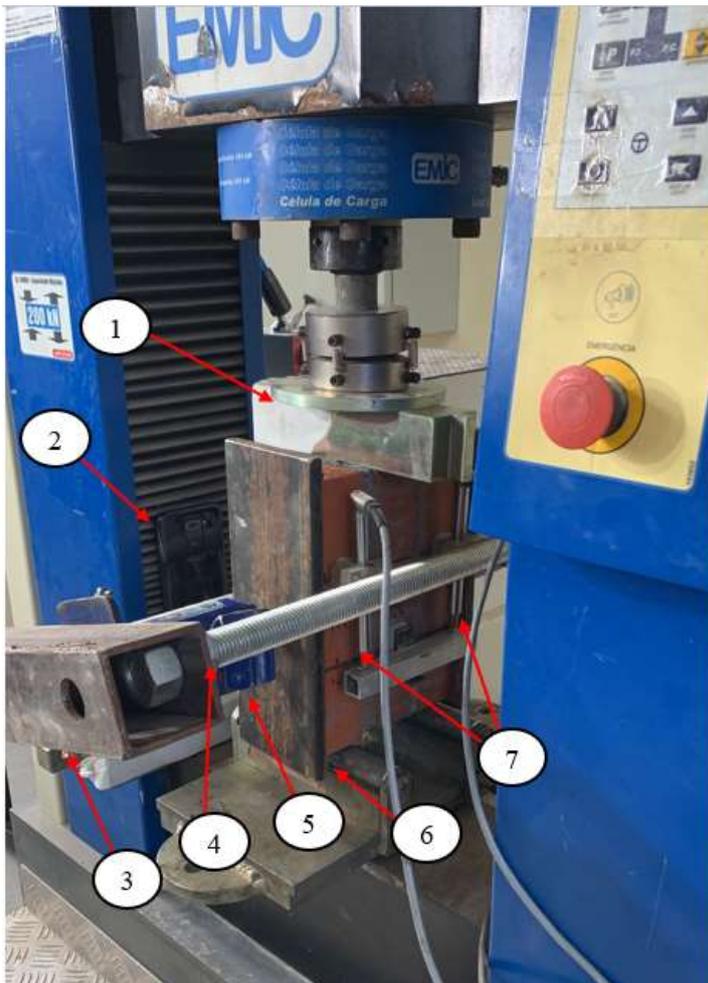
A força de pré compressão foi aplicada sobre as chapas pelo macaco hidráulico de modo a marcar na célula de carga o valor de 10kN, mantendo-se assim, sua carga de pré-compressão dentro de $\pm 2\%$ do valor inicial (0,5 MPa) durante todo o ensaio.

O controle do carregamento foi feito através de velocidade do ensaio definida como 0,5 mm/minuto e aplicada por controle de deslocamento do travessão da máquina de ensaios universais EMIC DL-20000. A força foi aplicada no tijolo central até o registro da força máxima de aplicação ($F_{m\acute{a}x}$) e interrompida quando seu valor decaia em 2,5 kN do valor de $F_{m\acute{a}x}$.

O ensaio foi monitorado com gravação de vídeo utilizando câmera de aparelho celular com resolução de gravação de vídeo em 2 MP (f/2.4), com autofoco, e um sensor de profundidade de 2 MP (f/2.4). A gravação foi realizada utilizando esta resolução para implementar a função macro da câmera. A função macro está disponível em alguns celulares para obtenção de imagens com detalhes até cinco vezes mais de perto do que a câmera normal. Deste modo, buscou-se a obtenção das imagens com o maior número de detalhes possível com o intuito de realizar as análises de deslocamento dos materiais através da aplicação da correlação de imagens em 1000 frames retirados dos vídeos dos ensaios realizados.

Também foram verificadas através dos valores utilizando os gráficos produzidos pela máquina de ensaios universal EMIC DL-20000 e as medições de deslocamentos utilizando 2 Linear Variable Differential Transformer (LVDT'S) fixados aos prismas (um fixado no bloco 1 e verificando a deformação da junta 1-2 e outro fixado no bloco 3 e verificando a deformação da junta 2-3). A imagem com o esquema do aparato montado e em funcionamento, pode ser visto na Figura 24.

Figura 24- Visualização da face instrumentada do Prisma durante o Ensaio.



Legenda:

- 1 Suporte de Aplicação da Força
- 2 Celular para Obtenção das Imagens
- 3 Cantoneiras Metálicas Para fixação do Macaco Hidráulico
- 4 Barra Rosqueada para Rigidez do Aparato
- 5 Macaco Hidráulico
- 6 Chapas Metálicas para Aplicação da Pré-Compressão nos Tijolos
- 7 Lvdt's

Fonte: Elaboração Própria

Assim, com a realização dos ensaios, foram obtidos os valores de $F_{m\acute{a}x}$ e o deslocamento de cada junta em relação ao bloco central. Com os valores obtidos, foi possível então, determinar a tensão de cisalhamento máximo de cada argamassa utilizando a Equação 2, disposta na Seção 2.4.2.

3.3 Programa utilizado para análise das Imagens

O software GOM Correlate foi o escolhido para ser utilizado para análise das imagens obtidas durante os ensaios. O GOM Correlate abrange conhecimentos relacionados a Correlação de Imagem Digital com ampla utilização em testes de materiais e componentes. Dentre suas atribuições, pode-se citar:

- Correlação de Imagem Digital (DIC) e Metrologia Óptica em geral;
- Avaliação de deformação, deslocamento, velocidade e aceleração de superfícies;
- Avaliação de deslocamento, velocidade e aceleração de pontos específicos;
- Medição de deformações no plano, mapeamento de imagem, e uma ampla gama de ferramentas, para compreender o comportamento do objeto em grande detalhe;
- Teste de tração, avaliação da zona de trinca, teste de flexão: 3 pontos, teste de cisalhamento-ASTM, DIC, análise de movimento - biomecânica, crash tests entre outros.

O GOM Correlate vem sendo utilizado em trabalhos na área e demonstrando potencial para avaliação de testes realizados em materiais cimentícios (JANK, 2021; JUCÁ, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos procedimentos propostos na metodologia para as avaliações da resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial das argamassas. Quanto aos prismas, foram executados os ensaios de cisalhamento, no qual foi avaliada a tensão máxima de cisalhamento e o comportamento da interface de aderência destas argamassas quando aplicados em 3 diferentes tempos através da utilização do software GOM Correlate. Também foi realizada análise estatística da confiabilidade dos dados obtidos nos ensaios através do método de Tukey. Este método é utilizado em ANOVA para realização do controle de amostras analisando a taxa de erro global em níveis de significância, o nível analisado foi de 95% de significância entre as amostras.

4.1 Resistência à Tração na Flexão

A avaliação das argamassas através do ensaio de tração na flexão em 3 pontos foi realizada no estado endurecido, aos 28 dias de cura. Observa-se na Tabela 7, os resultados obtidos, o desvio padrão, coeficiente de variação e a média dos resultados dos três traços de argamassas desenvolvidos na pesquisa (REF, SCA5 e SCA30).

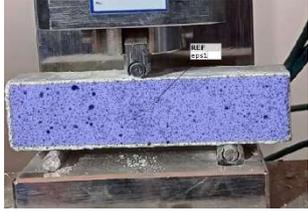
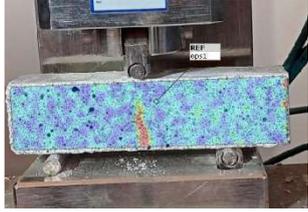
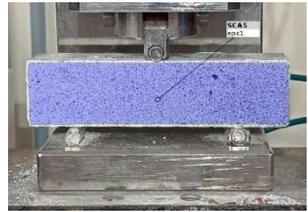
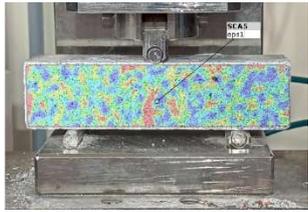
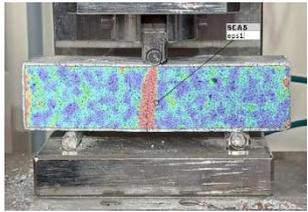
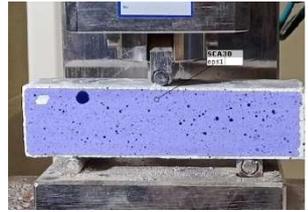
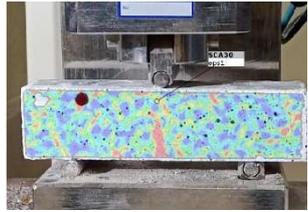
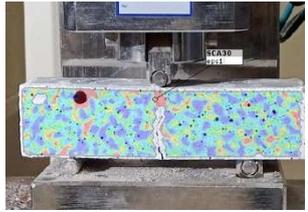
Tabela 7 - Resultados do Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em 3 pontos.

	Argamassa	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef de Variação (%)
σ_{tmax}	REF	1,69	0,02	0,06%
	SCA5	1,81	0,07	0,43%
	SCA30	1,39	0,08	0,70%

Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 8, observa-se a forma de ruptura do prisma e a tensão média de cada traço no ensaio de resistência à tração na flexão em 3 pontos.

Tabela 8 - Modo de Ruptura dos Prismas à Tração e Tensão média encontrada.

Traço	Início do Ensaio	Início da Ruptura	Final da Ruptura
REF			
SCA5			
SCA30			

Fonte: Elaboração Própria.

Observa-se nos resultados da Tabela 7 que o traço com 5% de substituição apresentou desempenho 6,9% superior ao valor da resistência obtida pelo traço sem substituição, sendo o melhor valor dentre os traços analisados na pesquisa. No entanto, realizando as análises estatísticas através do método de Tukey, o desempenho da argamassa com substituição de 5% não pode ser considerado como significativo em relação ao traço REF. Em relação ao traço SCA30, o valor médio obtido é menor estatisticamente em relação aos outros dois traços, sendo o menor valor obtido na idade de 28 dias de cura. No que se refere ao método de ruptura das argamassas REF, SCA5 e SCA30, todas obtiveram um método de ruptura semelhantes, estes sendo característicos do ensaio de tração à flexão em três pontos de argamassas sem incorporação de fibras.

4.2 Resistência à Compressão Axial

A avaliação das argamassas à compressão axial foi realizada no estado endurecido aos 28 dias de cura. Os resultados obtidos para o desvio padrão, coeficiente de variação da amostra e a média para os três traços de argamassas desenvolvidos na pesquisa (REF, SCA5 e SCA30) estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão das Argamassas.

Argamassa	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef de Variação (%)
REF	4,62	0,24	5,99%
SCA5	4,85	0,12	1,43%
SCA30	3,51	0,17	2,98%

Fonte: Elaboração Própria.

A tabela 9 mostra que o traço com 5% de substituição de CP por SCA atingiu a maior resistência à compressão entre os traços analisados. O traço SCA5 foi superior ao traço REF em 4,97% da resistência, no entanto, de acordo com o método de Tukey para análise dos dados, SCA5 não demonstrou diferença considerada significativa no desempenho em relação ao traço REF.

O traço SCA30 apresentou uma resistência 38,3% inferior ao traço SCA5 e 31,7% abaixo do traço REF, apresentando o pior desempenho entre as substituições. Além disso, pode-se verificar estatisticamente que a substituição de sílica nesta porcentagem tende a prejudicar o desempenho à compressão da argamassa na idade de cura de 28 dias.

4.3 Resistência de Aderência ao Cisalhamento de Prismas e Determinação do Modo de Ruptura

O ensaio de resistência ao cisalhamento utilizando pré-compressão foi realizado aos 28 dias de cura dos prismas. Os valores médios para a tensão de cisalhamento foram calculados utilizando a Equação 2, disposta na seção 2.4.2 e junto com as forças máximas obtidas durante o ensaio, o desvio padrão e o coeficiente de variação podem ser visualizados nas Tabela 10 para o traço REF, na Tabela 11 para o traço SCA5 e na Tabela 12 para o traço SCA30.

Tabela 10 – Valores obtidos durante os ensaios para o traço REF.

Tempo	Média (Fmáx)	Média $\tau_{máx}$ (MPa)	Força Máxima (kN)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)
15 minutos	23,67	0,56	28,35	5,56	5,19
60 minutos	18,64	0,44	19,72	1,32	1,74
180 minutos	21,45	0,51	23,32	1,77	3,13

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 11- Valores obtidos durante os ensaios para o traço SCA5.

Tempo	Média	Média $\tau_{máx}$ (MPa)	Força Máxima (kN)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)
15 minutos	20,08	0,47	22,08	1,61	2,58
60 minutos	20,19	0,48	21,28	1,62	2,64
180 minutos	19,86	0,47	23,11	3,26	10,60

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 12- Valores obtidos durante os ensaios para o traço SCA30.

Tempo	Média	Média $\tau_{máx}$ (MPa)	Máximo (kN)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)
15 minutos	26,81	0,63	28,15	0,94	0,88
60 minutos	28,42	0,67	33,90	5,07	18,21
180 minutos	19,52	0,46	23,80	3,91	15,26

Fonte: Elaboração Própria.

Com os resultados obtidos para o ensaio de cisalhamento utilizando pré-compressão, pode-se verificar através de análise estatística desenvolvida utilizando método de Tukey que a argamassa SCA30 demonstrou uma resistência ao cisalhamento superior as demais argamassas quando aplicada em tempos de até 60 minutos. Também é possível constatar que após esse tempo sua tensão máxima de cisalhamento diminui, confirmando que a aplicação dessa argamassa aos 180 minutos após a água ter entrado em contato com o cimento Portland leva a uma menor aderência da argamassa ao substrato e prejudicando o seu desempenho mecânico. No que se refere a argamassa de referência é possível concluir que até o tempo de 180 minutos é possível aplicar no substrato, ainda tendo uma resistência semelhante a obtida para os tempos de aplicação de 15 e 60 minutos.

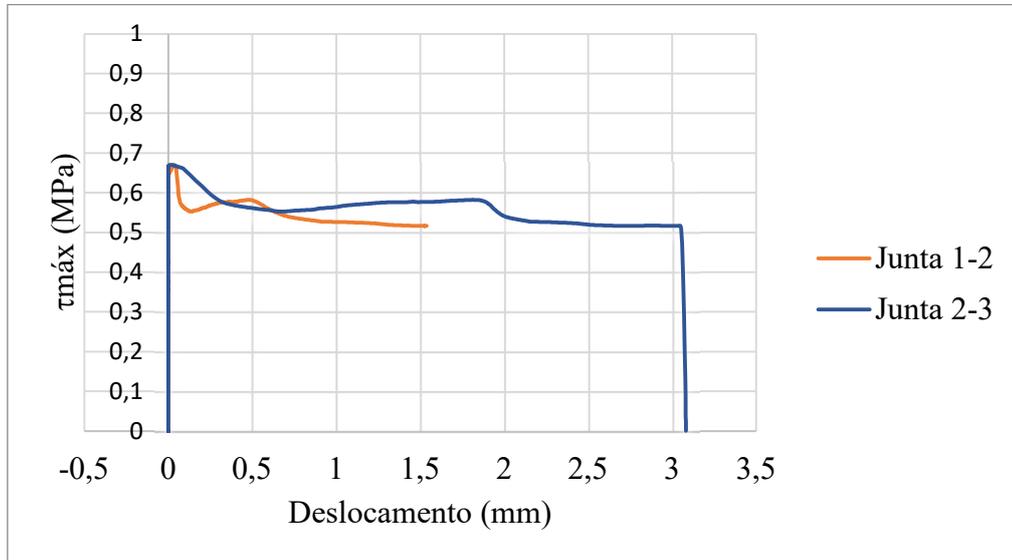
No geral, a média dos valores obtidos para a argamassa SCA5 demonstrou desempenho 17,88% menor dos que os obtidos pela argamassa REF, porém após as análises estatísticas pode-se concluir que este efeito não pode estatisticamente ser associado a substituição desta quantidade de sílica. Em relação aos tempos de aplicação, fica evidente que as argamassas SCA5 e REF não obtiveram valores discrepantes entre si e a substituição de CP por SCA nestas quantidades não influenciam na aderência da argamassa ao substrato, podendo-se deste modo, REF e SCA5 serem aplicadas em qualquer tempo.

Na extensão da pesquisa desenvolvida neste trabalho, ainda será avaliado o efeito da substituição do CP por SCA no traço destas argamassas quando aplicadas aos blocos nestes tempos, mas aos 90 dias de cura. Deste modo, a pesquisa futura pretende reafirmar os resultados obtidos e buscar a compreensão da influência da atividade pozolânica e seus efeitos nas interfaces entre as argamassas e os tijolos em idades mais avançadas.

Com os valores de deslocamento obtidos durante o ensaio utilizando os Lvdt's, foram então plotados os gráficos com as curvas característica de deslocamento dessas argamassas, demonstrando um comportamento geral dos ensaios, no qual o acúmulo das tensões foi concentrado na junta superior do prisma (Junta entre o bloco 2 e 3), causando um maior deslocamento nesta junta.

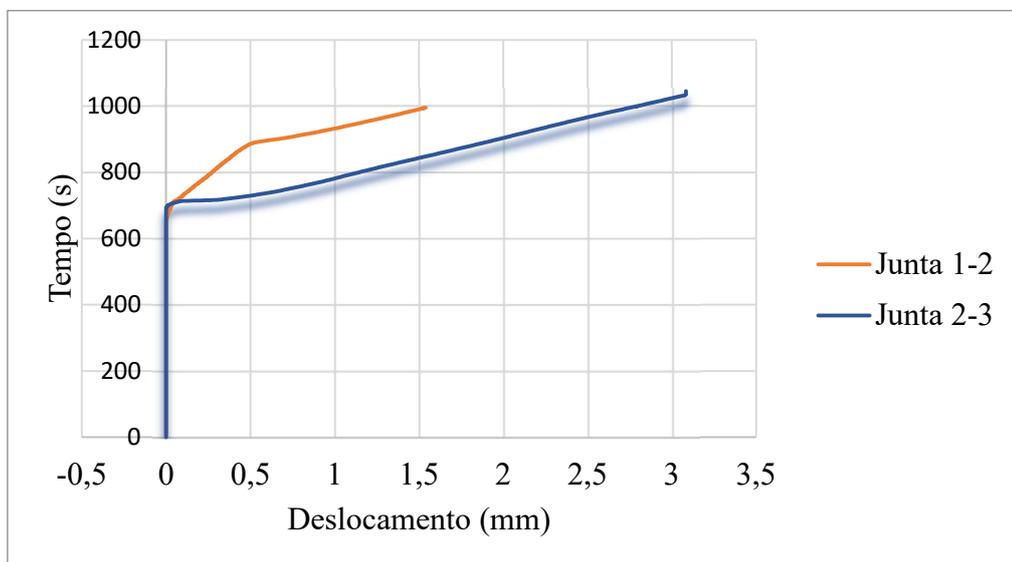
A fim de demonstrar o comportamento dos grupos e a relação entre os itens de análise aqui citados, na Figura 25, 27 e 29 estão demonstrados os gráficos das curvas características de Tensão x Deslocamento do traço REF quando aplicado aos 15, 60 e 180 minutos respectivamente e na Figura 26, 28 e 30 estão dispostos o gráfico Tempo x Deslocamento das juntas de argamassa durante os ensaios nestes tempos de aplicação. Todas as demais curvas de Tensão x Deslocamento e Tempo x Deslocamento estão disponíveis no Anexo A deste trabalho para consulta.

Figura 25- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 15 minutos.



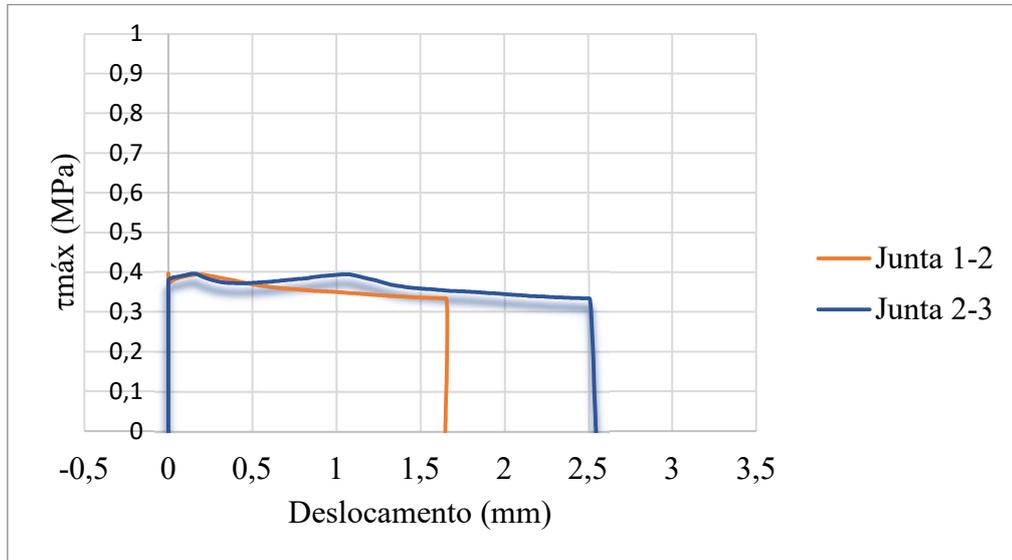
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 26- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 15 minutos.



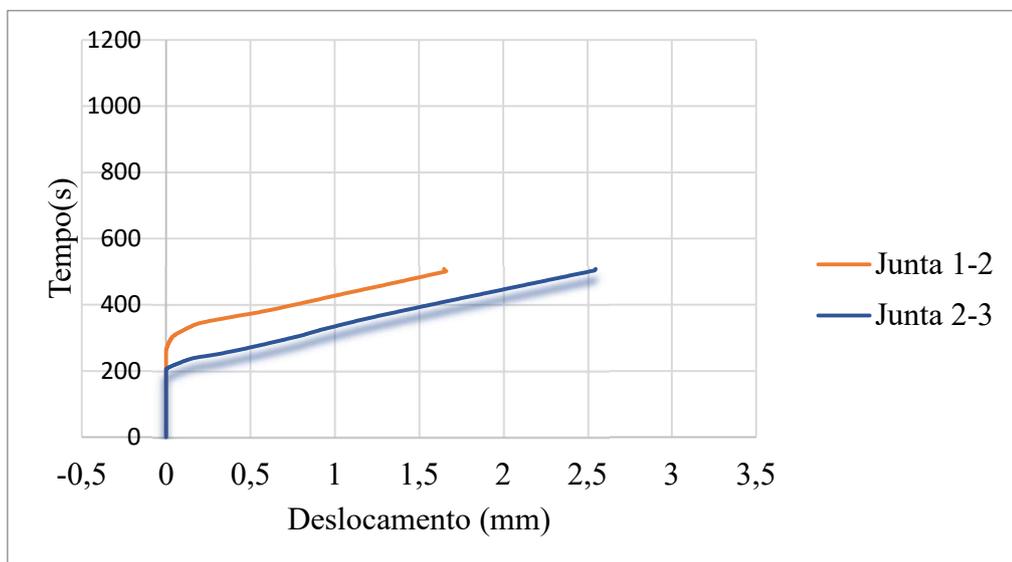
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 27- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 60 minutos.



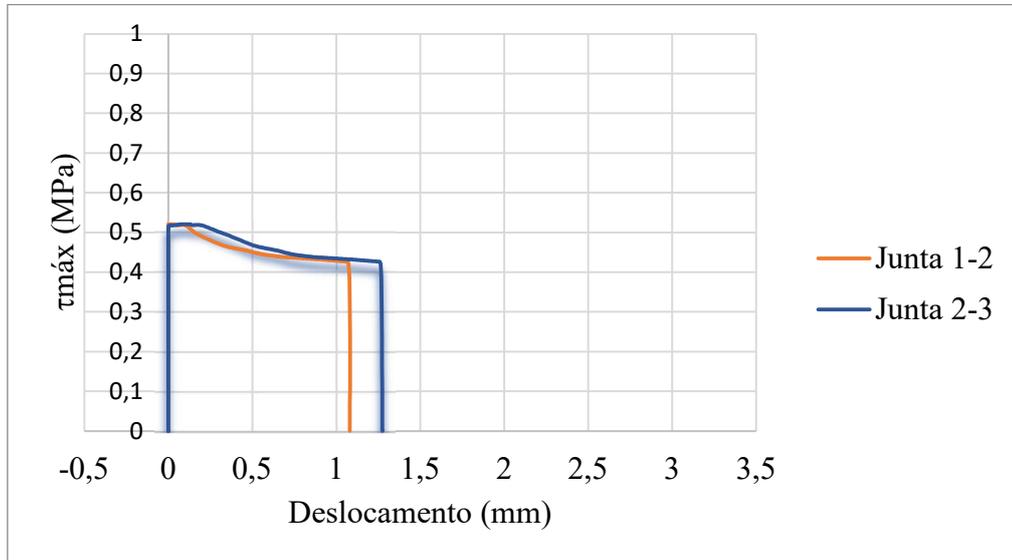
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 28- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 60 minutos.



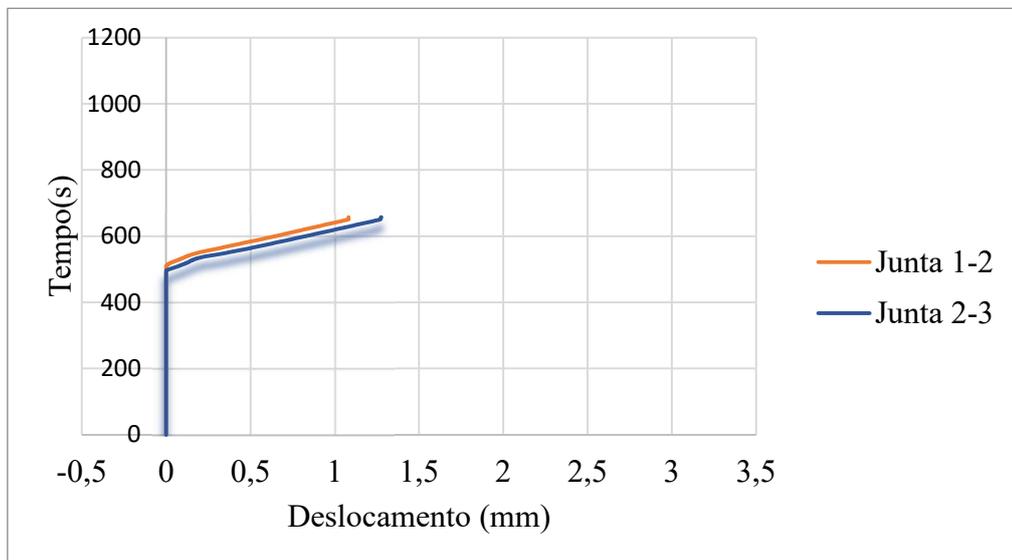
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 29- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 180 minutos.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 30- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço REF aplicado aos 180 minutos.

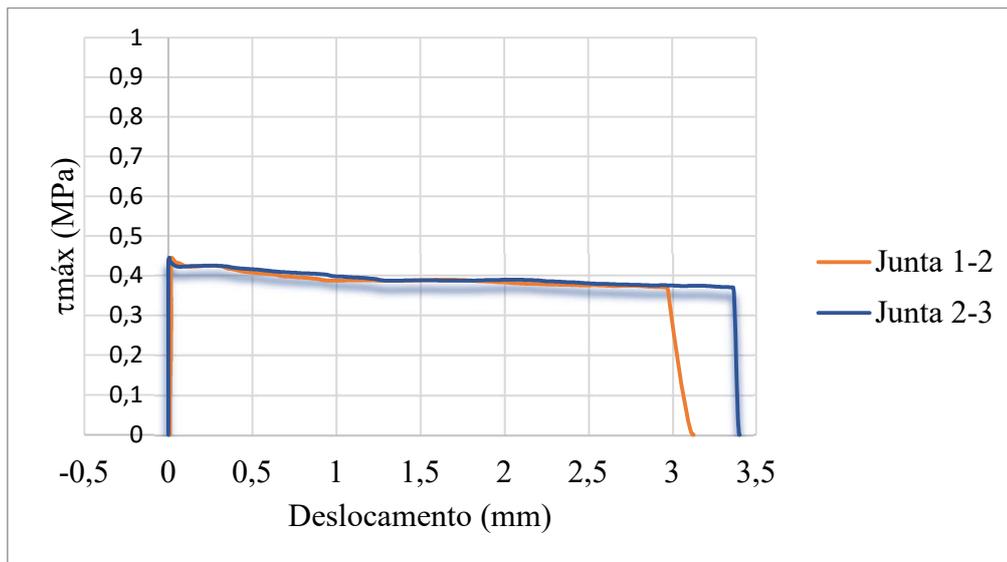


Fonte: Elaboração Própria.

É possível com a análise destes gráficos ver que a junta 2-3 tende a deslizar primeiro e se deslocar mais do que a junta 1-2, desde o início até o final do ensaio.

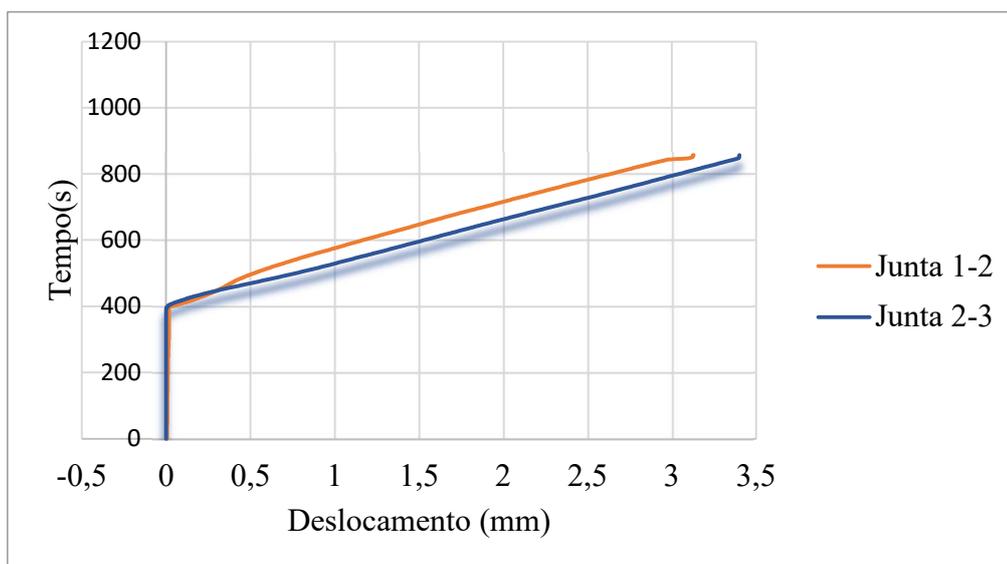
Na Figura 31, Figura 33 e Figura 35 estão dispostos os gráficos das curvas características do traço SCA5 com as aplicações de 15, 60 e 180 minutos respectivamente, também pode ser visualizado nas Figuras 32,34 e 36 os deslocamentos x tempo das argamassas durante o ensaio de cisalhamento nestes tempos.

Figura 31- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 15 minutos.



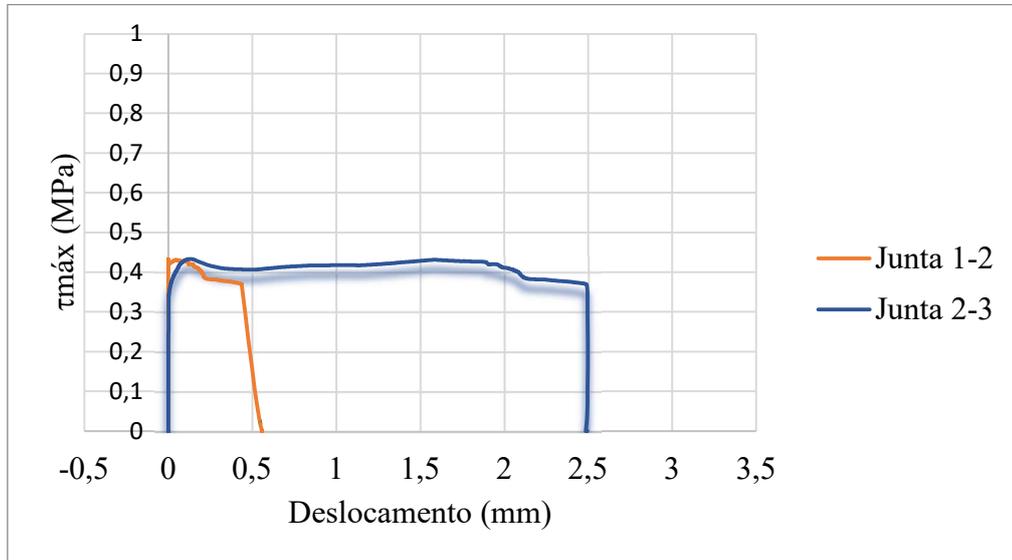
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 32- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 15 minutos.



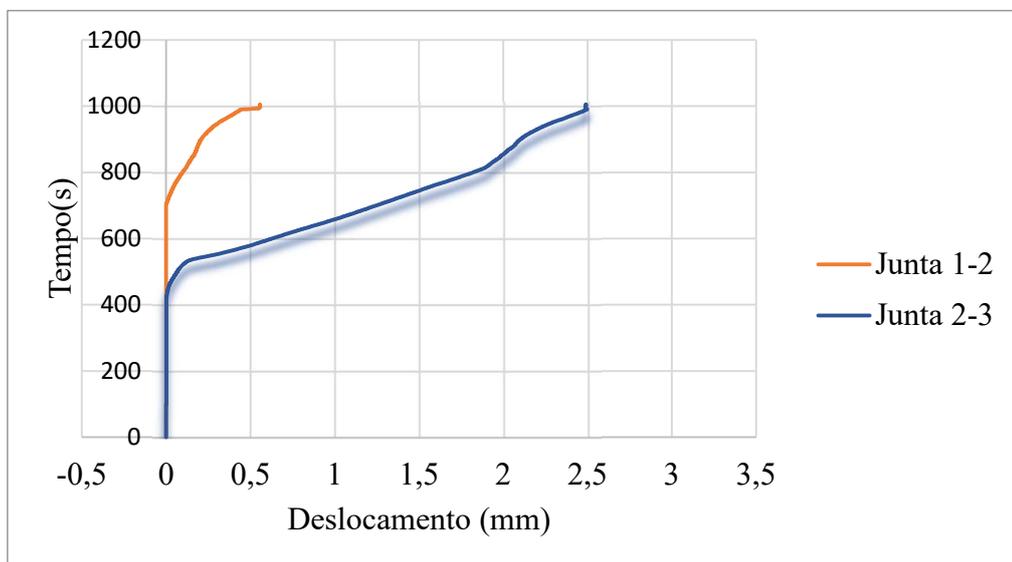
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 33- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 60 minutos.



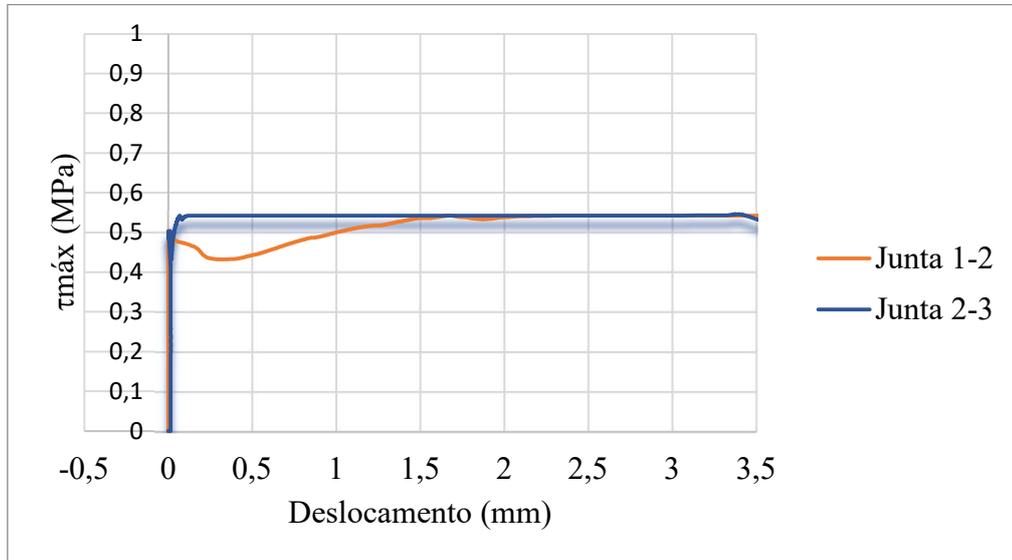
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 34 - Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 60 minutos.



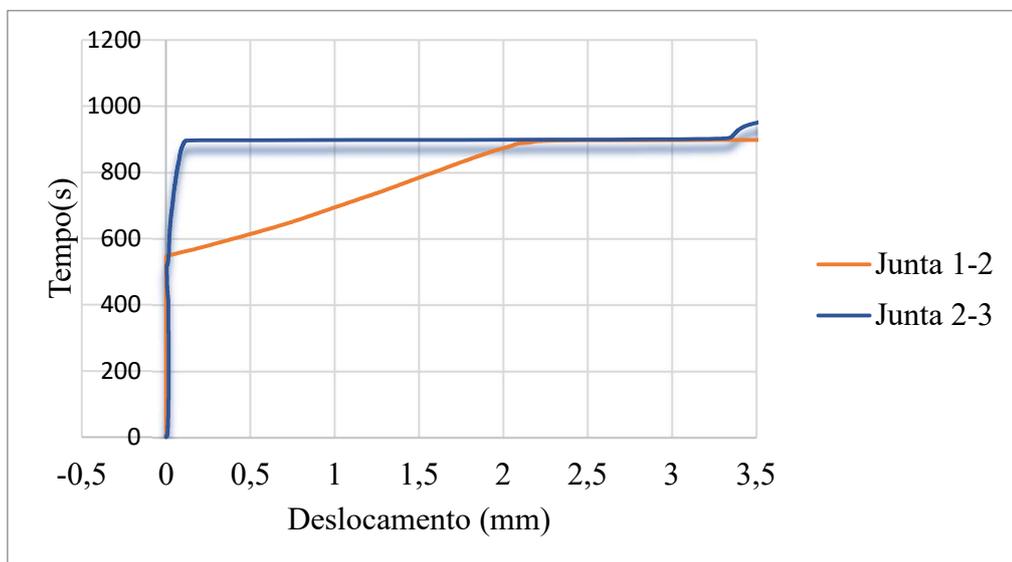
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 35- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 180 minutos.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 36- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA5 aplicado aos 180 minutos.

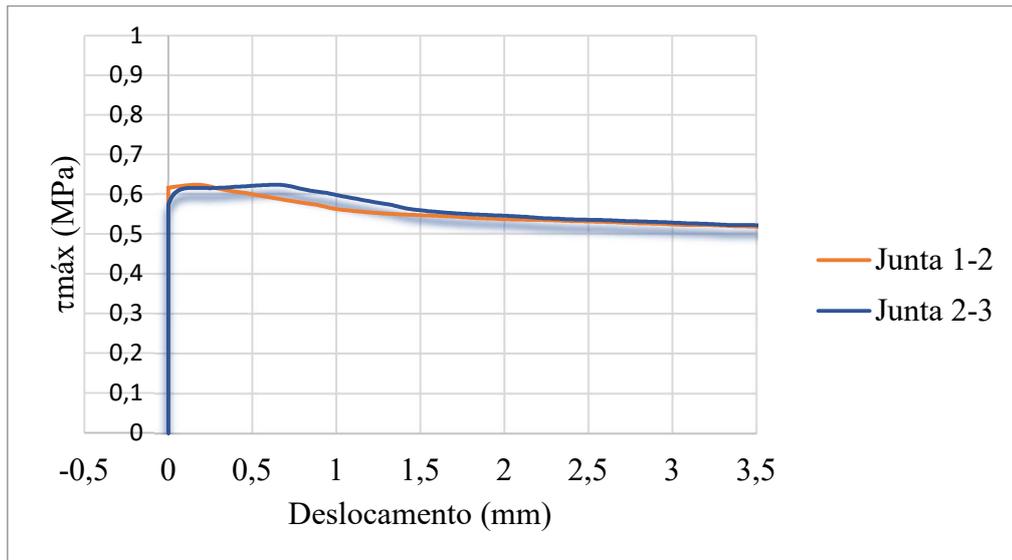


Fonte: Elaboração Própria.

Com a análise destes gráficos fica mais evidente o comportamento da junta 2-3, esta tende a deslizar primeiro e mantém a carga máxima se deslocando mais do que a junta 1-2, comportamento este que leva a fissura da argamassa nesse ponto.

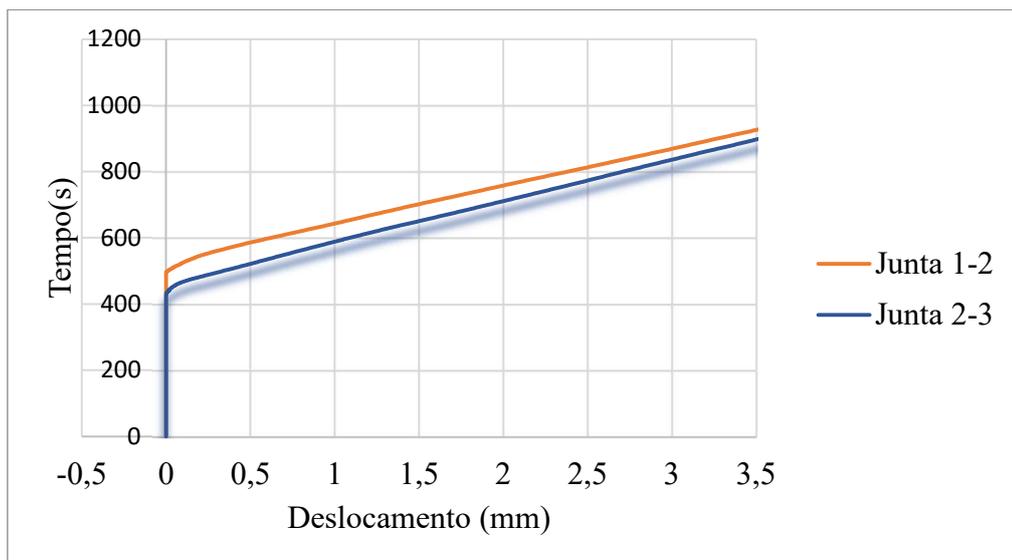
Na Figura 37, Figura 39 e Figura 41 estão dispostos os gráficos das curvas características do traço SCA30 com as aplicações de 15, 60 e 180 minutos. Na Figura 38,40 e 42, estão dispostos os Gráficos de Tempo x Deslocamento das argamassas nestes respectivos traços e tempos de aplicação.

Figura 37- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA30 aplicado aos 15 minutos.



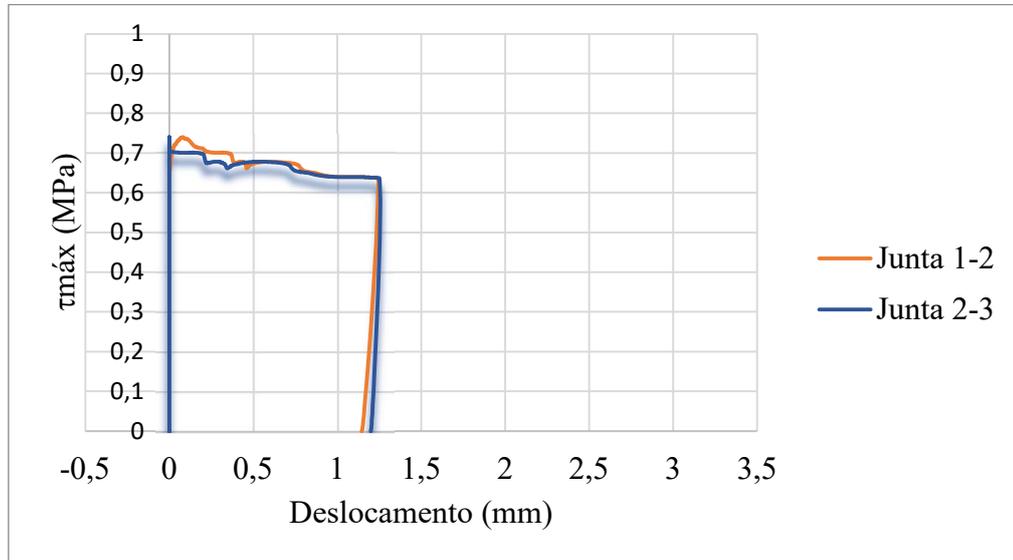
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 38 - Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do Traço SCA30 aplicado aos 15 minutos.



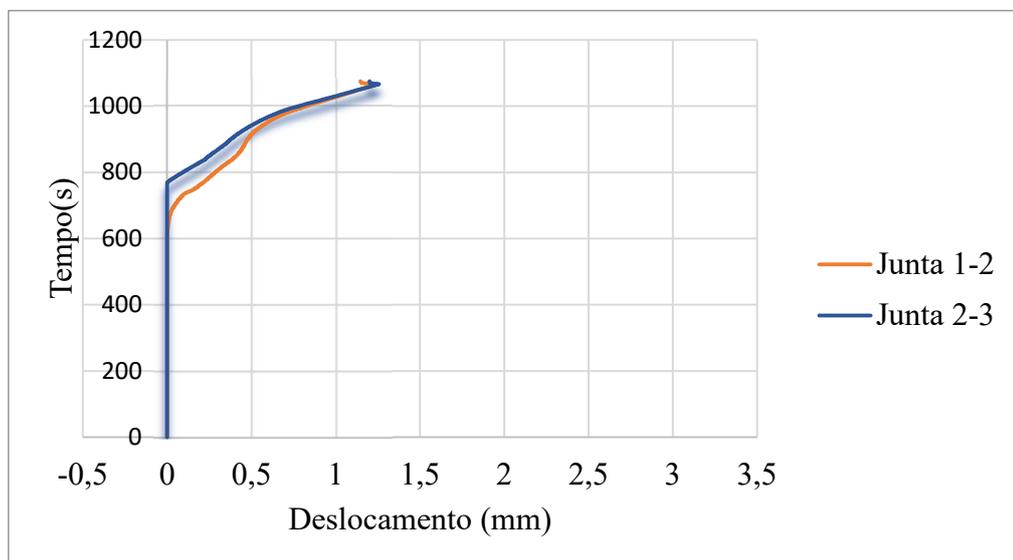
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 39 - Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA30 aplicado aos 60 minutos.



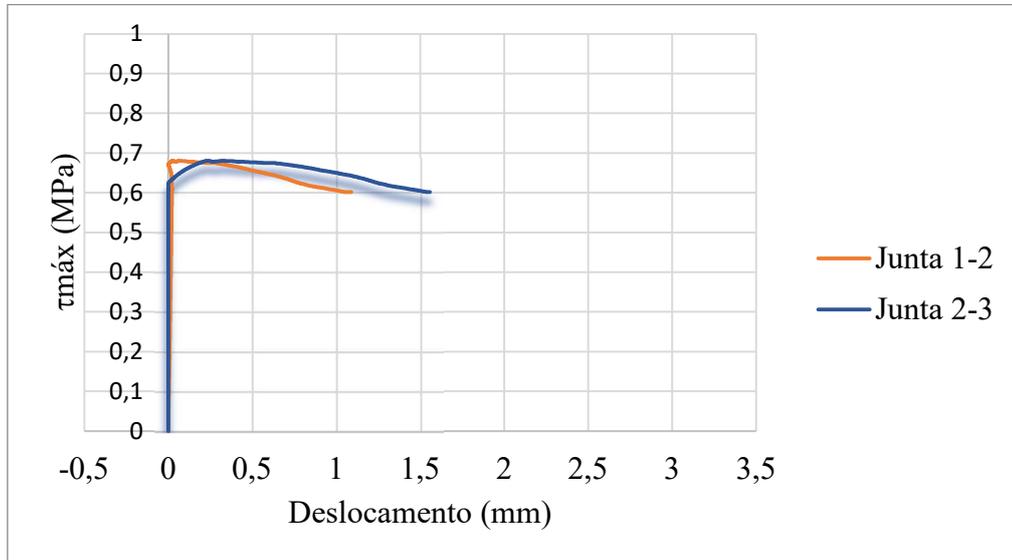
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 40- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do Traço SCA30 aplicado aos 60 minutos.



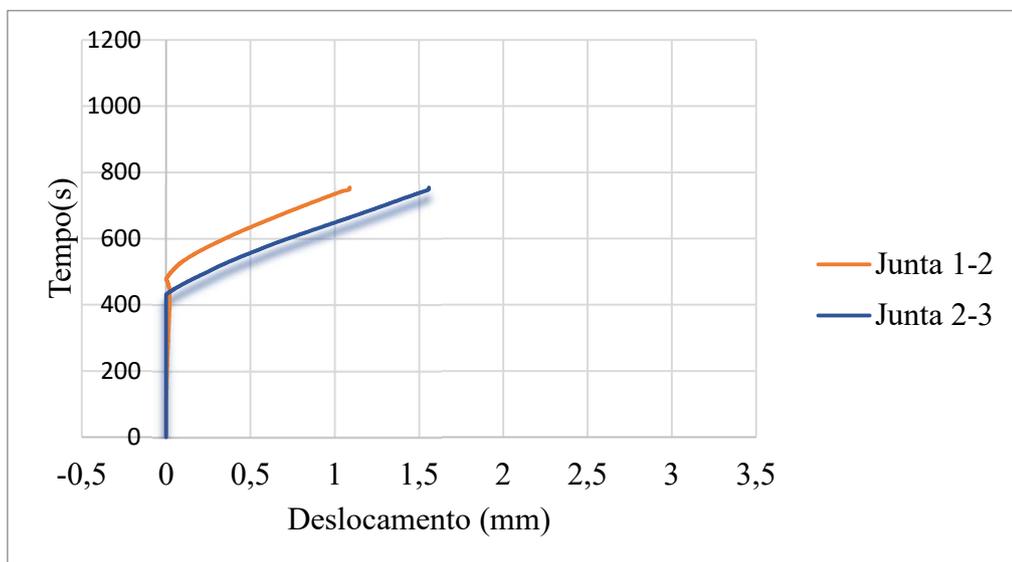
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 41- Gráfico Tensão de Cisalhamento x Deslocamento de Curva Característica do traço SCA30 aplicado aos 180 minutos



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 42- Gráfico Tempo x Deslocamento de Curva Característica do Traço SCA30 aplicado aos 180 minutos.

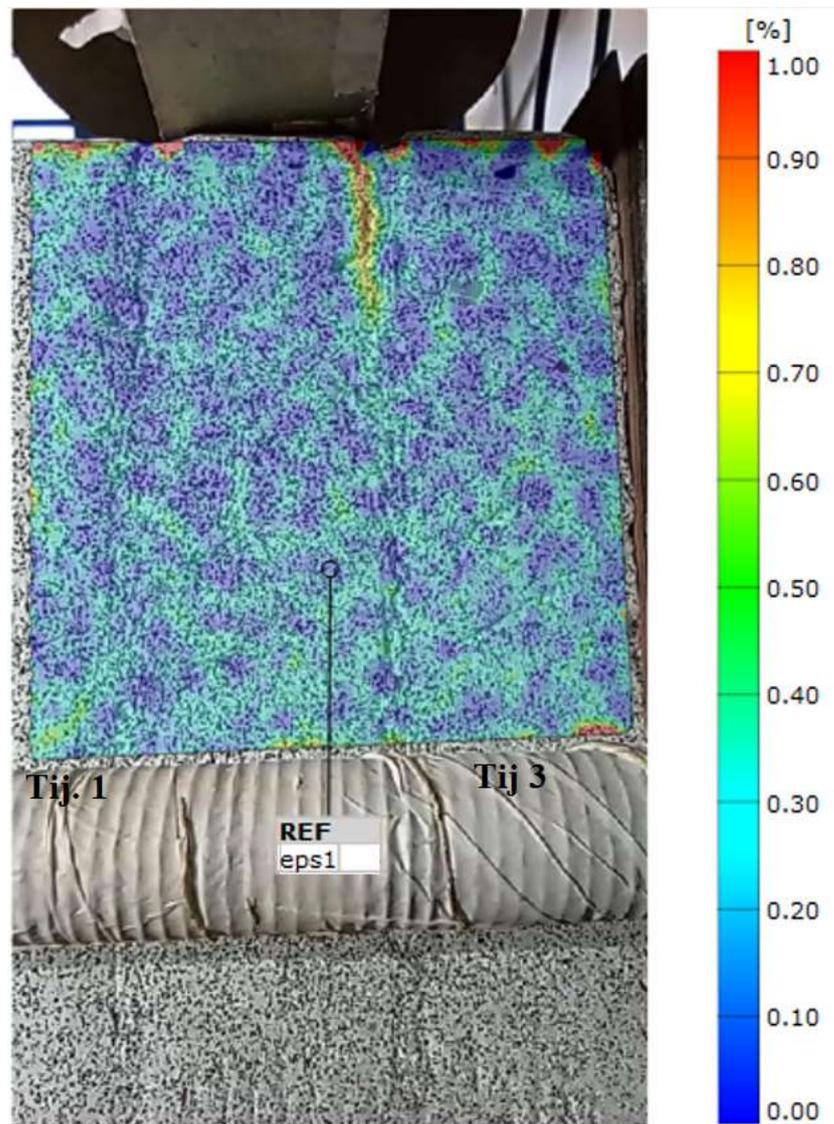


Fonte: Elaboração Própria.

Com a análise dos gráficos do traço SCA30, foi possível notar que neste caso as juntas trabalharam de forma similar, indicando que o traço SCA30 possivelmente levou a uma melhor aderência em ambas as faces do tijolo fazendo com que as juntas absorvessem a carga e se deslocassem de maneira similar até sua falha total.

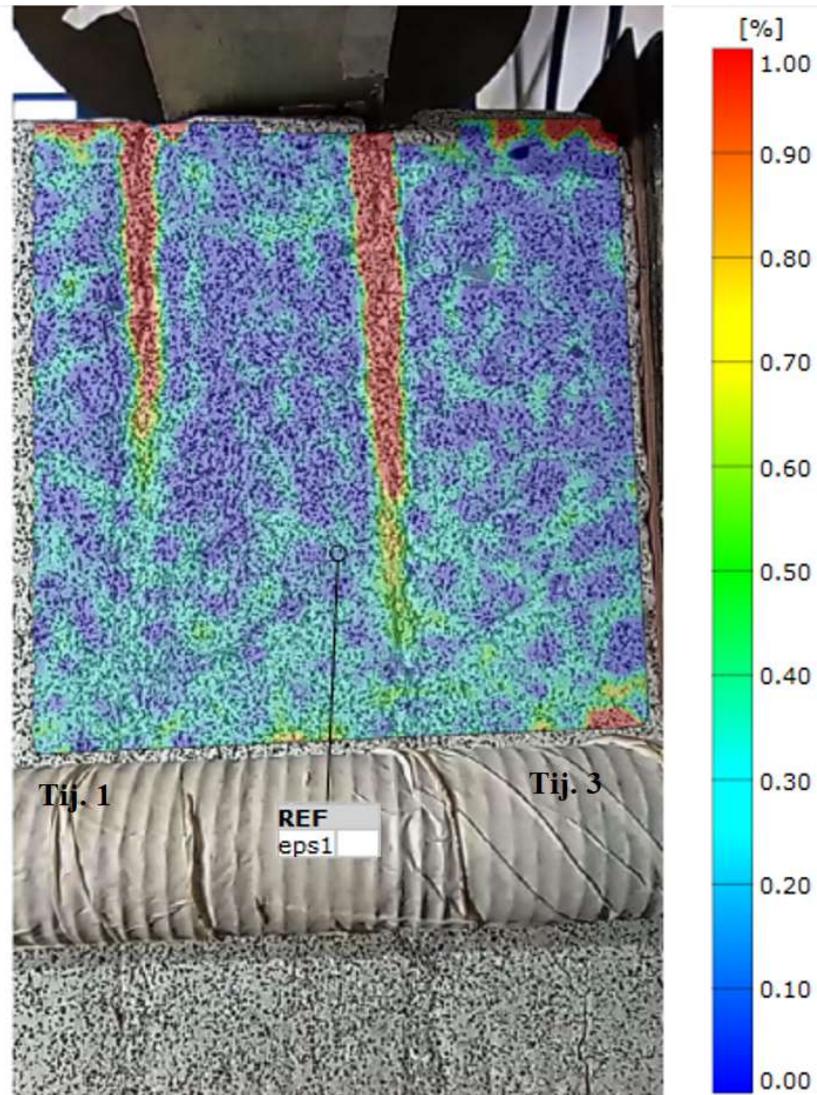
Este comportamento também pode ser verificado através da análise do modo de falha realizado nos prismas através do uso do software GOM Correlate. O modo de falha pode ser visualizado na Figura 43, Figura 44 e Figura 45 para os três estágios do ensaio (Início, Meio e Fim) para o traço REF. As imagens foram retiradas dos prismas com tempo de aplicação de 15 minutos.

Figura 43- Início do Processo de Falha da argamassa REF.



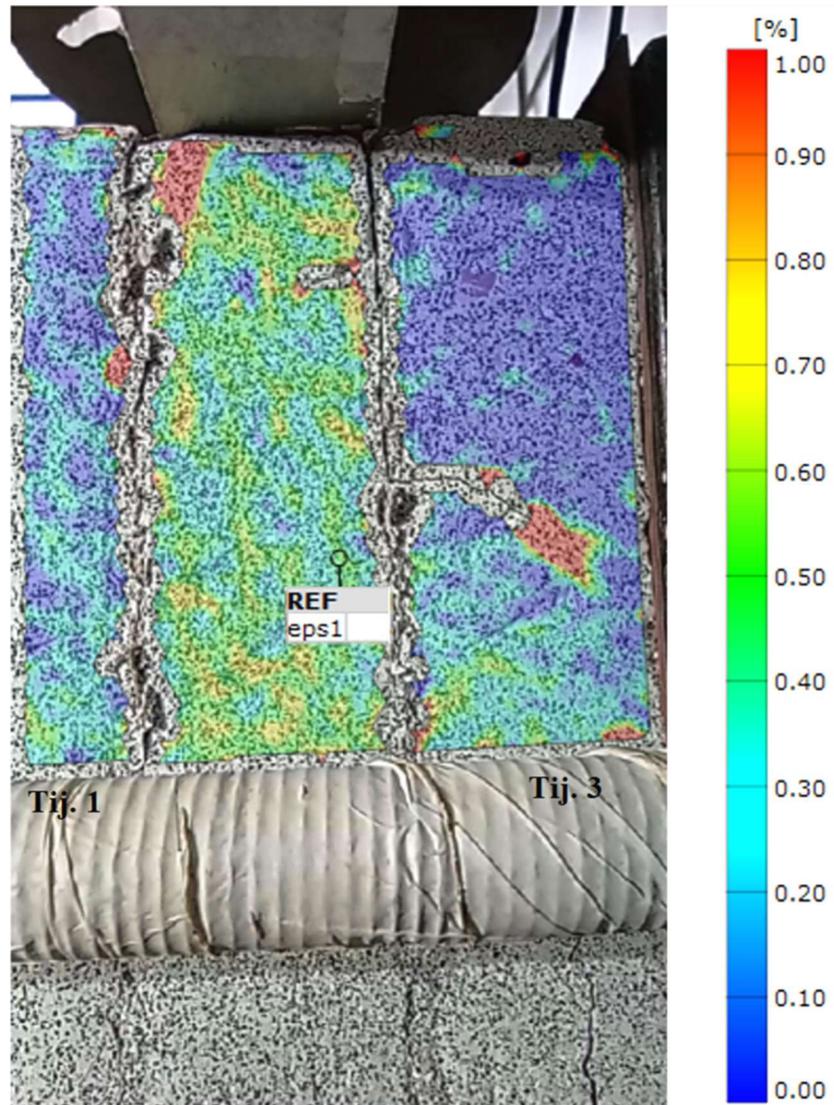
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 44 - Metade do Processo de Falha da argamassa REF.



Fonte: Elaboração Própria.

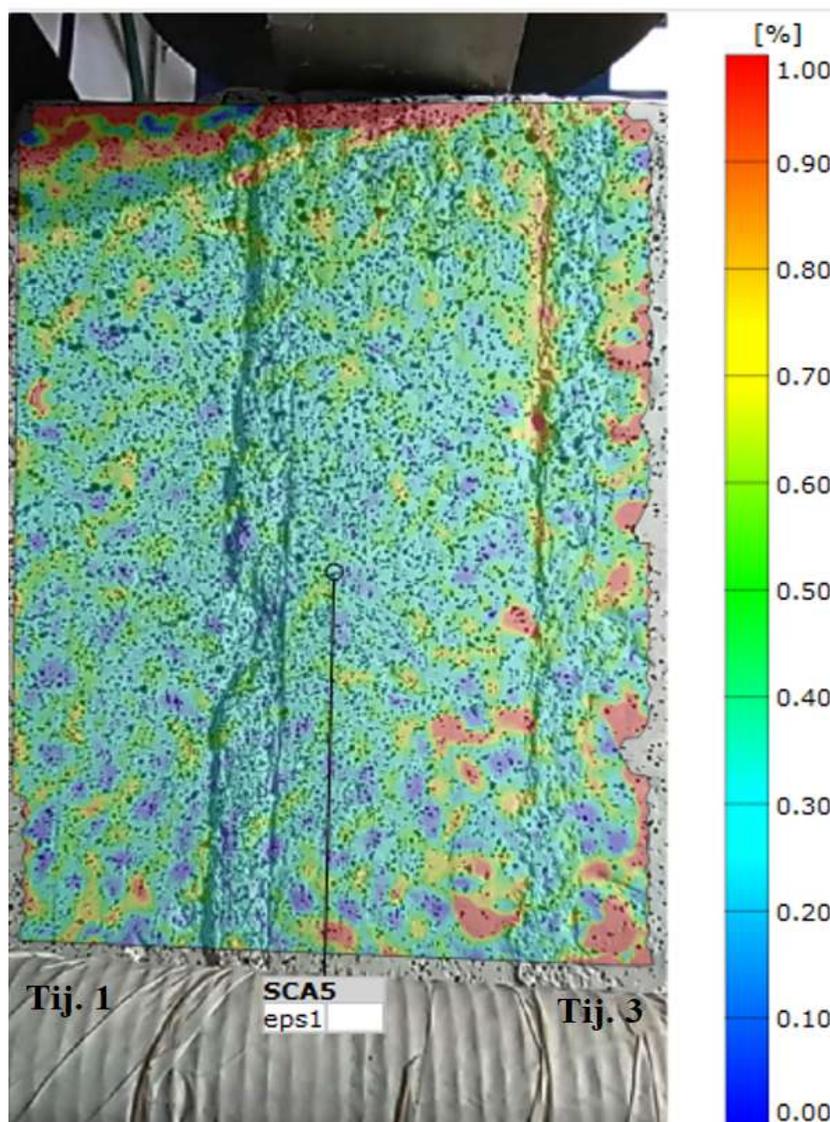
Figura 45- Final do Processo de Falha da argamassa REF.



Fonte: Elaboração Própria.

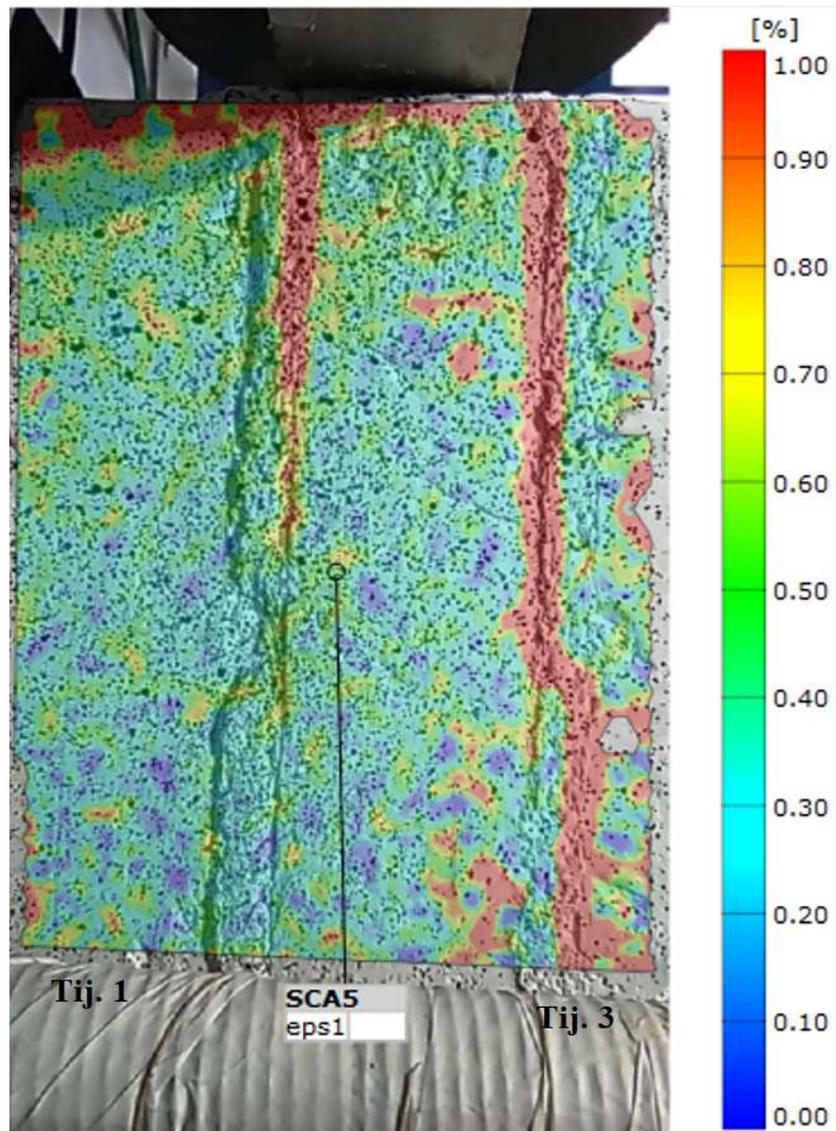
Para o traço SCA5, o modo de falha pode ser visto na Figura 46, Figura 47 e Figura 48 para os três estágios do ensaio (Início, Meio e Fim), respectivamente. As imagens foram retiradas dos prismas com tempo de aplicação de 15 minutos.

Figura 46 - Início do Processo de Falha da argamassa SCA5.



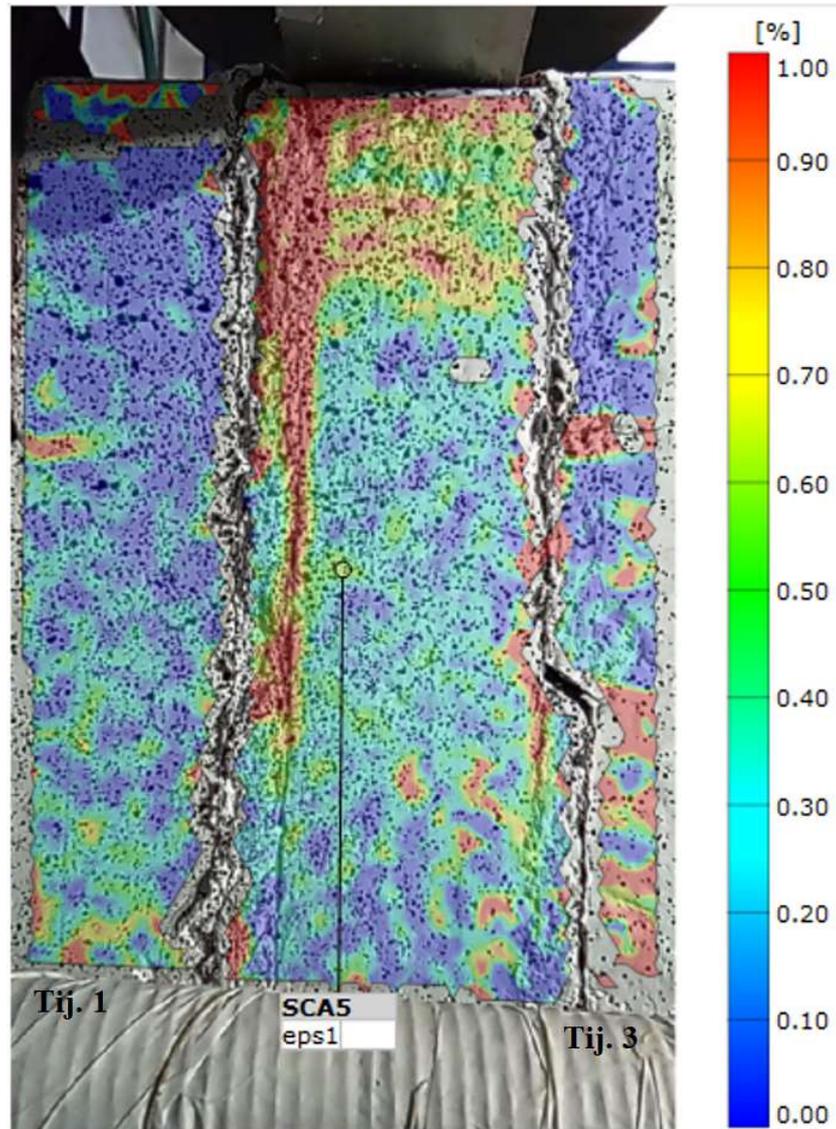
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 47- Metade do Processo de Falha da argamassa SCA5.



Fonte: Elaboração Própria.

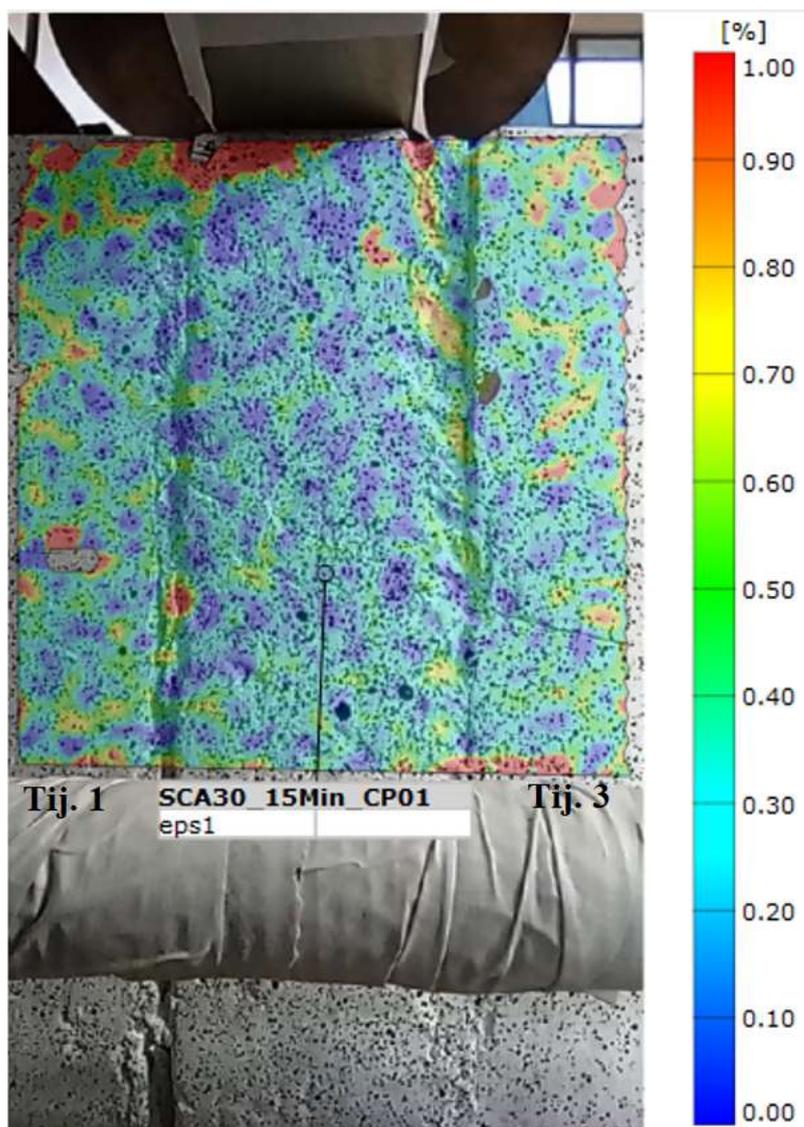
Figura 48 - Final do Processo de Falha da argamassa SCA5.



Fonte: Elaboração Própria.

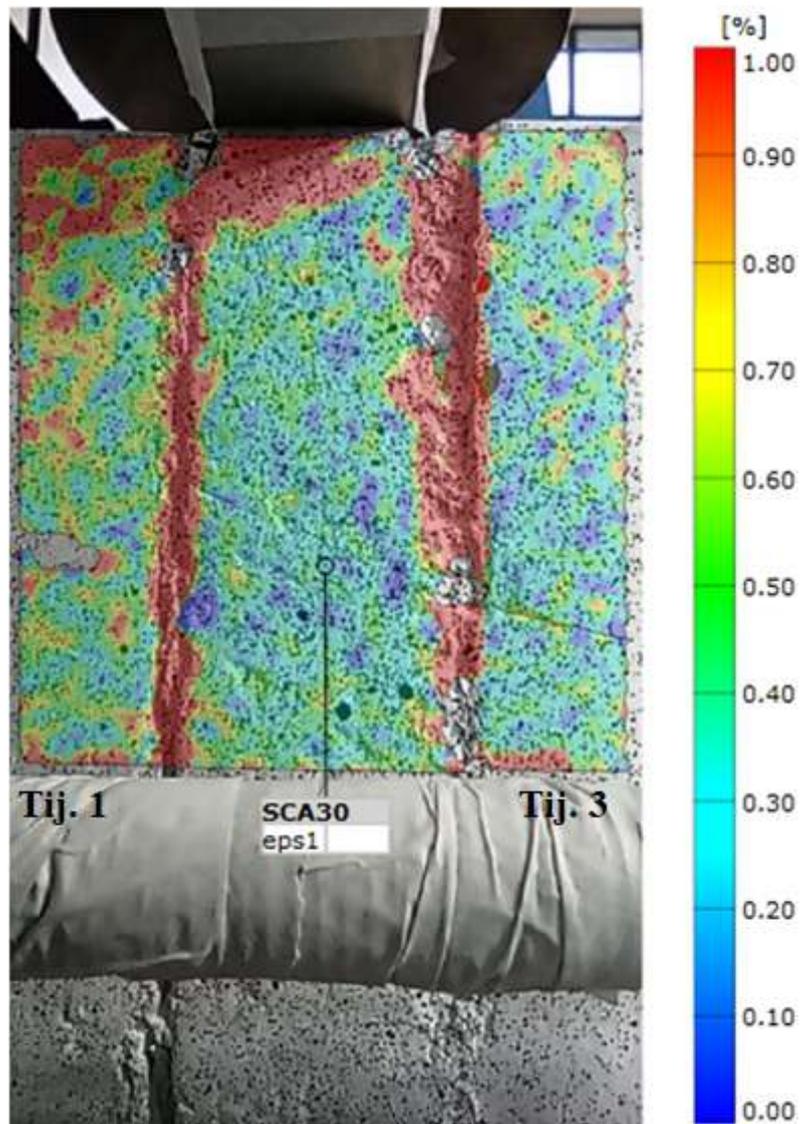
Para o traço SCA30, o modo de falha pode ser visto na Figura 49, Figura 50 e Figura 51 para os três estágios do ensaio (Início, Meio e Fim), respectivamente. As imagens foram retiradas dos prismas com tempo de aplicação de 15 minutos.

Figura 49- Início do Processo de Falha da argamassa SCA30.



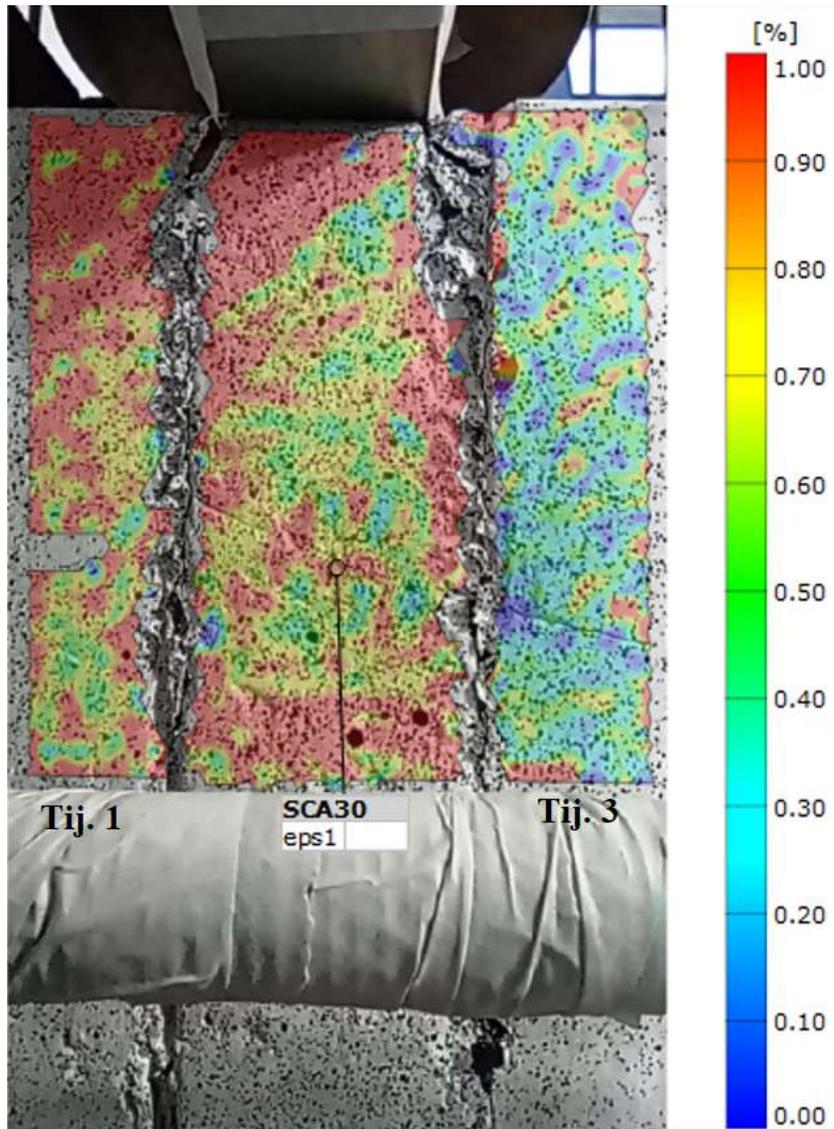
Fonte: Elaboração Própria

Figura 50 - Metade do Processo de Falha da argamassa SCA30.



Fonte: Elaboração Própria

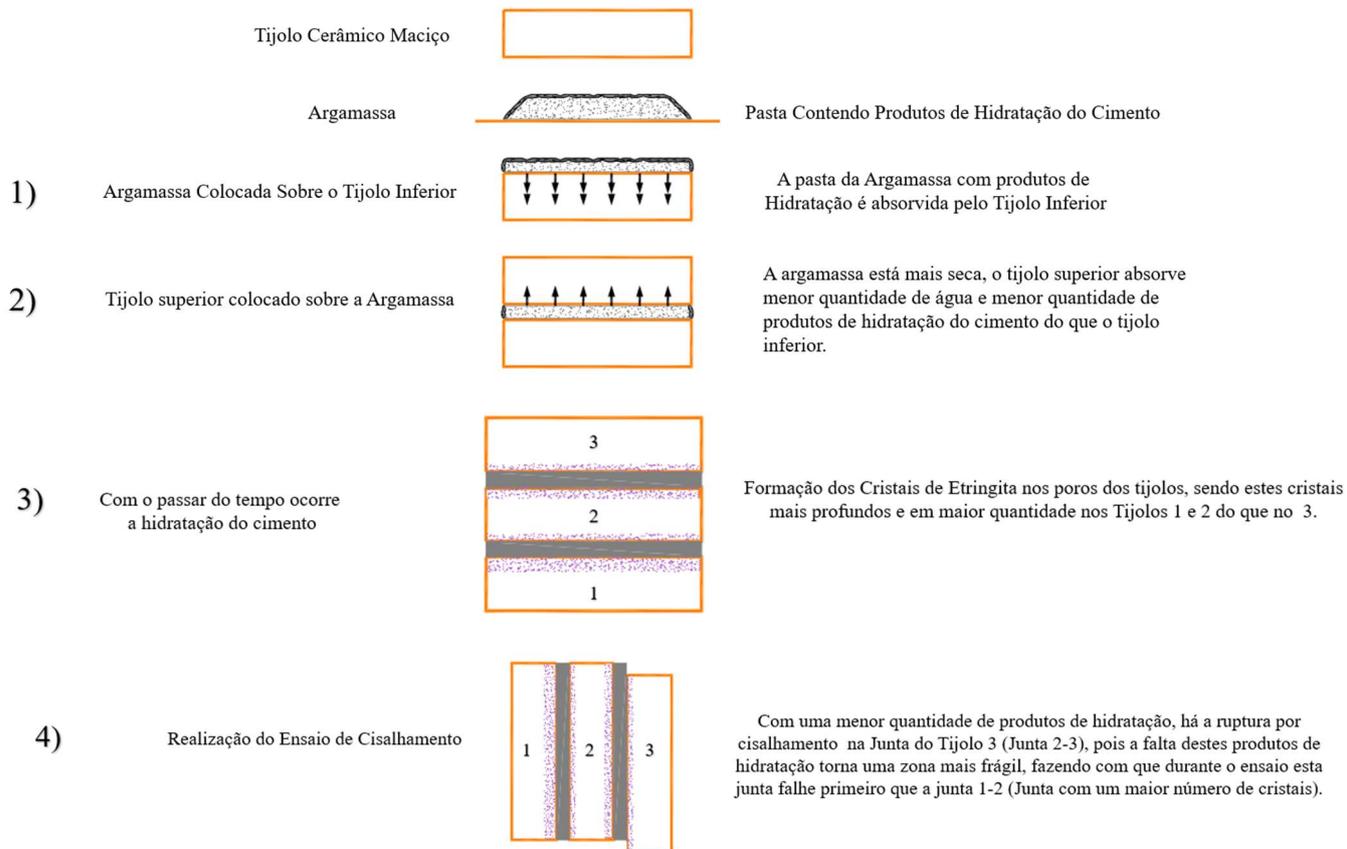
Figura 51- Final do Processo de Falha da argamassa SCA30.



Fonte: Elaboração Própria

Realizando a análise das imagens, este padrão de deslocamento e falha pode se justificar devido a fatores físicos do ensaio e fatores químicos desenvolvidos durante a hidratação do cimento Portland. Um esquema explicativo para este padrão de falha das argamassas pode ser visualizado na Figura 52.

Figura 52 - Esquema Explicativo de Padrão de Ruptura na Interface Argamassa-Tijolo dos Prismas.



Fonte: Adaptado de CARASEK (2017).

Este efeito é causado pela adição da SCA e está aliado à capacidade de retenção de água e a reação com o hidróxido de cálcio (CaOH_2), formado durante o processo de hidratação do cimento para os silicatos de cálcio hidratado adicionais (C-S-H) serem formados. Estes silicatos formados tendem a preencher os vazios capilares e aumentar as resistências das argamassas e possivelmente sua aderência ao substrato (DAL MOLIN, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, o objetivo foi avaliar o comportamento mecânico de argamassas com substituições de 5 e 30% de cimento Portland por Sílica da casca de Arroz submetidas a ensaios de tração à flexão em 3 pontos, resistência a compressão axial, resistência de aderência utilizando ensaios de cisalhamento com pré-compressão em prismas com aplicação da argamassa em diferentes tempos (15, 60 e 180 minutos) e realizar a análise do modo de falha da interface entre a argamassa e o tijolo utilizando o software GOM Correlate.

No que se refere aos ensaios de compressão axial e flexão em três pontos, pode-se verificar que a incorporação de sílica nos valores de 5% não altera a resistência das argamassas em relação ao desempenho sob tensões de tração e compressão. A substituição no valor de 30% prejudica este desempenho para a idade de 28 dias de cura.

Com os resultados obtidos para o ensaio de cisalhamento utilizando pré-compressão, pode-se através de análise estatística desenvolvida utilizando método de Tukey, concluir que a argamassa SCA30 (com maior substituição de Cimento Portland por Sílica da Casca de Arroz) demonstrou uma resistência ao cisalhamento superior as demais argamassas quando aplicada em tempos de até 60 minutos. Este efeito é associado provavelmente à maior capacidade de retenção de água de SCA30 (apesar do maior número de partículas finas) e ao processo pozolanica desenvolvido pela SCA, dado a disponibilidade alta de SCA.

Aos 180 minutos, a tensão máxima de cisalhamento diminui para a argamassa com o maior teor de sílica, fato este que se justifica possivelmente pela maior quantidade de sílica na argamassa gerando uma menor trabalhabilidade, o que dificultou o assentamento dos tijolos.

Em comparação com as demais argamassas, pode-se concluir que o desempenho superior de SCA30 em relação a SCA5 e REF nos tempos de aplicação iniciais, pode estar relacionado à ausência ou menor quantidade de SCA nos traços SCA5 e REF. Fato este, justificado pela maior capacidade de retenção de água de SCA30, o que leva a uma maior quantidade de produtos de hidratação do cimento no substrato e conseqüentemente um maior efeito de adesão.

No geral, a média dos valores obtidos para a argamassa SCA5 demonstrou desempenho 17,88% menor dos que os obtidos pela argamassa REF, porém após as análises estatísticas pode-se concluir que este efeito não pode ser estatisticamente associado a substituição desta quantidade de sílica. Em relação aos tempos de aplicação, fica evidente que estas argamassas não obtiveram valores discrepantes entre si e a substituição de CP por SCA nestas quantidades

não influencia na aderência da argamassa ao substrato, podendo-se deste modo, a argamassa SCA5 ser aplicada a qualquer tempo.

Pode-se analisar através do software GOM Correlate o comportamento do prisma durante o ensaio e seu modo de falha. Em geral, os prismas apresentaram um comportamento similar durante o ensaio, no qual o acúmulo das tensões foi concentrado na parte superior do prisma (Junta entre o bloco 2-3), o que ocasionou um maior deslocamento nesta junta, e na maior parte das vezes levando a ruptura desta junta por primeiro.

Este fato pode-se justificar de acordo com a ordem de assentamento dos blocos, devido ao bloco superior ser assentado sobre a junta, dificulta a penetração de uma quantidade maior dos produtos de hidratação, tornando o método de incorporação deste material ao tijolo apenas por capilaridade. Isso proporciona a formação de uma zona mais frágil, fazendo com que esta junta deforme mais e diminua a aderência entre esse bloco e a argamassa nesse ponto.

Por fim, conclui-se que a substituição de cimento Portland por sílica da casca de arroz em 30% aumenta a resistência ao cisalhamento das argamassas, notando-se uma melhora da aderência quando aplicadas em tempos de até 60 minutos. No entanto, as argamassas SCA5 e REF apresentaram um comportamento independente, representando indiferença em relação aos valores de 5% de substituição do Cimento Portland por sílica da casca de arroz e demonstrando que podem ser aplicadas em qualquer tempo.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo e a caracterização da interface entre argamassas e substratos é complexo e muitos outros trabalhos devem ser executados para adicionar e consolidar os resultados aqui apresentados. Assim, sugestões de propostas, temas e tópicos de pesquisa são apresentados abaixo:

- Analisar outras porcentagens entre 5% e 30% de substituição do Cimento Portland Por Sílica da Casca de Arroz;
- Incorporar fibras e outras adições minerais a argamassas e avaliar o desempenho mecânico;
- Analisar experimentalmente prismas utilizando outros substratos;
- Realizar análises através de Microscopia Eletrônica de Varredura e ensaio de DRX para caracterização da argamassa e principalmente para o entendimento das zonas de interface entre o tijolo e a argamassa;
- Verificar o desempenho dos prismas quando submetidos a diferentes valores de pré-compressão;

7 REFERÊNCIAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** [s.l: s.n.].
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2 - Componentes Cerâmicos - Blocos e Tijolos para alvenaria. Métodos de Ensaio.** [s.l: s.n.].
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **INDÚSTRIA BRASILEIRA FAZ A SUA PARTE NA REDUÇÃO DE EMISSÕES.** Disponível em: <<https://abcp.org.br/industria-brasileira-faz-a-sua-parte-na-reducao-de-emissoes/>>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- AZEVEDO, A. F. F. L. C. DE. **Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes.** [s.l.] Universidade do Minho, 2002.
- BEIDAGHY DIZAJI, H. et al. Ash transformation mechanism during combustion of rice husk and rice straw. **Fuel**, v. 307, jan. 2022.
- CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais 3ª Edição.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017.
- CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. Aderência de argamassas a base de cimento Portland a unidades de alvenaria. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo: EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil**, 1997.
- CORTESE, N. **Estudo do comportamento reológico no tempo de argamassas com substituição de sílica de casca de arroz.** [s.l.] UNIPAMPA, 2019.
- COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 29 nov. 2013.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais.** 1. ed. [s.l.] Editora Ibracon, 2011.
- DAS, S. K. et al. **Characterization and utilization of rice husk ash (RHA) in fly ash - Blast furnace slag based geopolymers concrete for sustainable future.** Materials Today: Proceedings. **Anais...2020**
- EN 1052-3. **Methods of test for masonry - Part 3: Determination of initial shear strength.**

[s.l: s.n.].

FORMAGINI, S. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

GOMES, V. L. D. L. **EFEITO DA ADIÇÃO DE DIATOMITA NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO E MECÂNICO DE ARGAMASSAS COLANTES**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

HOSSAIN, S. S.; ROY, P. K. Waste rice husk ash derived sol: A potential binder in high alumina refractory castables as a replacement of hydraulic binder. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 817, mar. 2020.

JANK, D. D. M. **CORRELAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS EM ENSAIOS DE PRISMAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS DE PAREDES MACIÇAS**. [s.l.] Universidade Federal do Pampa, 2021.

JO, Y.-K. Adhesion in tension of polymer cement mortar by curing conditions using polymer dispersions as cement modifier. **Construction and Building Materials**, v. 242, p. 118134, maio 2020.

JUCÁ, P. H. DE O. **AVALIAÇÃO DO MECANISMO DE TRANSFERÊNCIA DE TENSÕES E FORMAÇÃO DE FISSURAS NO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM REFORÇO HÍBRIDO**. [s.l.] Universidade Federal do Pampa, 2020.

JUKES, P. **An investigation into the shear strength of masonry joints**. [s.l: s.n.].

LI, G.; XIE, H.; XIONG, G. Transition zone studies of new-to-old concrete with different binders. **Cement and Concrete Composites**, v. 23, n. 4–5, p. 381–387, ago. 2001.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

MARANGON, E. et al. Mortars produced with an environmentally sustainable rice HUSK silica: Rheological properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 287, mar. 2021.

MARTINS, H. F. **Resistência ao Cisalhamento de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. [s.l: s.n.].

MATA, R. C. DA. **Análise experimental e numérica do comportamento de junta em painéis de contraventamento de alvenaria estrutural**. [s.l.] Escola de Engenharia de São

Carlos, 2005.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. **Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz.** 13º SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...**Bauru, São Paulo: 2006

NAIR, D. G. et al. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. **Cement and Concrete Research**, v. 38, n. 6, p. 861–869, jun. 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: [s.n.].

OLIVEIRA, L. M. F. DE. **ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DAS INTERFACES VERTICAIS DE PAREDES INTERCONECTADAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL.** [s.l.] Escola de Engenharia de São Carlos, 2014.

OLIVEIRA, M. DE J. D. DE. **AVALIAÇÃO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO DE ARGAMASSAS COLANTES ATRAVÉS DE MÉTODOS REOLÓGICOS.** [s.l: s.n.].

PACHTA, V.; SERPEZOUZI, C.; STEFANIDOU, M. The influence of pre-wetting with consolidants on the adhesion of double-layer lime based mortars. **Journal of Cultural Heritage**, v. 46, p. 21–30, nov. 2020.

RIDDINGTON, J. R.; JUKES, P. A MASONRY JOINT SHEAR STRENGTH TEST METHOD. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings**, v. 104, n. 3, p. 267–274, ago. 1994.

SAVASTANO, H.; AGOPYAN, V. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 21, n. 1, p. 49–57, jan. 1999.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 27 jun. 2003.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de Direito Ambiental.** 18. ed. São Paulo: [s.n.].

SOBROSA, F. Z. et al. Development of refractory ceramics from residual silica derived from rice husk ash. **Ceramics International**, v. 43, n. 9, p. 7142–7146, jun. 2017.

STOCHERO, N. P. et al. Development of refractory ceramics from residual silica derived from rice husk ash and steel fibres. **Ceramics International**, v. 43, n. 16, p. 13875–13880, nov. 2017.

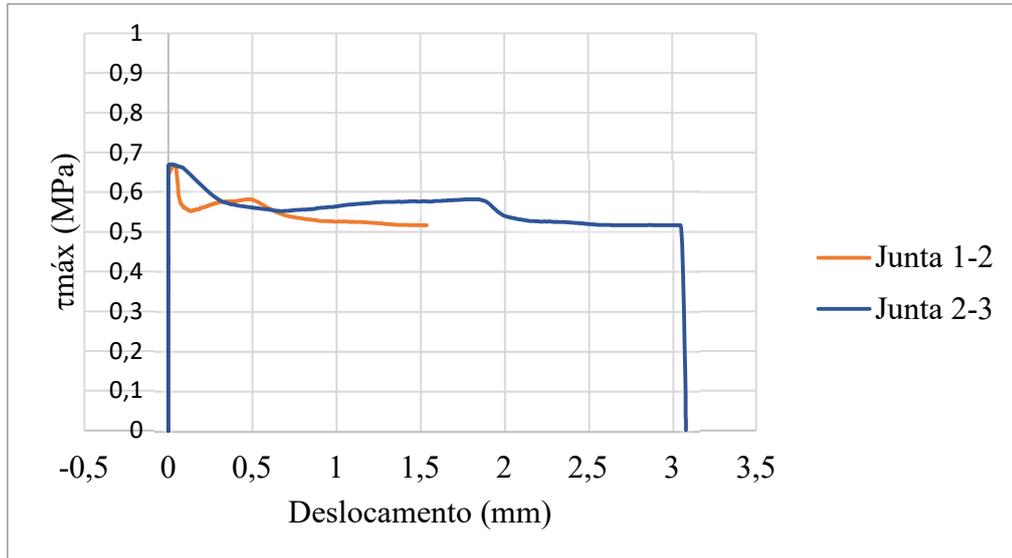
STOCKL, S.; HOFMANN, P. Tests on the shear bond behaviour in the bed-joints of masonry. **Masonry International**, p. 292–303, 1986.

TONELLO, I. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO À COMPRESSÃO E FLEXÃO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR SÍLICA DA CASCA DE ARROZ, CINZA VOLANTE E METACAULIM**. [s.l.] Universidade Federal do Pampa, 2017.

ZHANG, H.; WANG, Z.; WANG, Q. Quantitative evaluation of cement emulsified asphalt mortar and aggregate adhesion performance with dynamic mechanical analysis. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120043, nov. 2020.

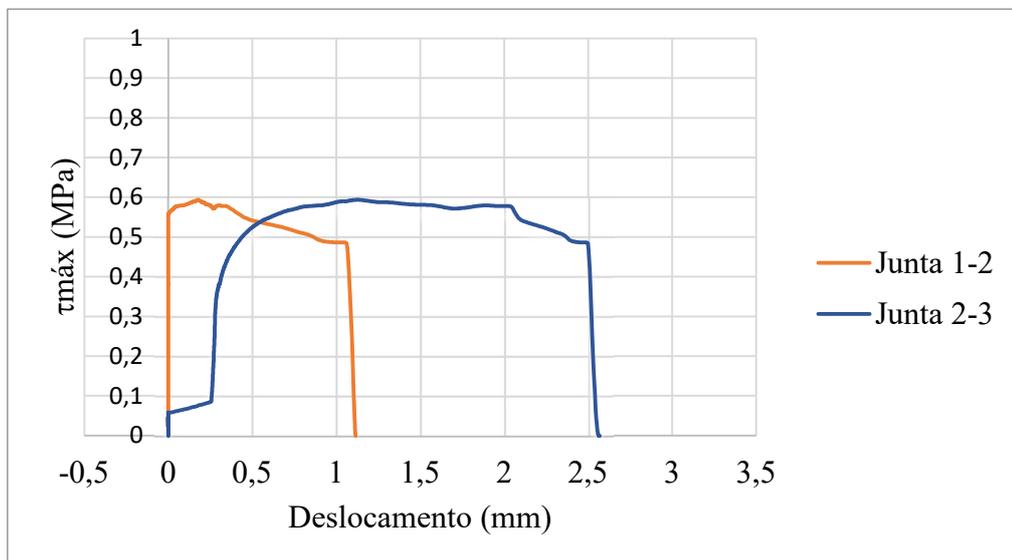
ANEXO A

Figura 53 - Tensão X Deslocamento REF_15Min_CP01.



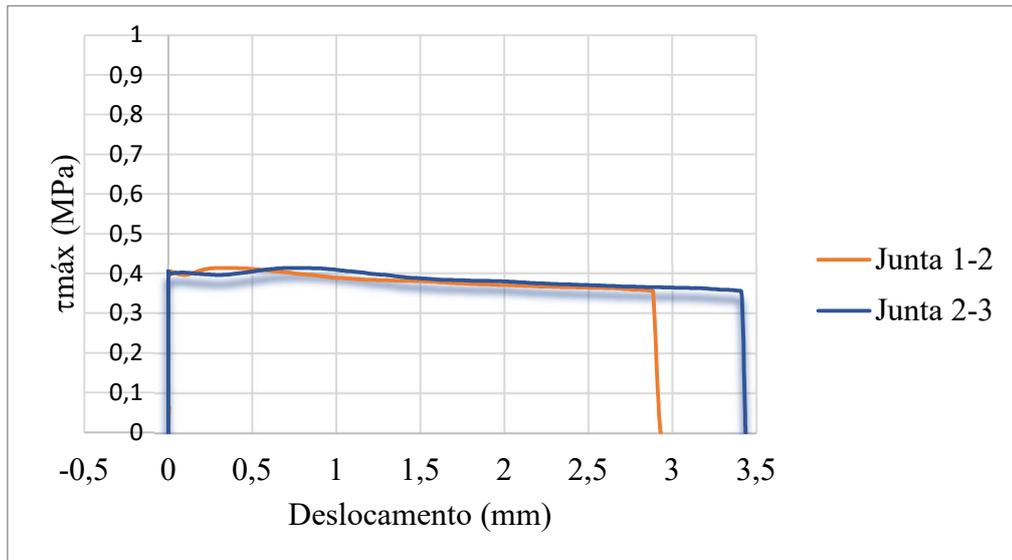
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 54 - Tensão X Deslocamento REF_15Min_CP02



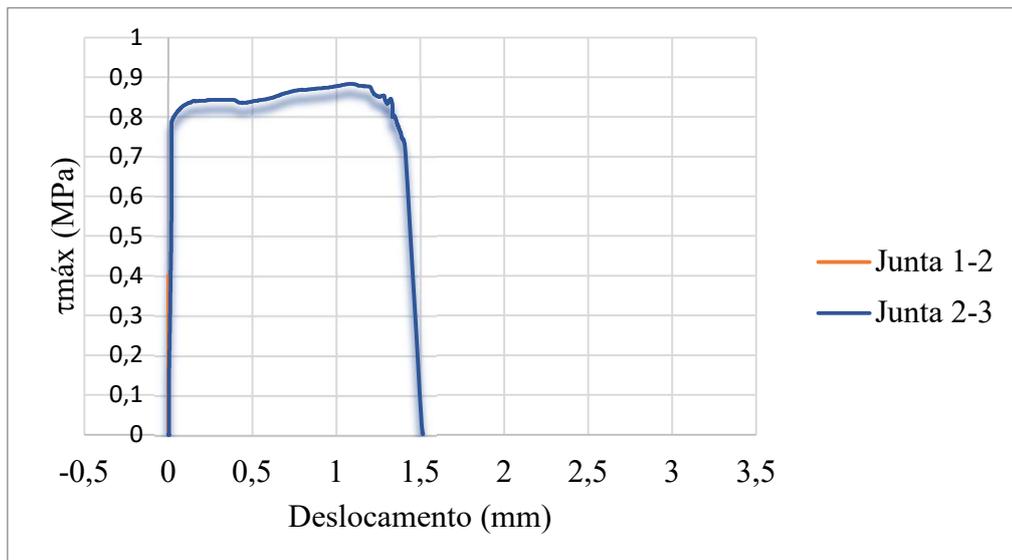
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 55 - Tensão X Deslocamento REF_15Min_CP03.



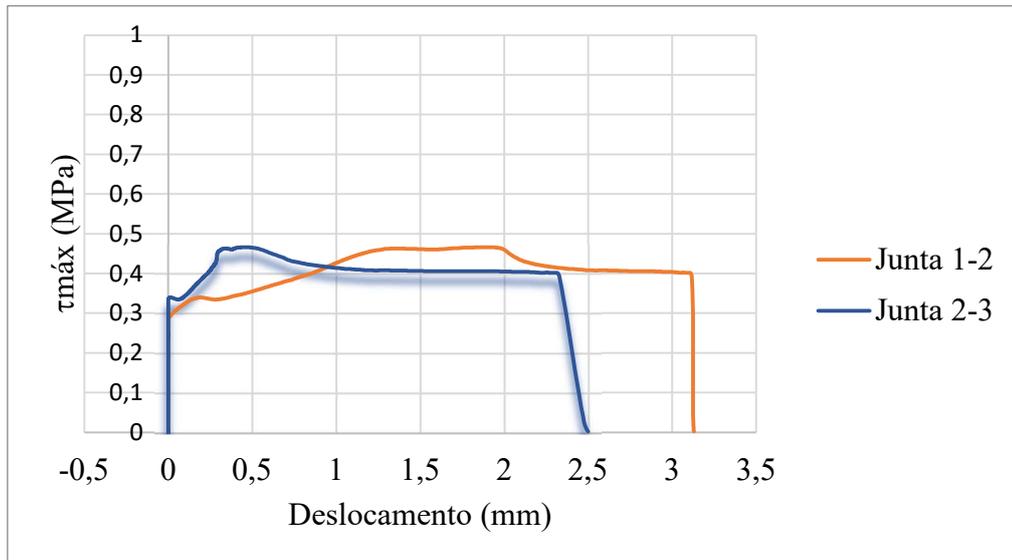
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 56 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP01.



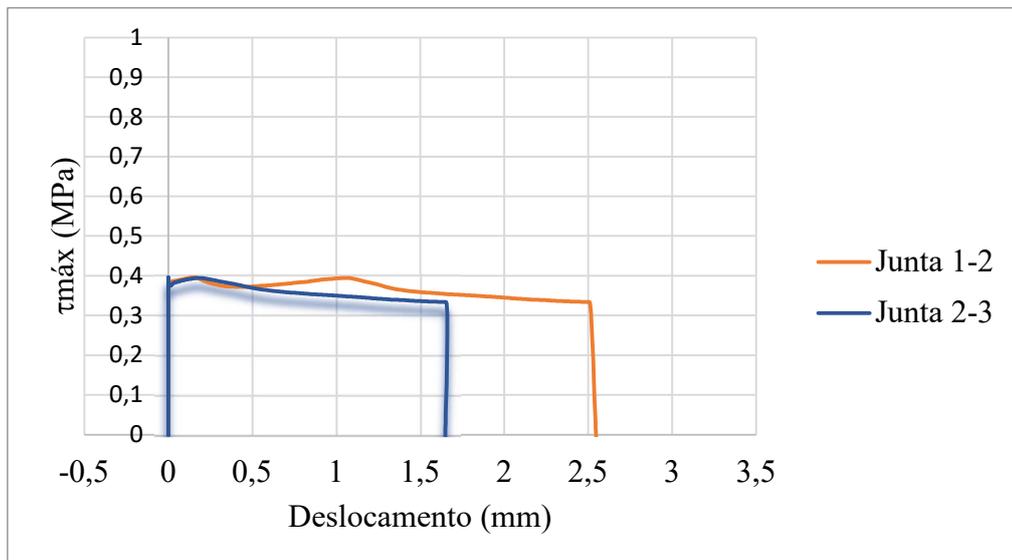
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 57 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP02.



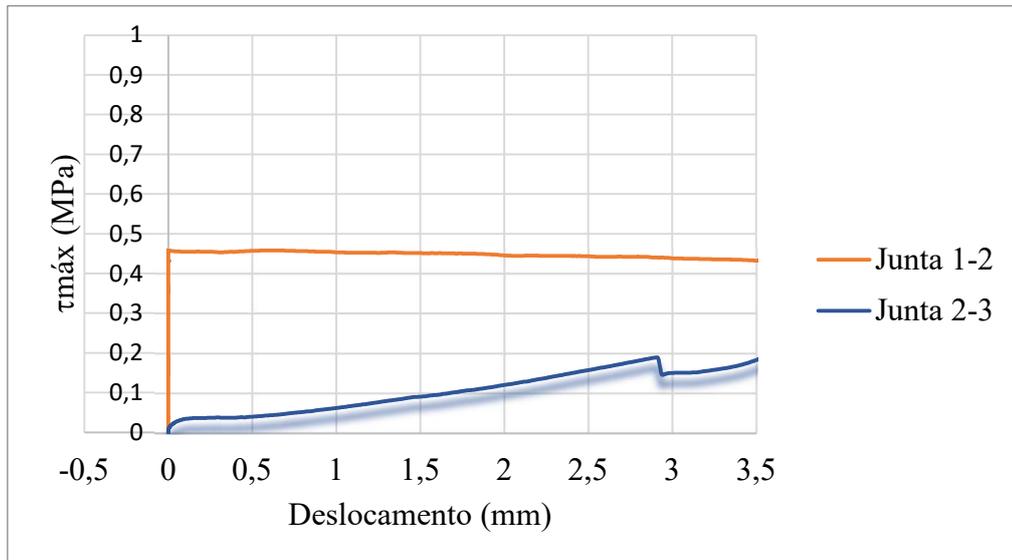
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 58 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP03.



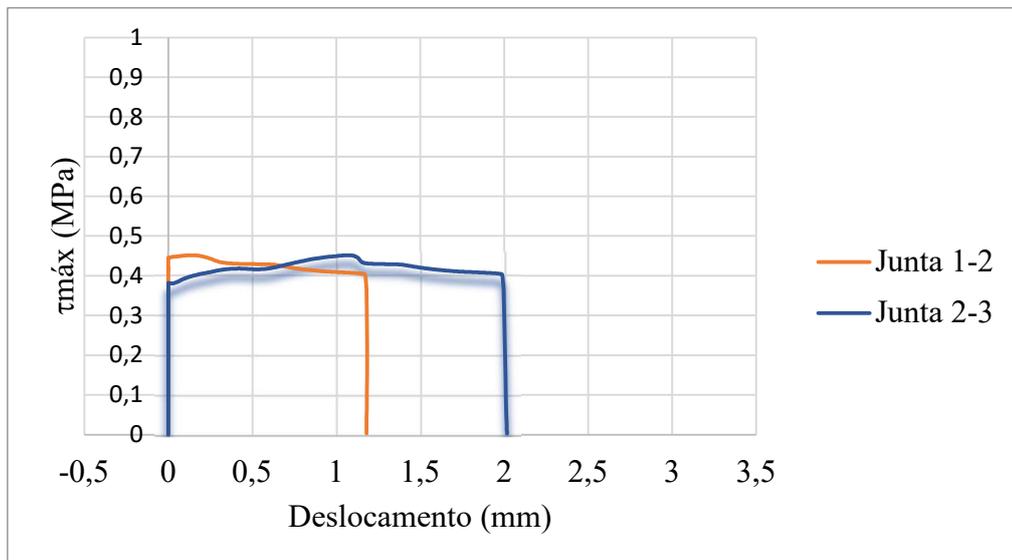
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 59 - Tensão X Deslocamento REF_60Min_CP04.



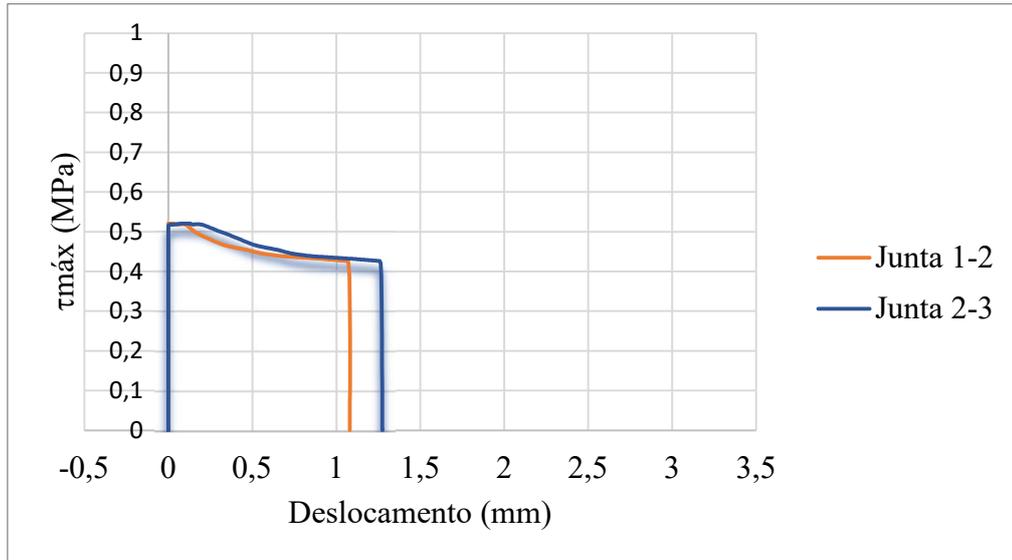
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 60 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP01



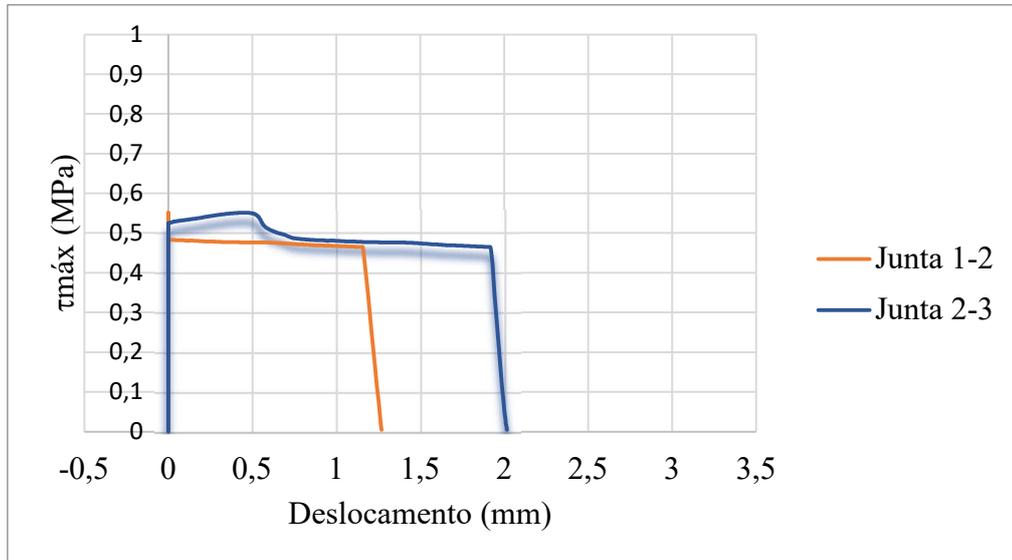
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 61 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP02.



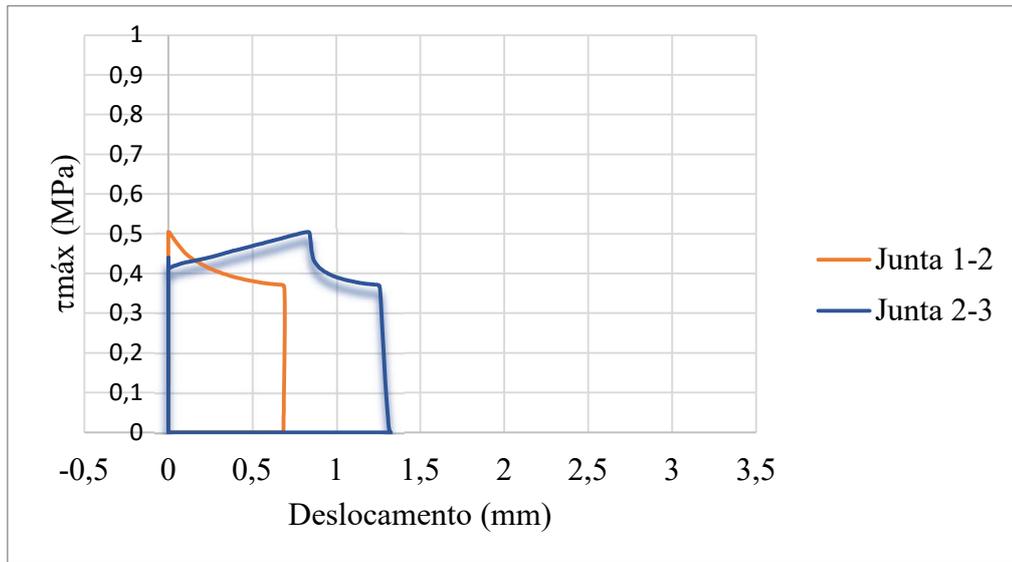
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 62 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP03.



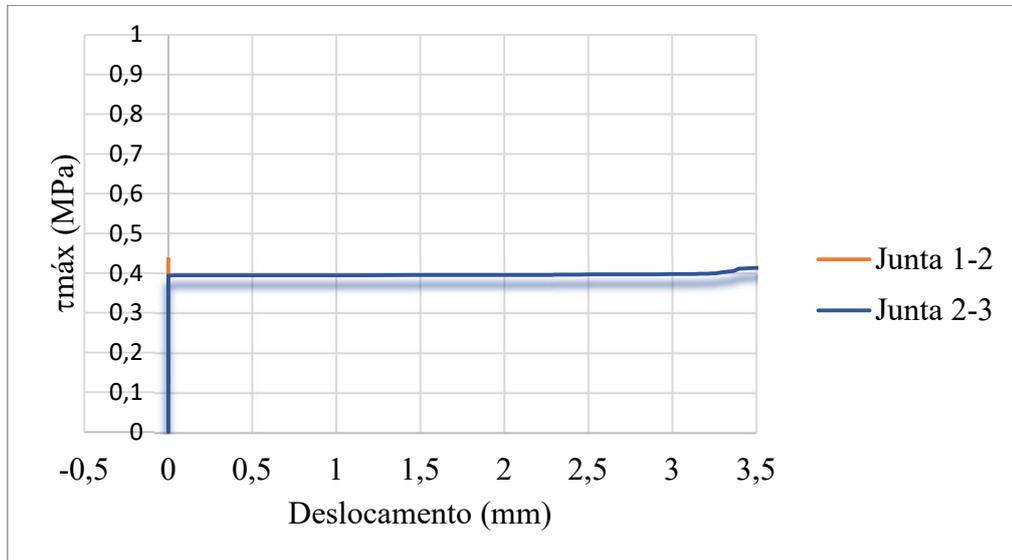
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 63 - Tensão X Deslocamento REF_180Min_CP04.



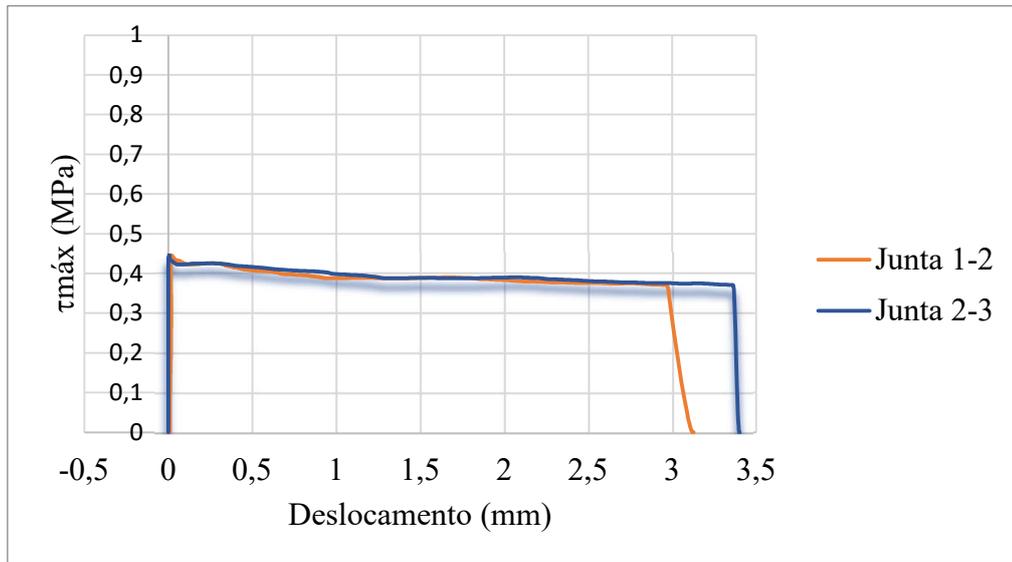
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 64 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP01.



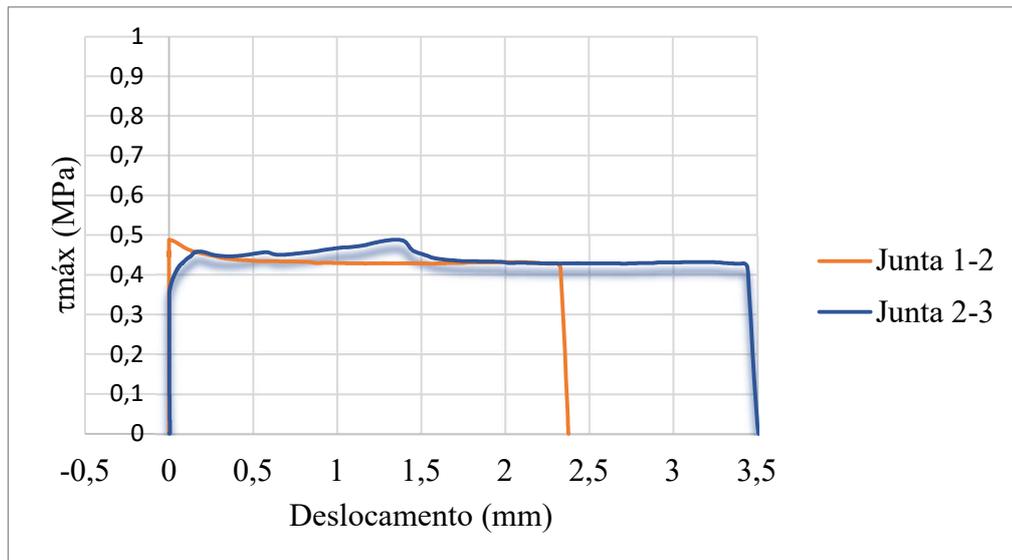
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 65 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP02.



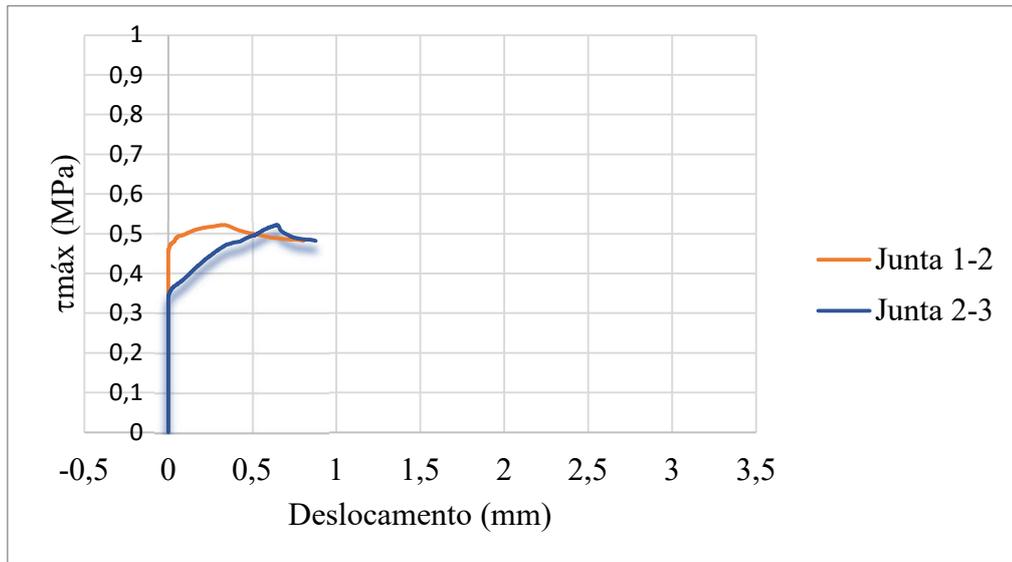
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 66 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP03.



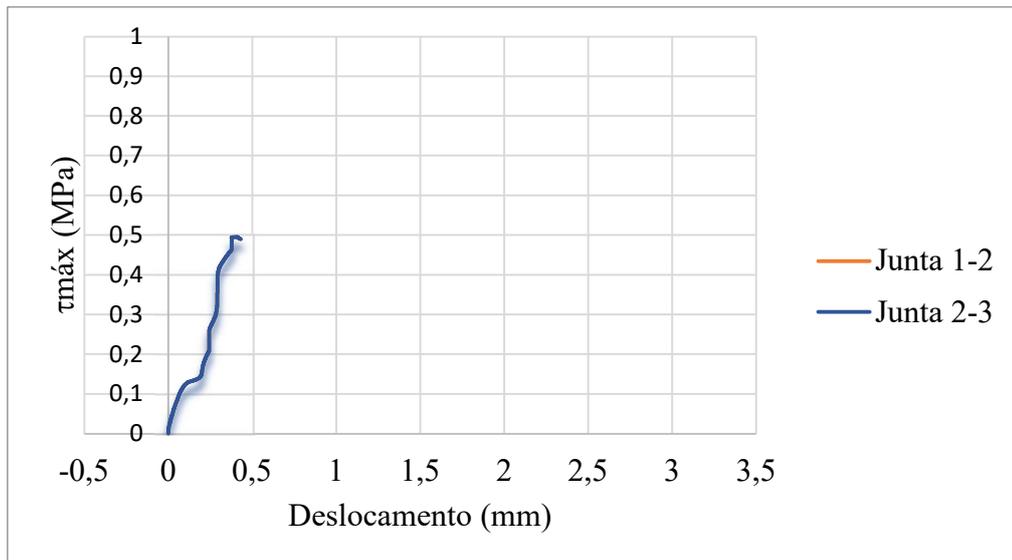
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 67 - Tensão X Deslocamento SCA5_15Min_CP04.



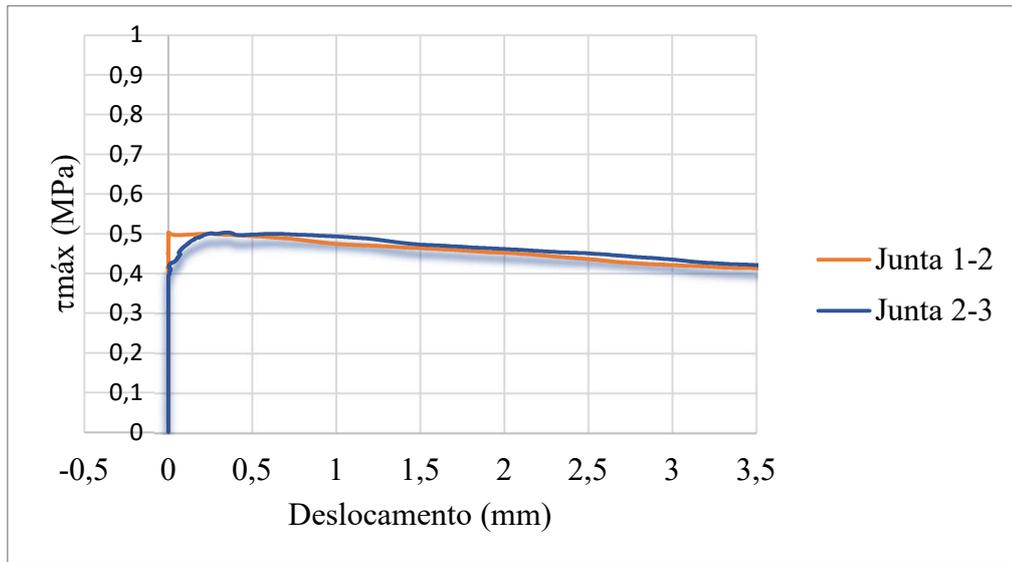
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 68 - Tensão X Deslocamento SCA5_60 Min_CP01.



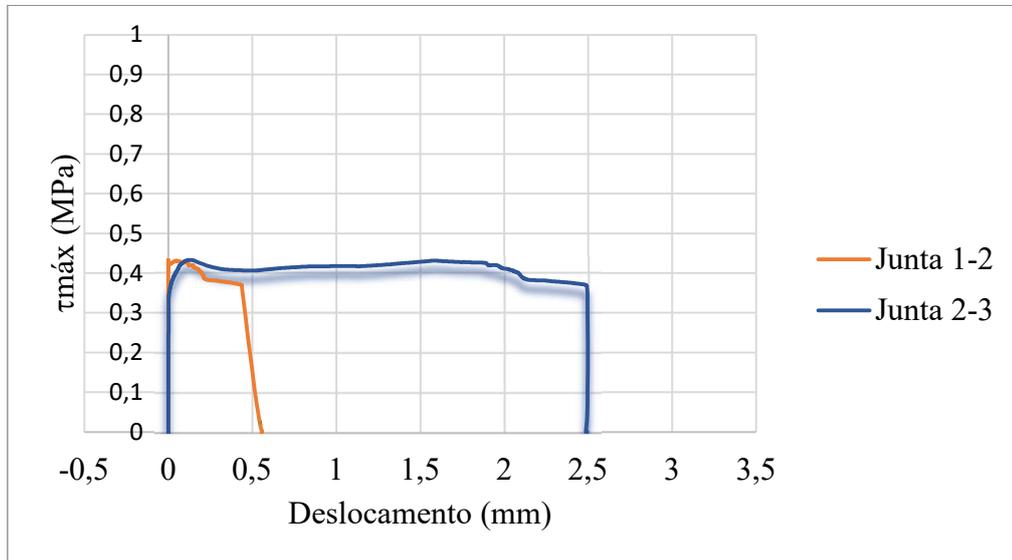
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 69 - Tensão X Deslocamento SCA5_60Min_CP02.



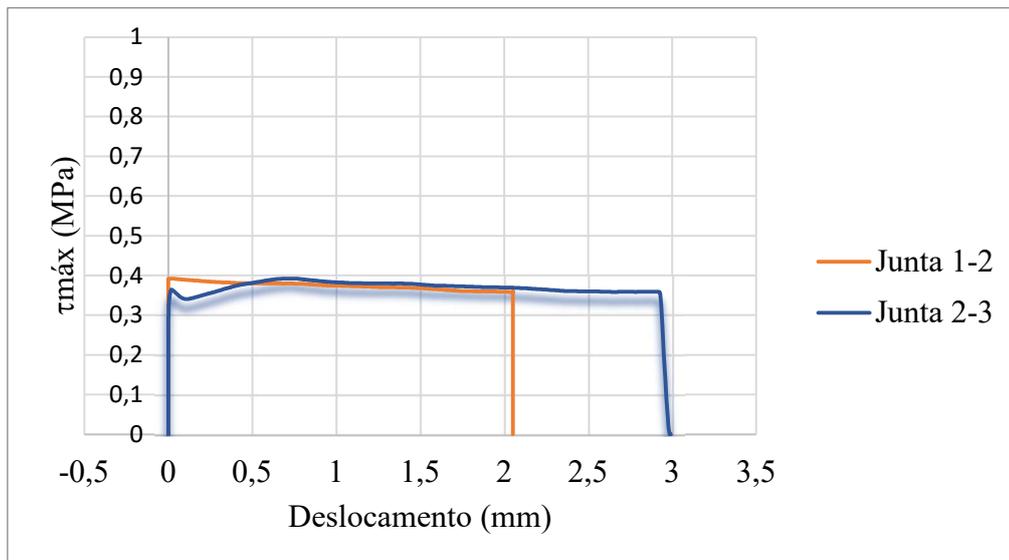
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 70 - Tensão X Deslocamento SCA5_60Min_CP03.



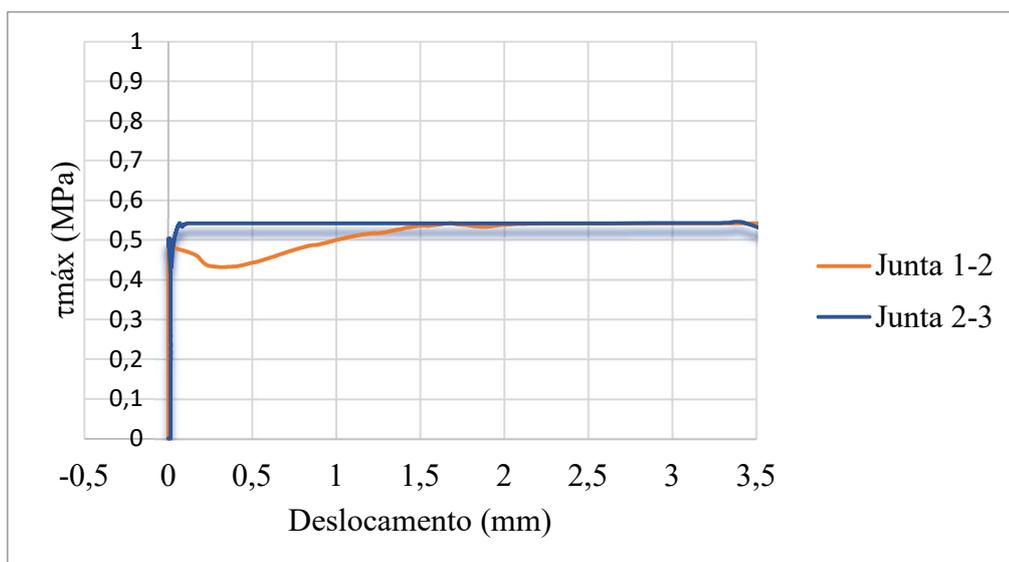
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 71 - Tensão X Deslocamento SCA5_180Min_CP01.



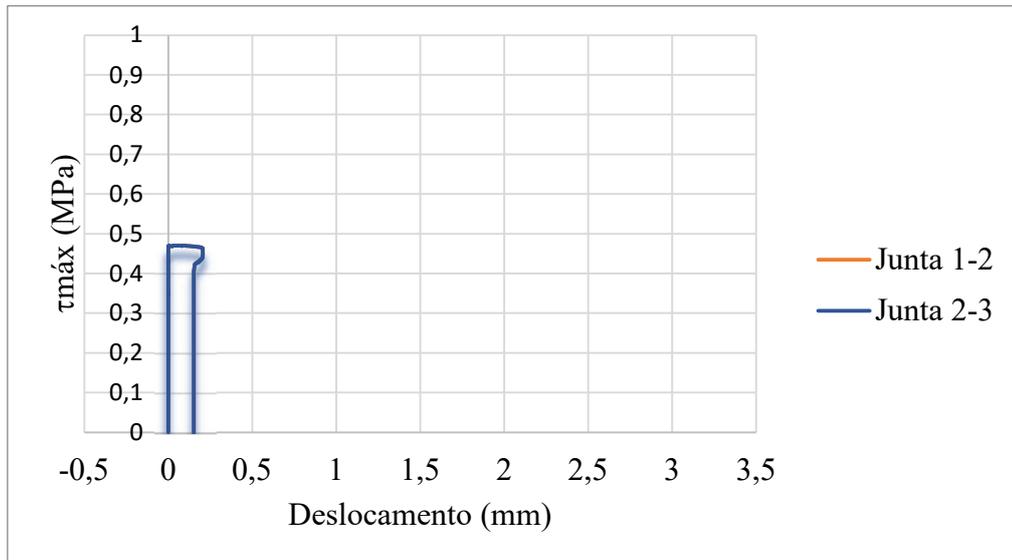
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 72 - Tensão X Deslocamento SCA5_180Min_CP02.



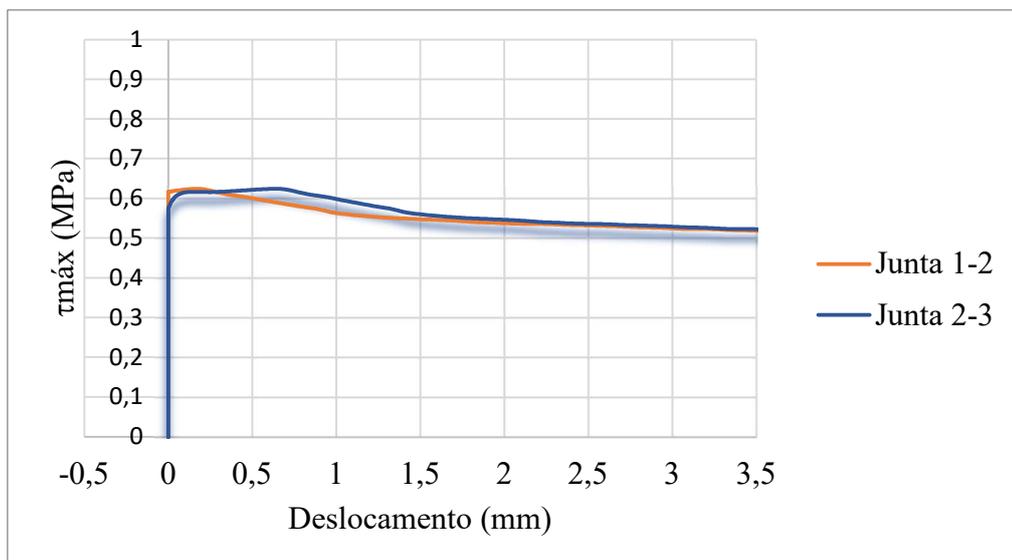
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 73 - Tensão X Deslocamento SCA5_180Min_CP03.



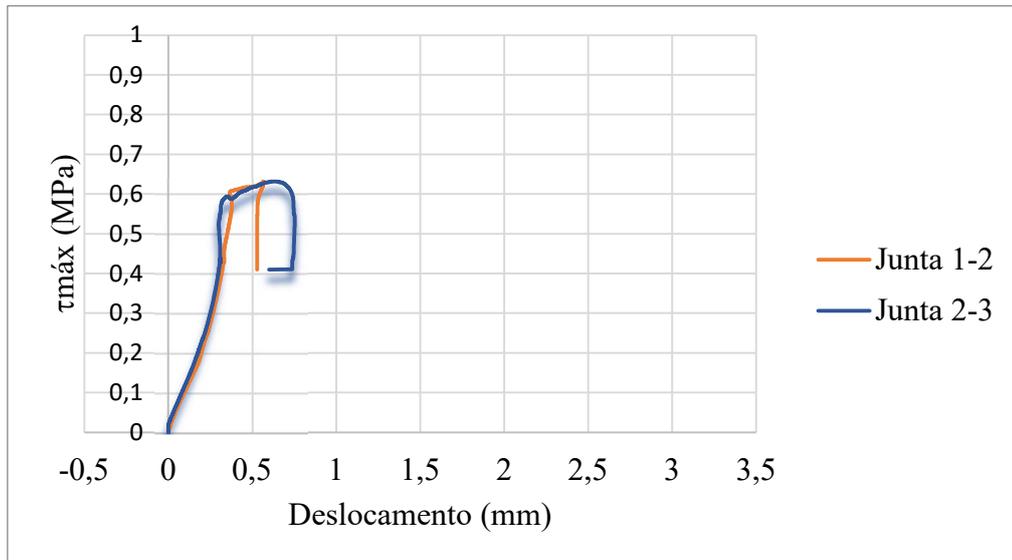
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 74 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP01.



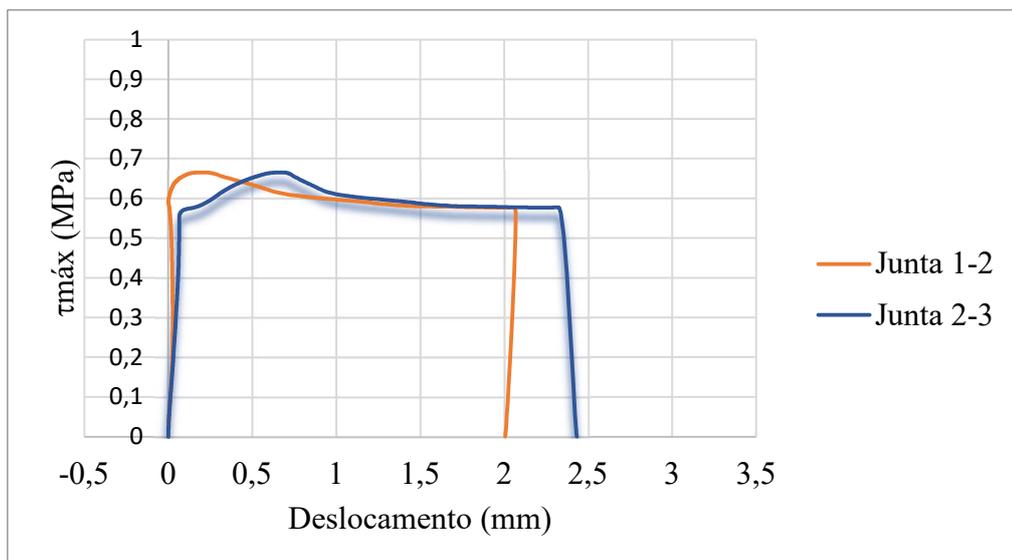
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 75 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP02.



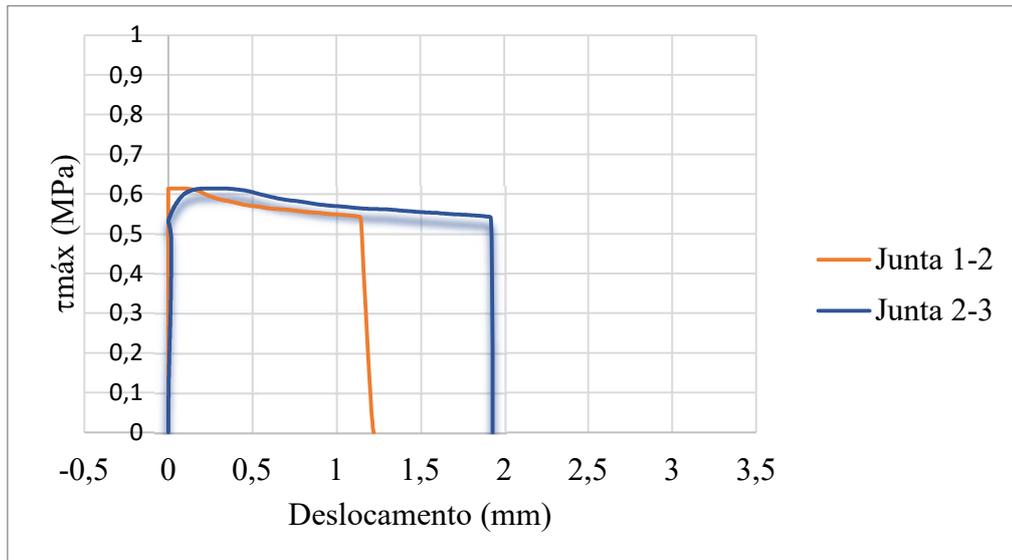
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 76 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP03.



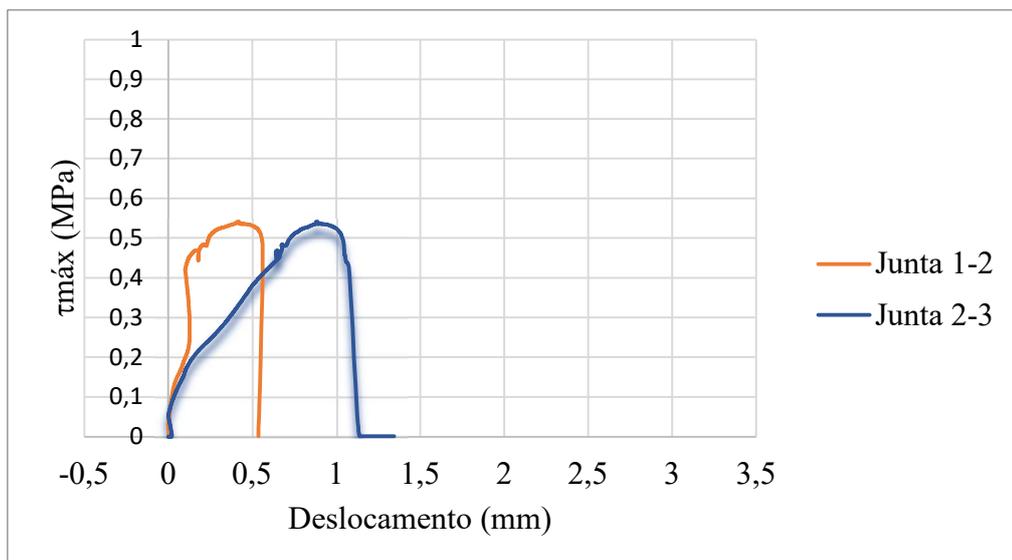
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 77 - Tensão X Deslocamento SCA30_15Min_CP04.



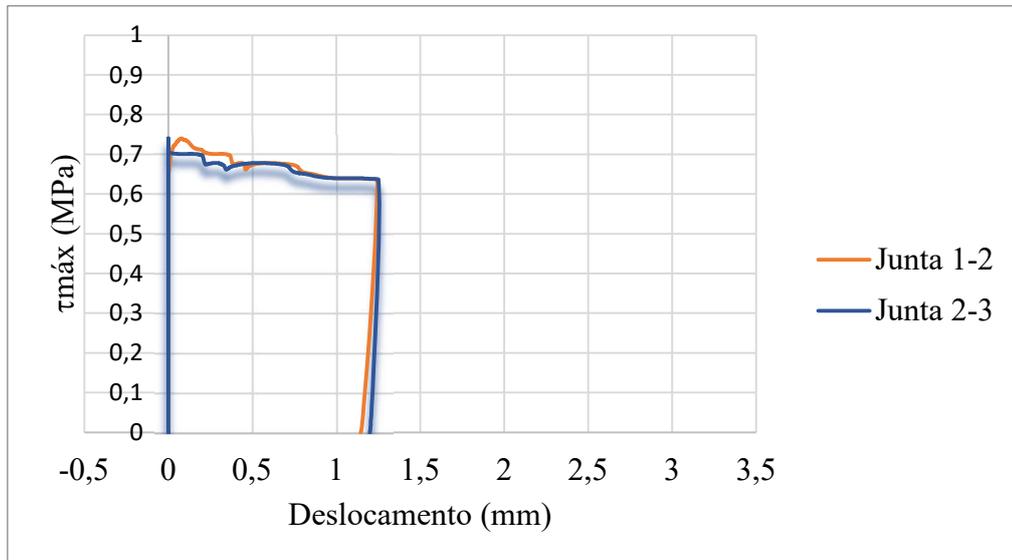
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 78 - Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP01



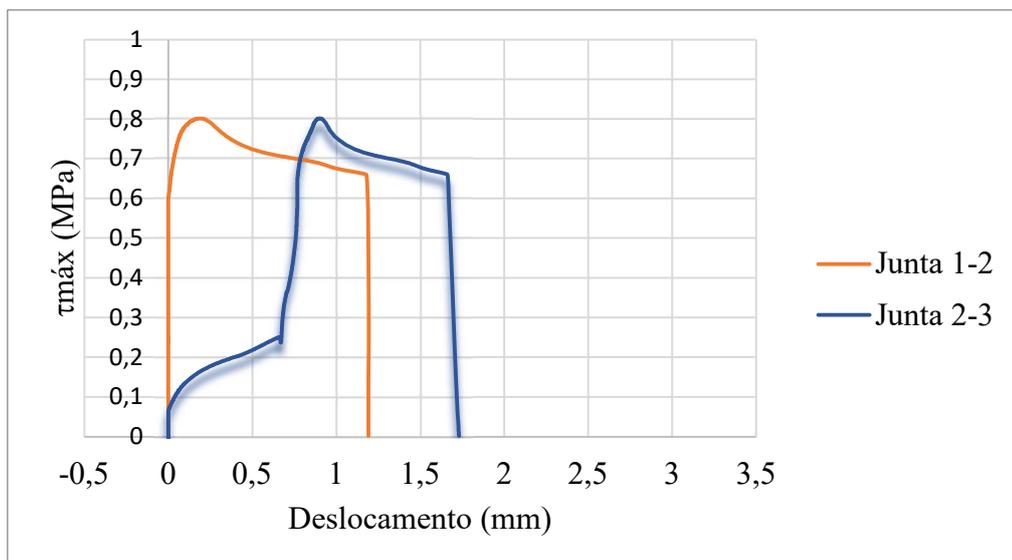
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 79 - Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP02.



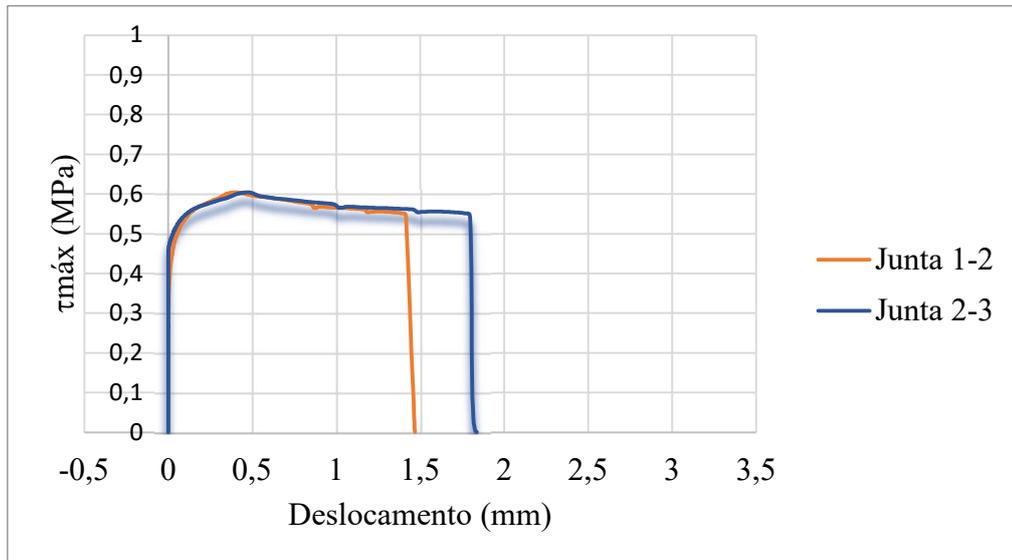
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 80 - Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP03.



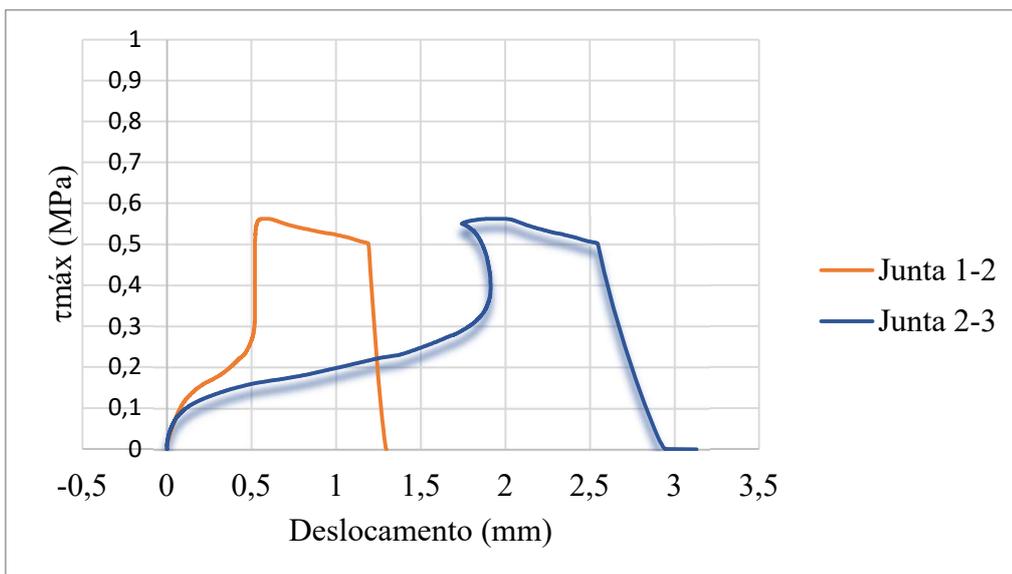
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 81- Tensão X Deslocamento SCA30_60Min_CP04.



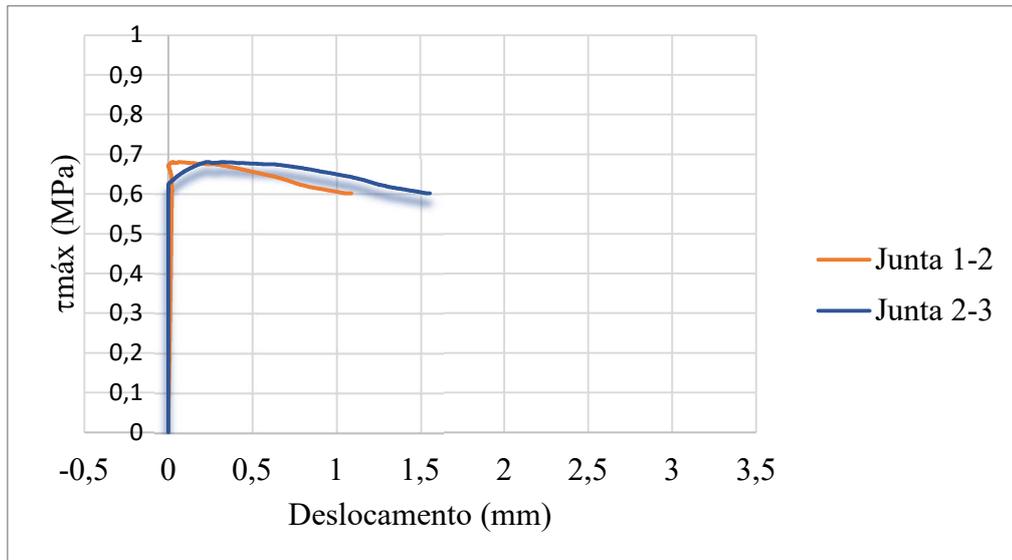
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 82 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP01.



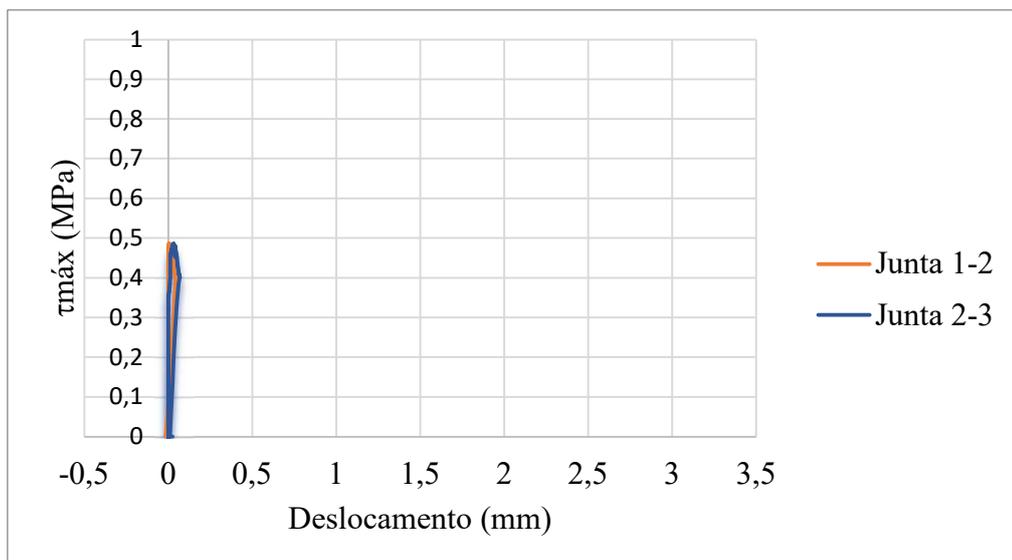
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 83 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP02.



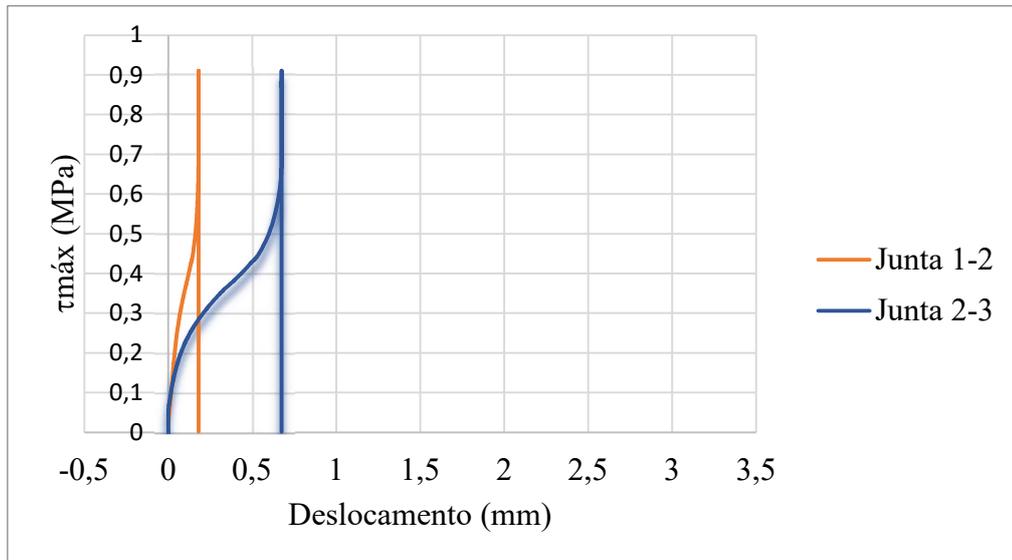
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 84 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP03.



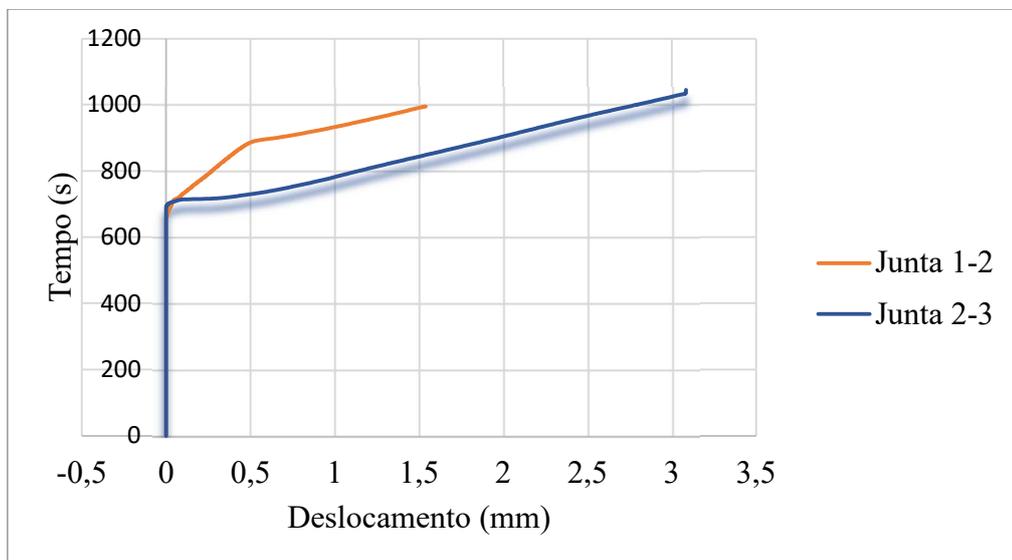
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 85 - Tensão X Deslocamento SCA30_180Min_CP04.



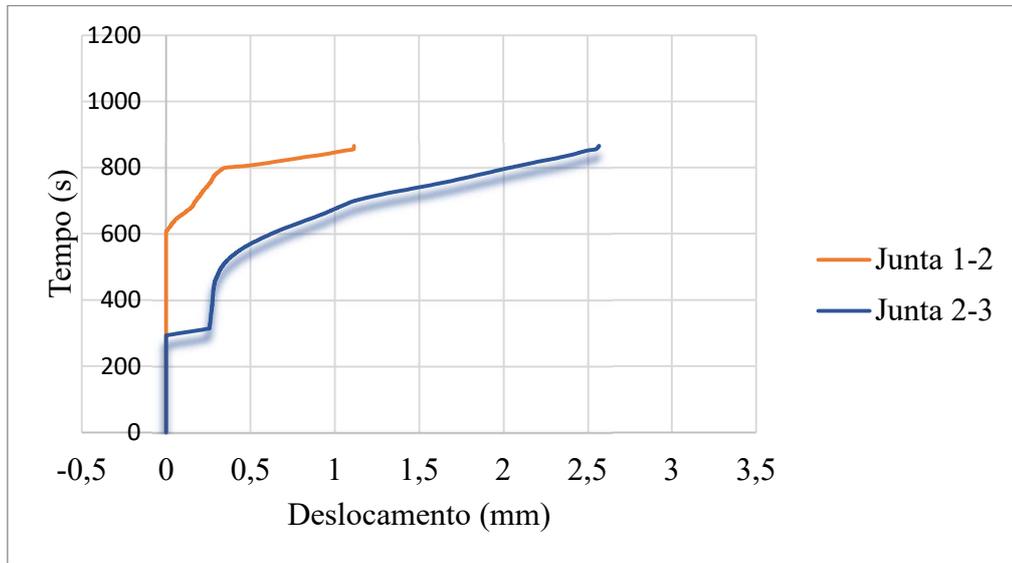
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 86 - Tempo X Deslocamento REF_15Min_CP01.



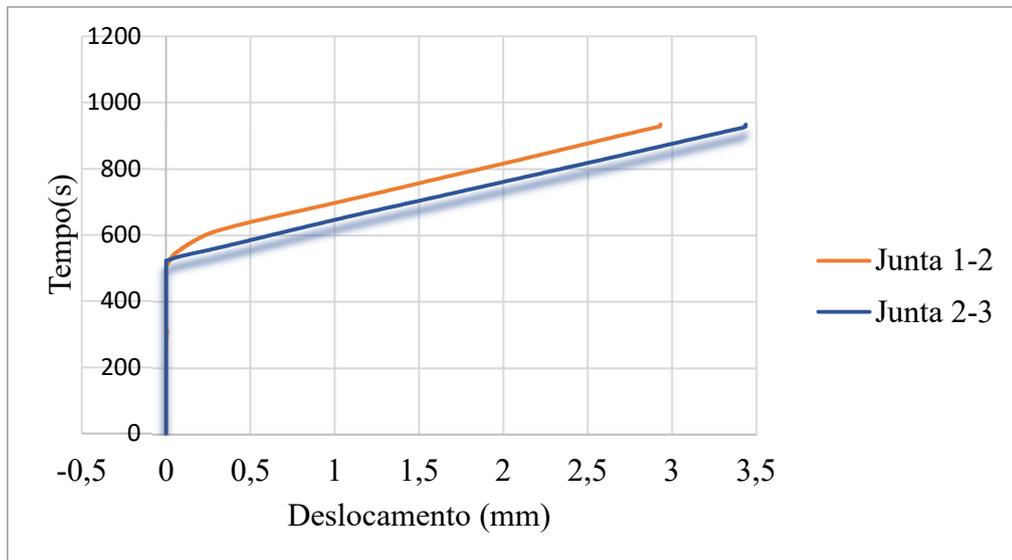
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 87 - Tempo X Deslocamento REF_15Min_CP02.



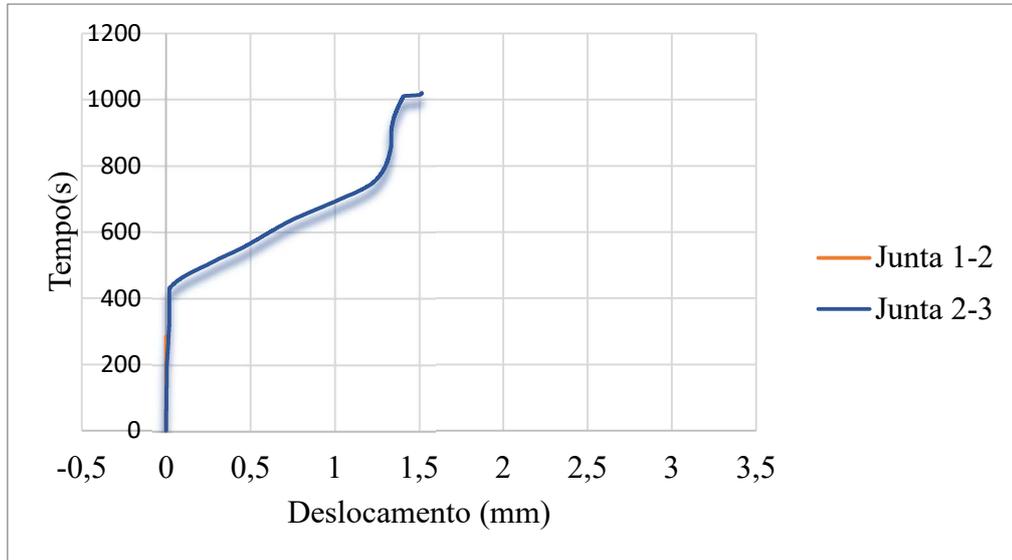
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 88 - Tempo X Deslocamento REF_15Min_CP03.



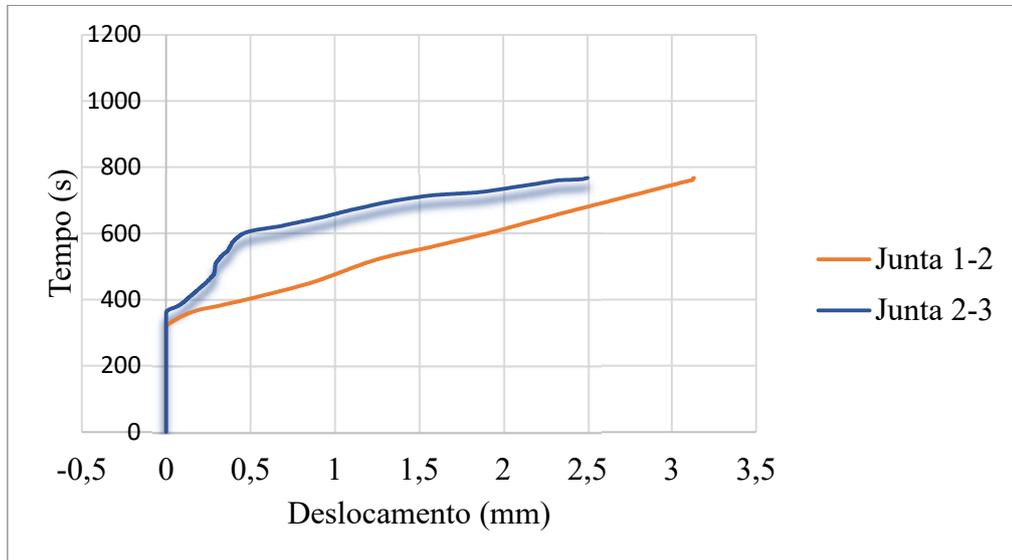
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 89 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP01.



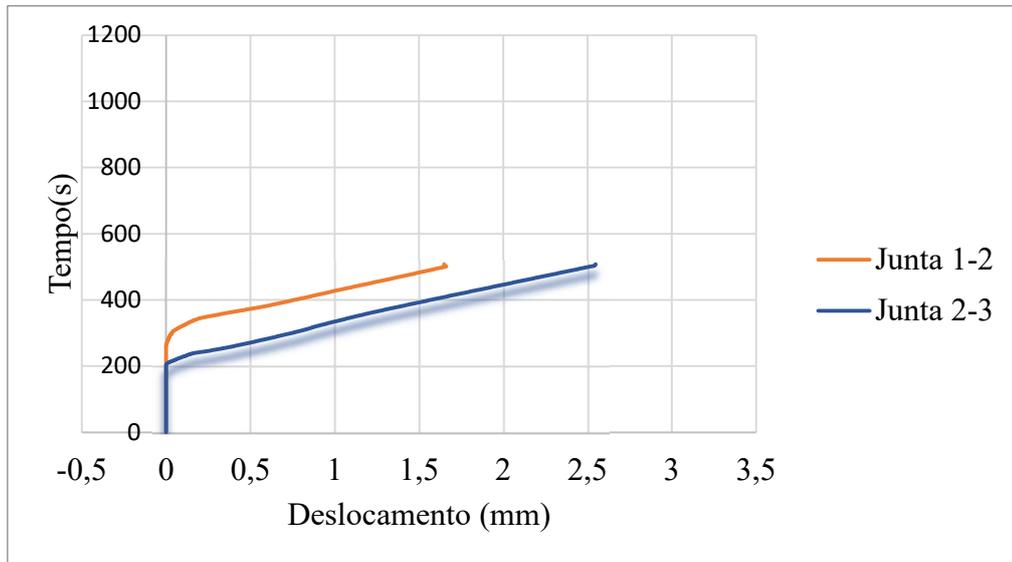
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 90 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP01.



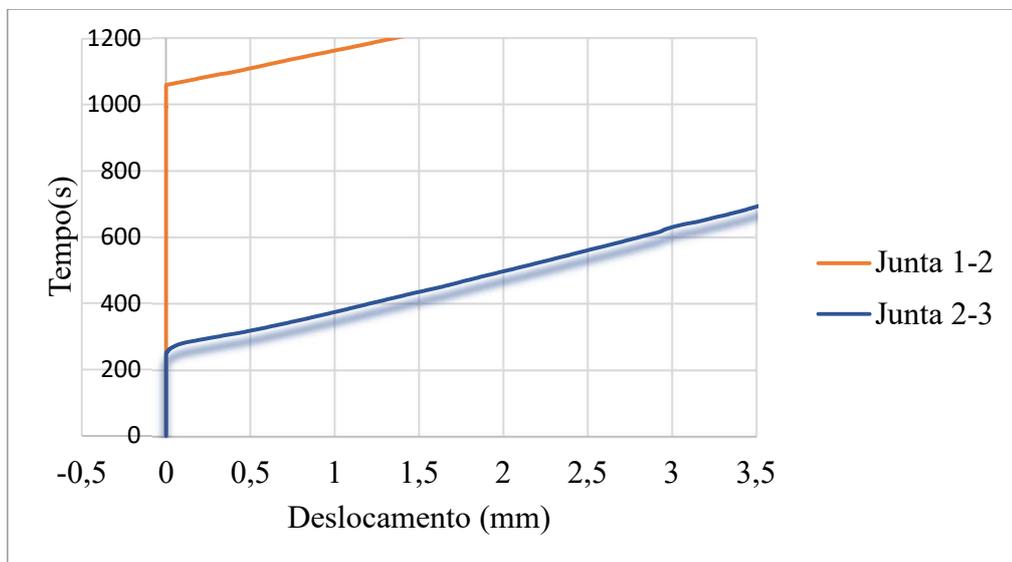
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 91 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP03.



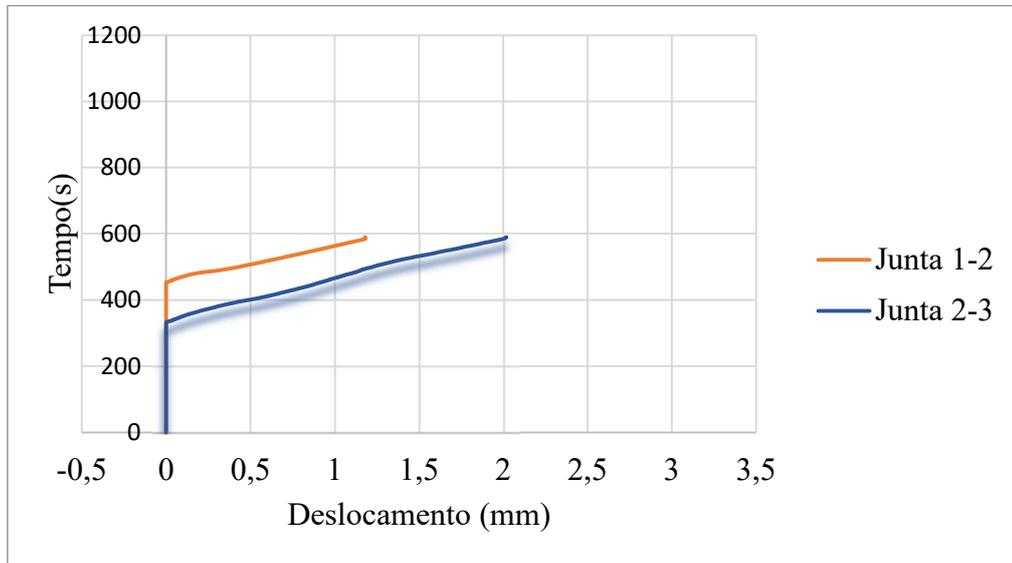
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 92 - Tempo X Deslocamento REF_60Min_CP04.



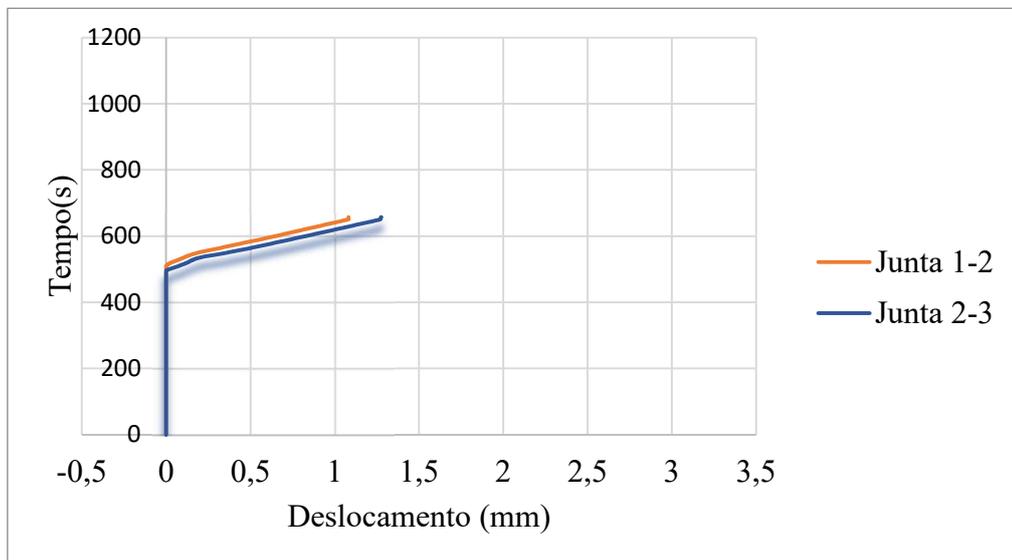
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 93 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP01.



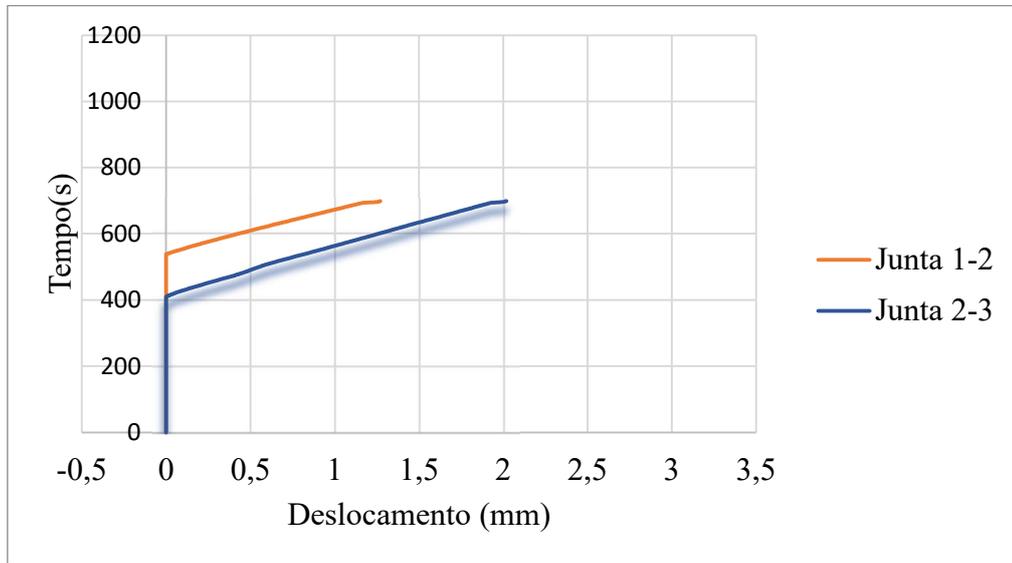
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 94 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP02.



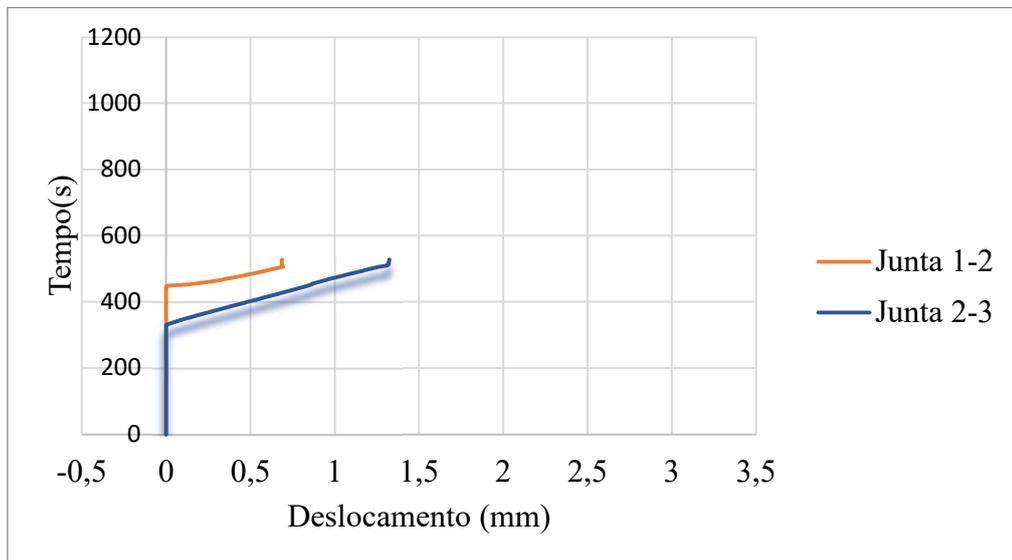
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 95 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP03.



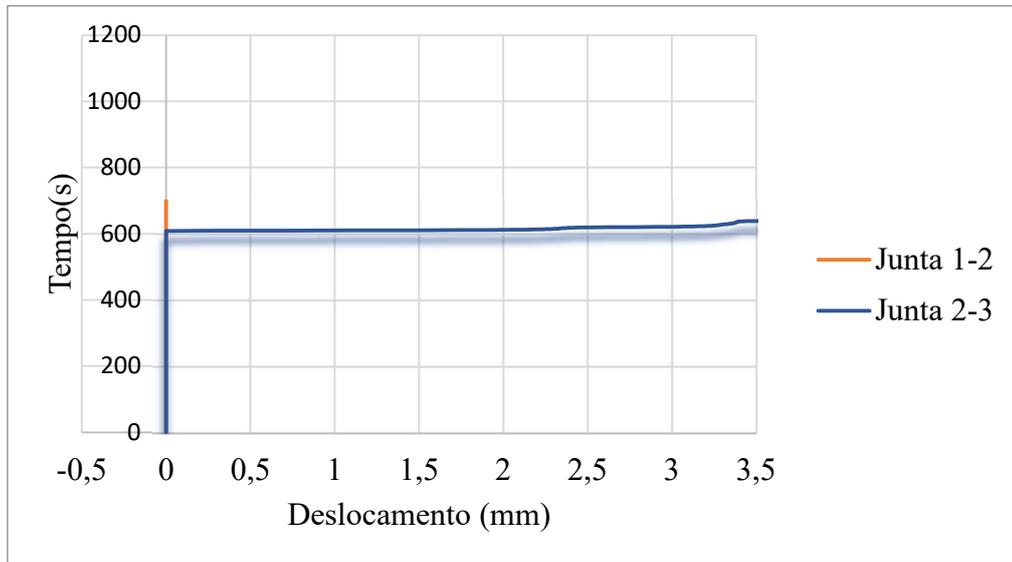
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 96 - Tempo X Deslocamento REF_180Min_CP04.



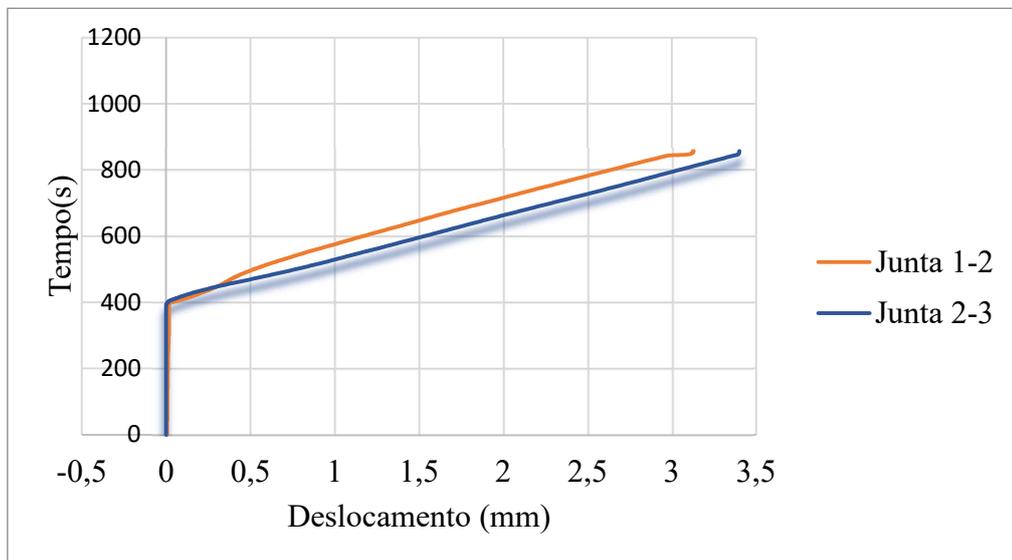
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 97 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP01.



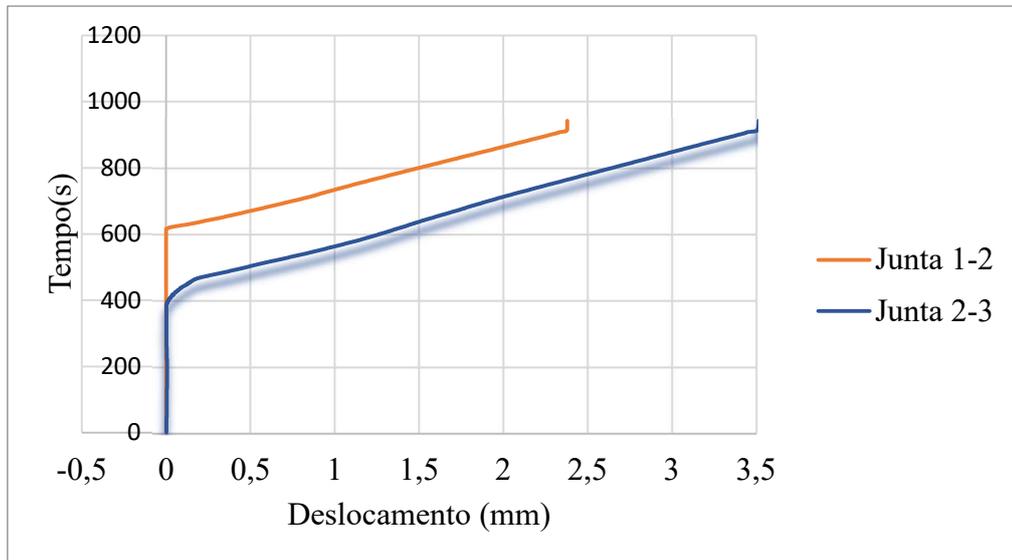
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 98 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP02.



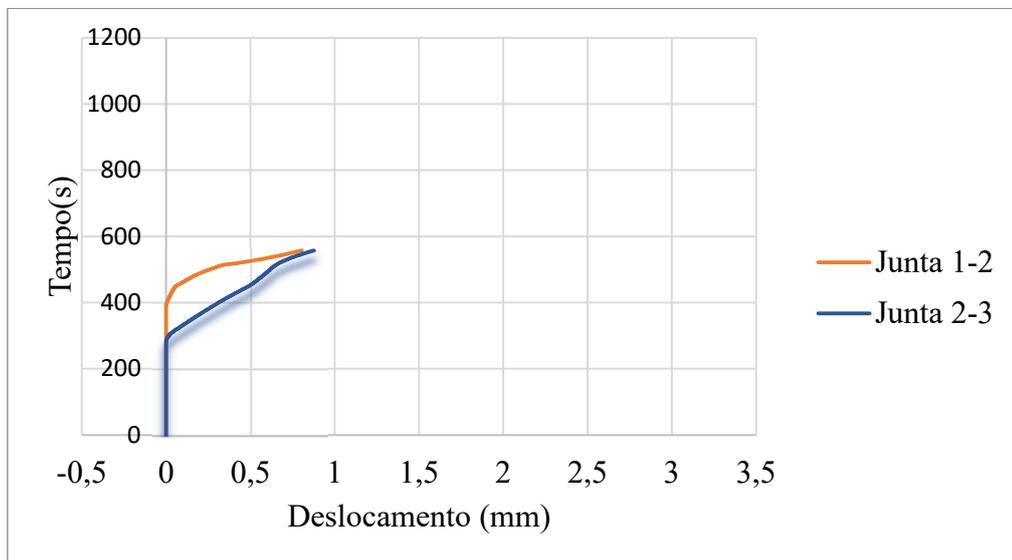
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 99 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP03.



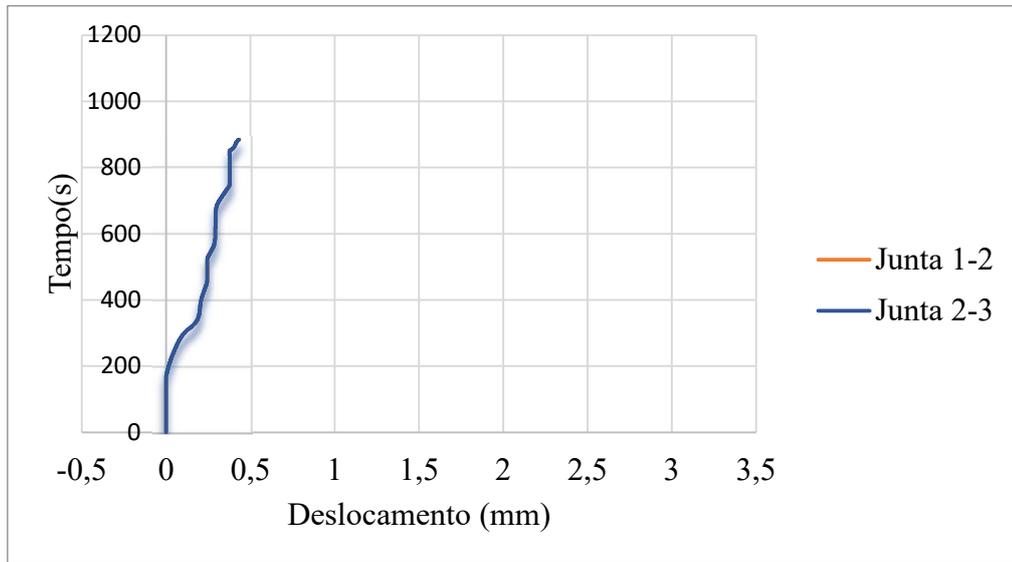
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 100 - Tempo X Deslocamento SCA5_15Min_CP04.



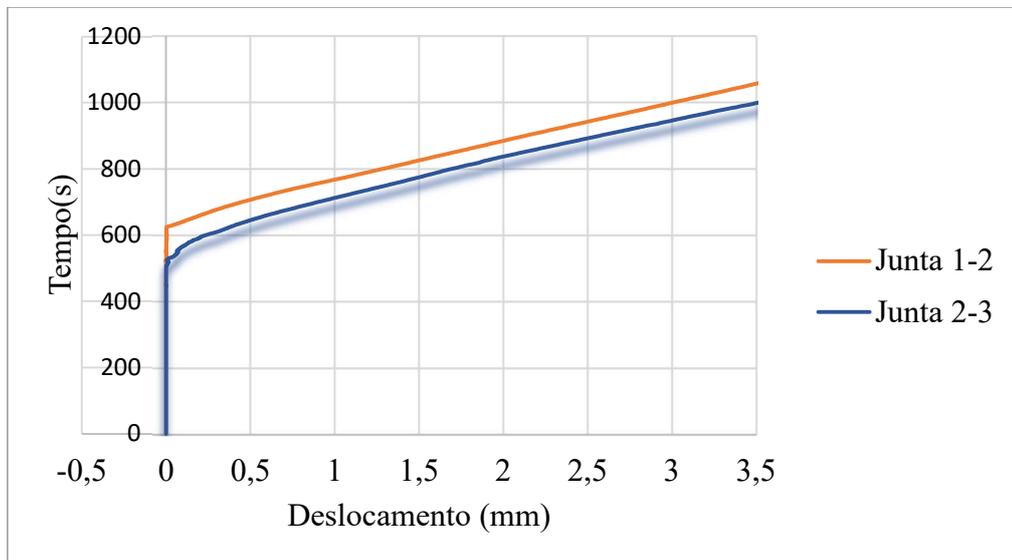
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 101 - Tempo X Deslocamento SCA5_60Min_CP01.



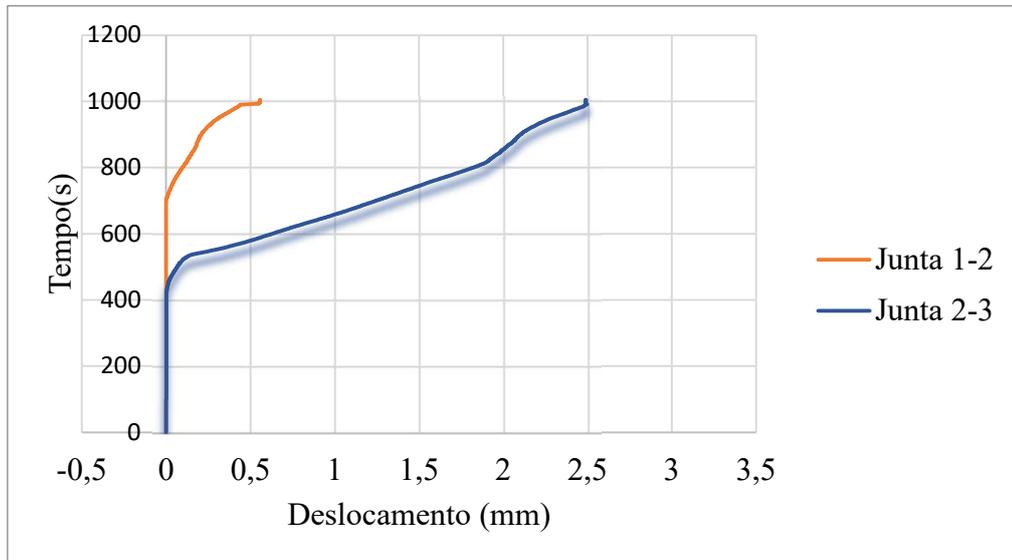
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 102 - Tempo X Deslocamento SCA5_60Min_CP02.



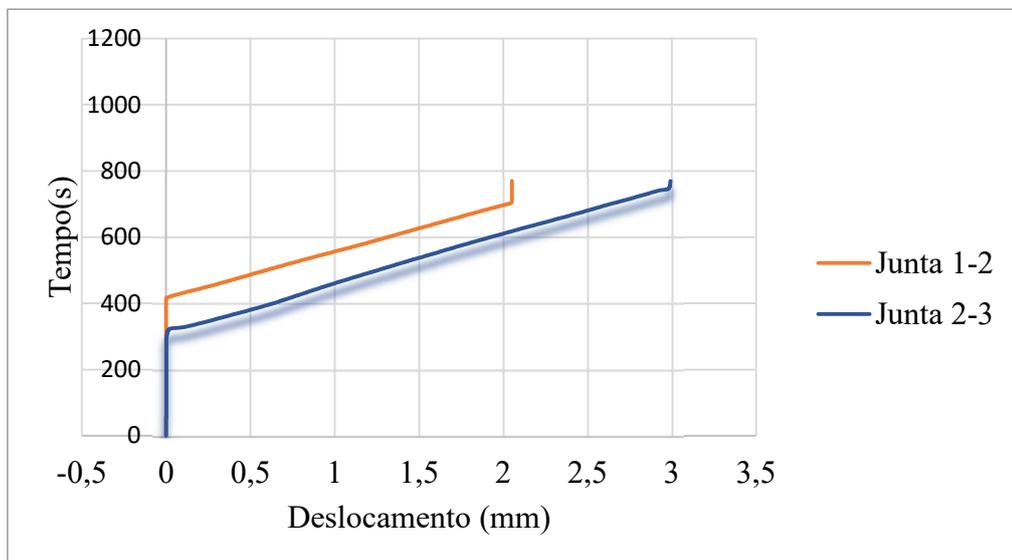
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 103 - Tempo X Deslocamento SCA5_60Min_CP03.



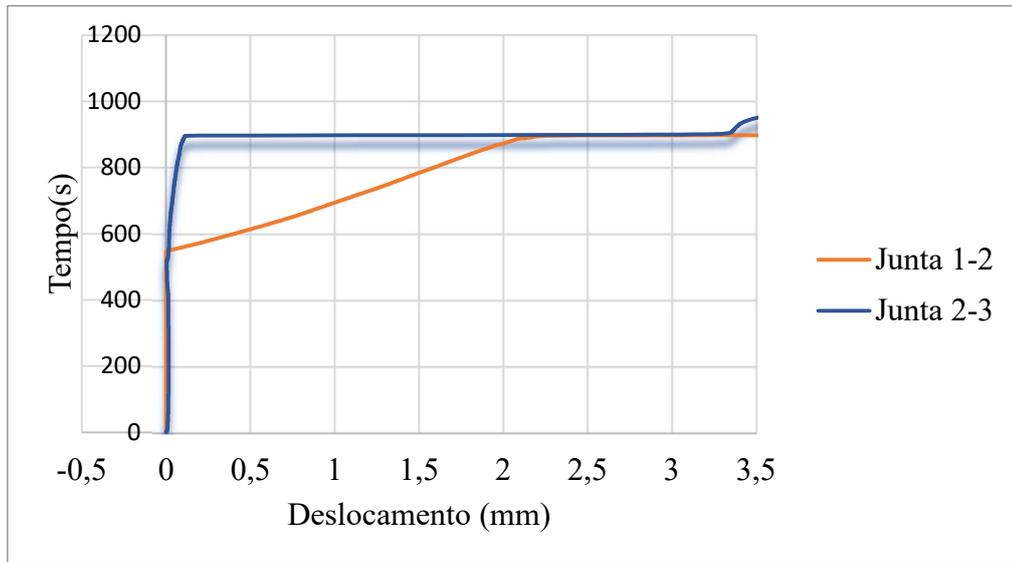
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 104 - Tempo X Deslocamento SCA5_180Min_CP01.



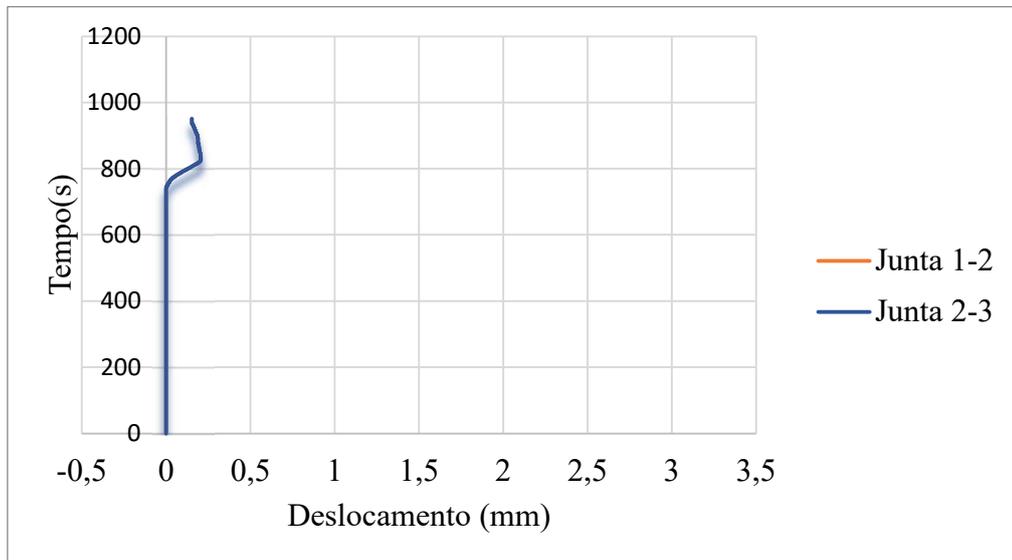
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 105 - Tempo X Deslocamento SCA5_180Min_CP02.



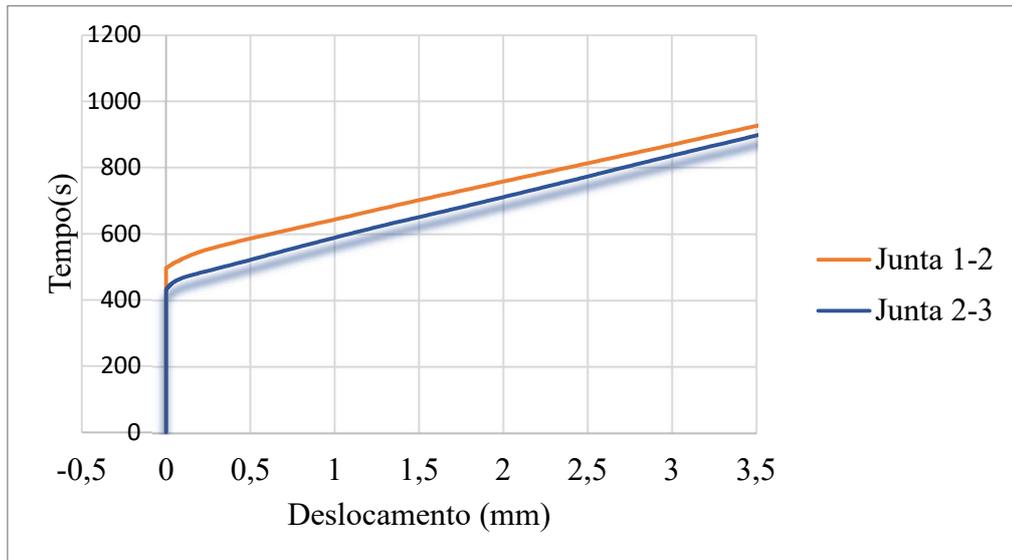
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 106 - Tempo X Deslocamento SCA5_180Min_CP03.



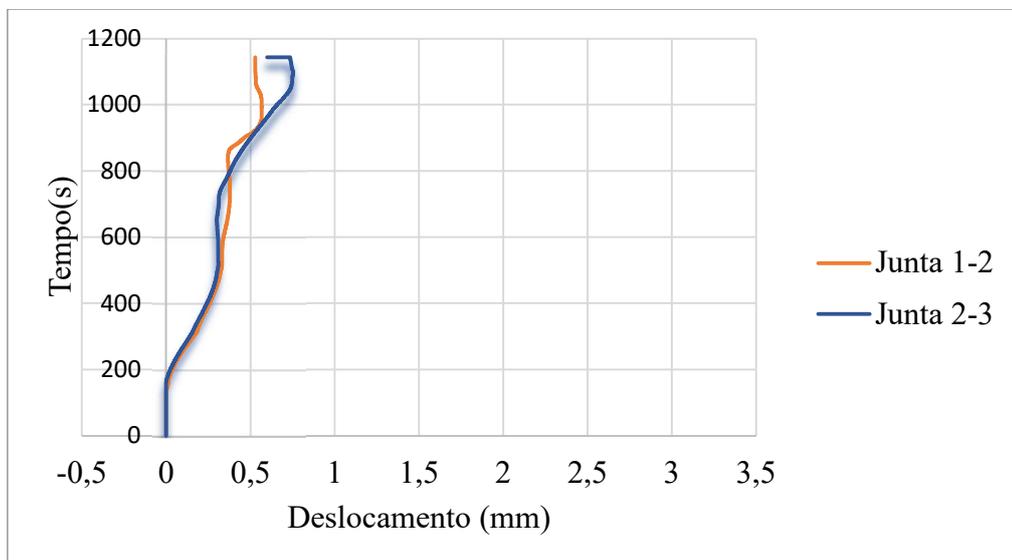
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 107 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP01.



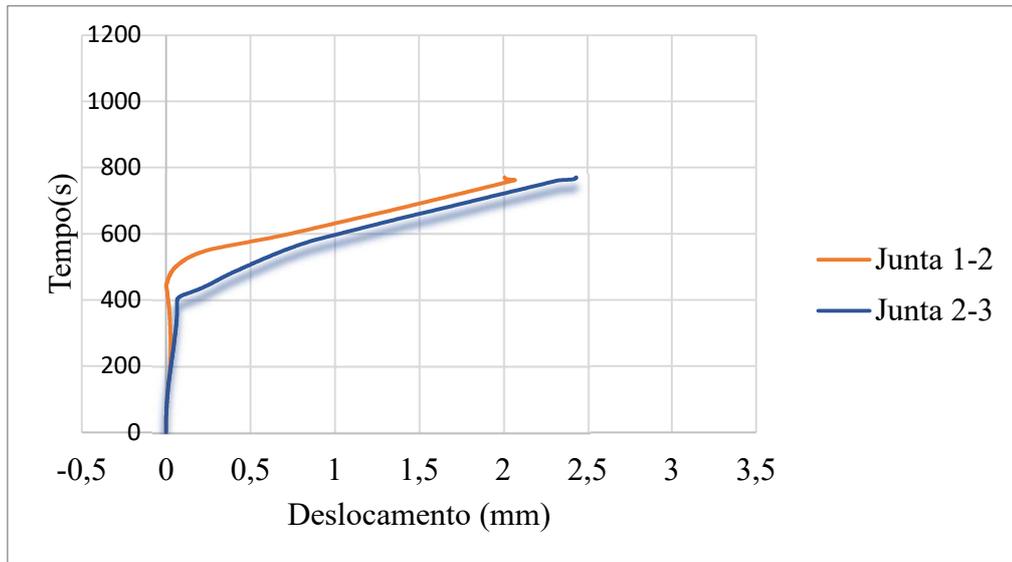
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 108 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP02.



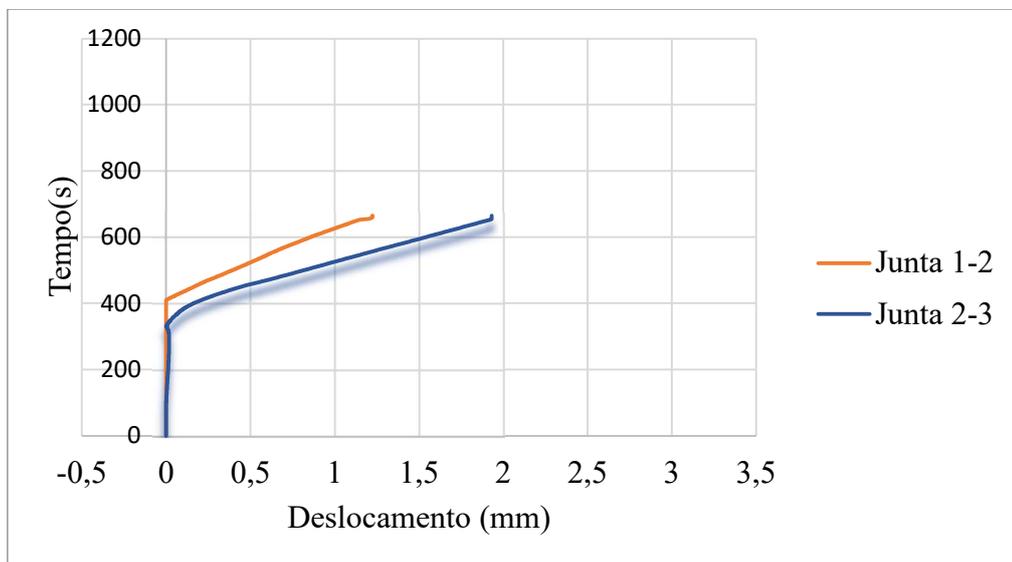
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 109 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP03.



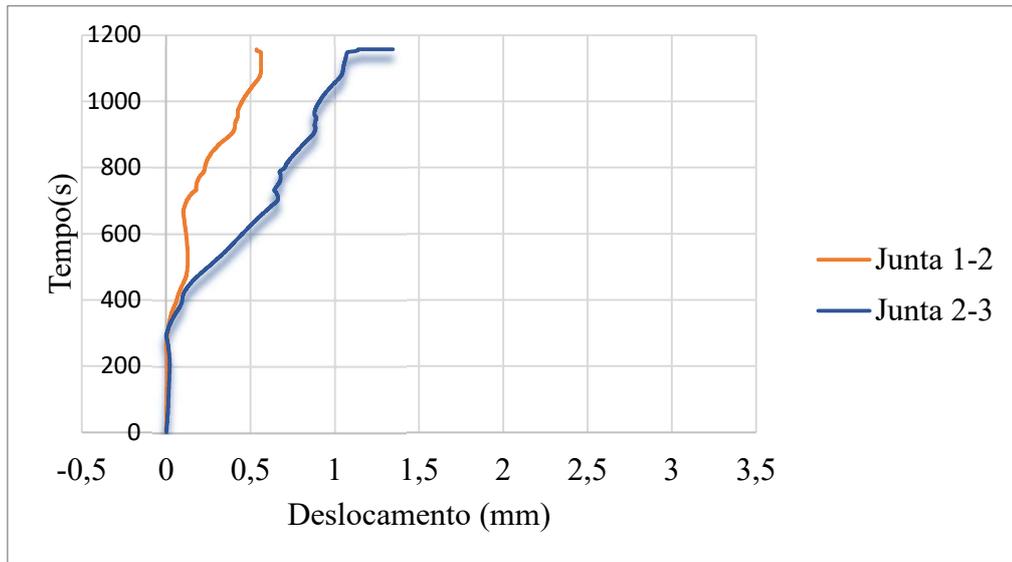
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 110 - Tempo X Deslocamento SCA30_15Min_CP04.



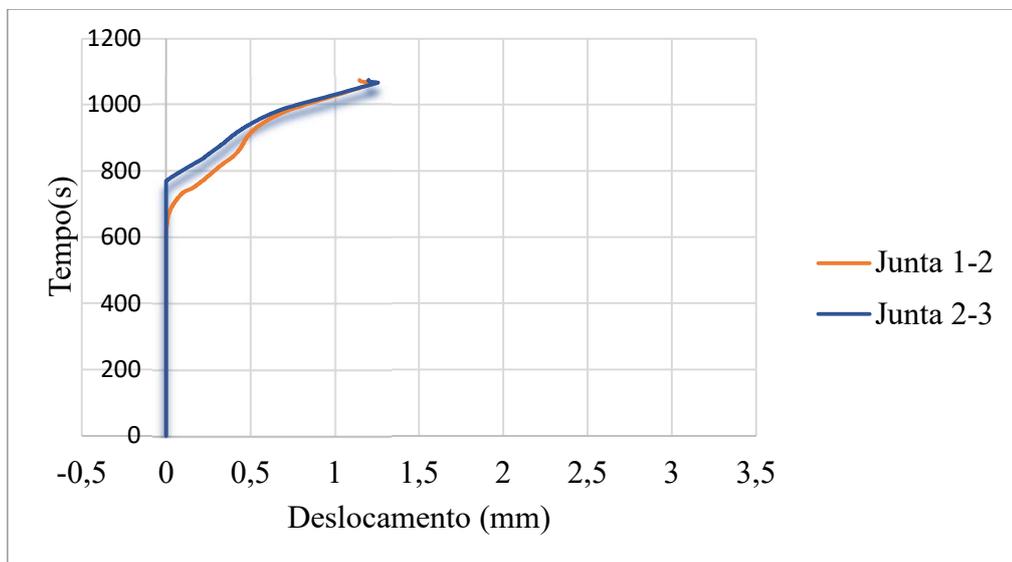
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 111 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP01.



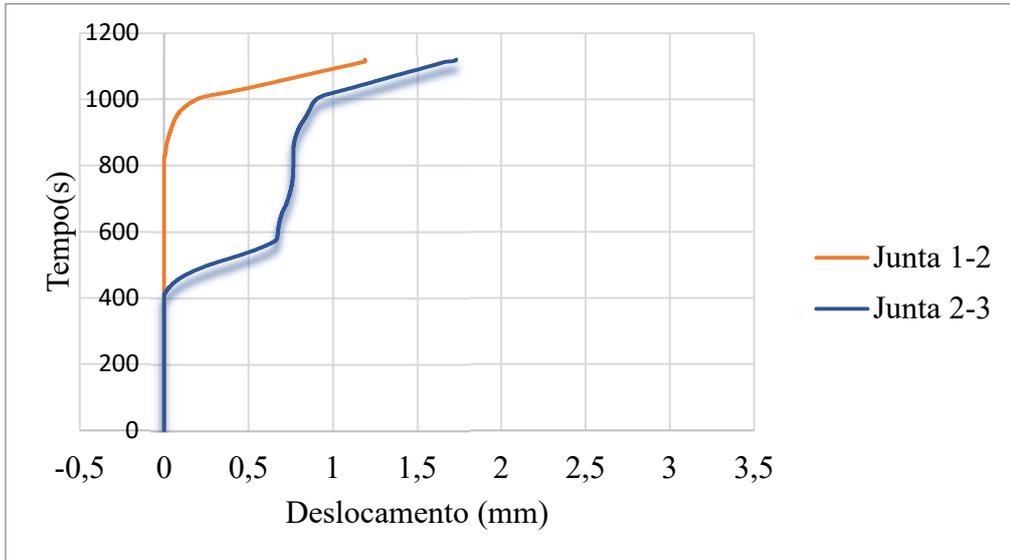
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 112 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP02.



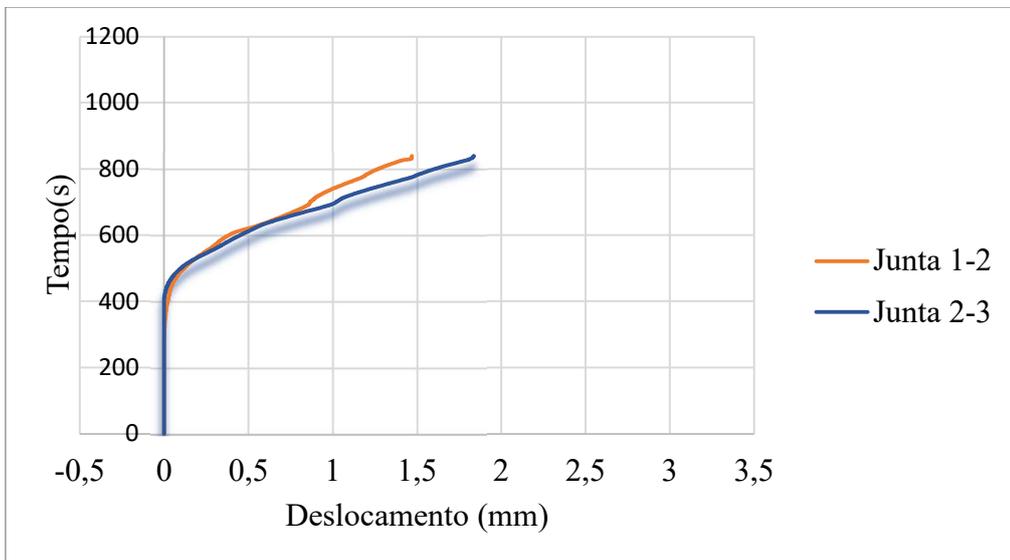
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 113 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP03.



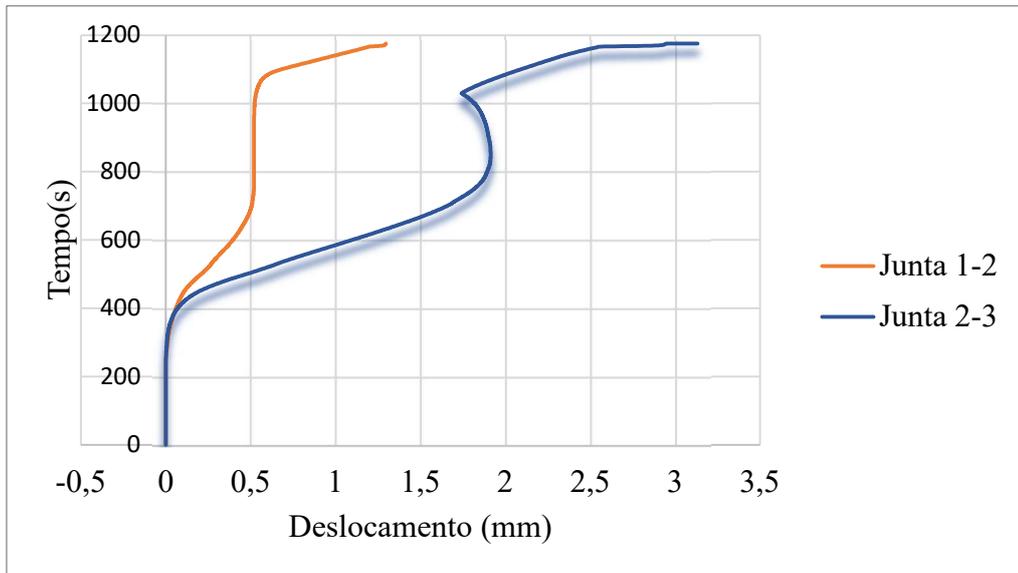
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 114 - Tempo X Deslocamento SCA30_60Min_CP04.



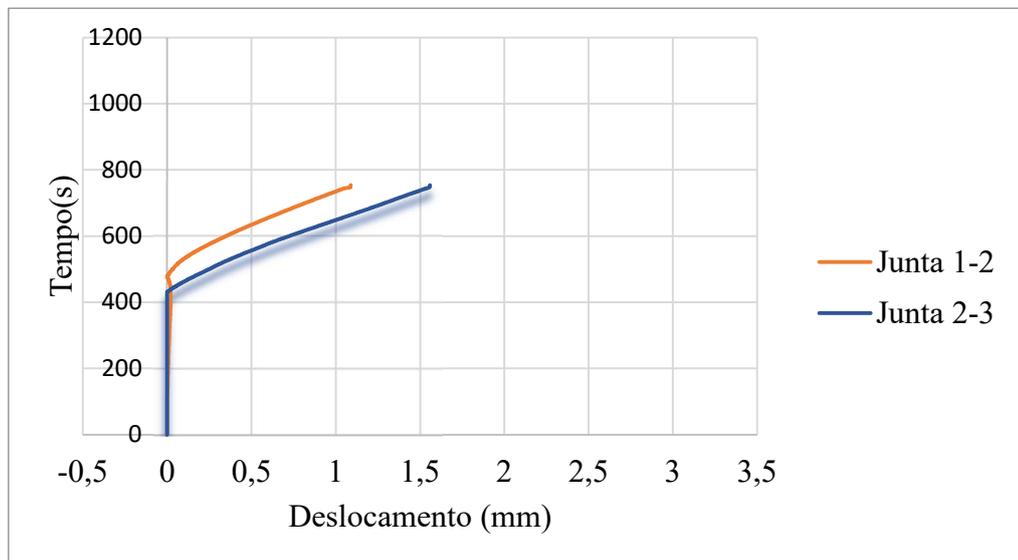
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 115 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP01.



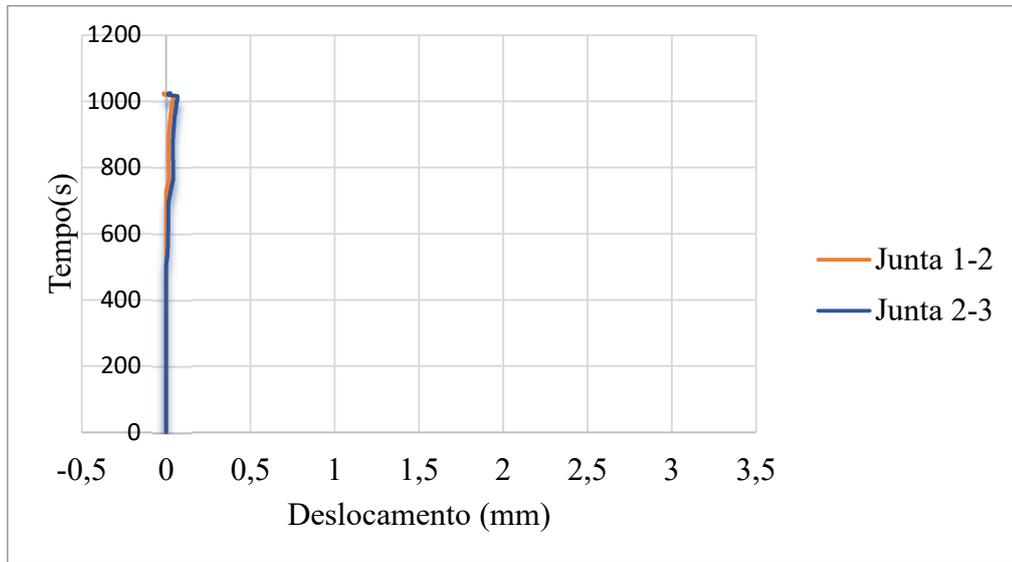
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 116 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP02.



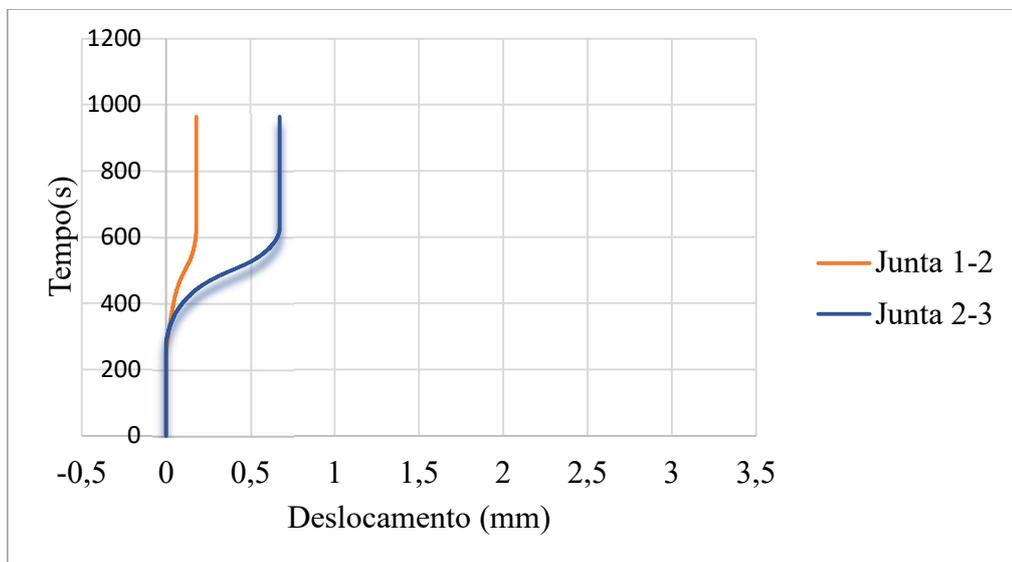
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 117 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP03.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 118 - Tempo X Deslocamento SCA30_180Min_CP04.



Fonte: Elaboração Própria.