

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS – PPGCEM
DOUTORADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

ALINE DEMARCH

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES SUPERFÍCIES DE
REVESTIMENTO CERÂMICO QUANTO AO DESGASTE EM
CONDIÇÕES REAIS DE USO**

CRICÚMA

2024

ALINE DEMARCH

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES SUPERFÍCIES DE
REVESTIMENTO CERÂMICO QUANTO AO DESGASTE EM
CONDIÇÕES REAIS DE USO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elidio Angioletto

Coorientador: Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues

Montedo

CRICIÚMA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

D372e Demarch, Aline.

Estudo do desempenho de diferentes superfícies de revestimento cerâmico quanto ao desgaste em condições reais de uso / Aline Demarch. - 2024. 226 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2024.

Orientação: Elídio Angioletto.

Coorientação: Oscar Rubem Klegues Montedo.

1. Revestimento cerâmico. 2. Revestimento em cerâmica. 3. Rugosidade superficial. 4. Resistência ao escorregamento. 5. Coeficiente de atrito. 6. Desgaste abrasivo. 7. Desgaste erosivo. - I. Título.

CDD 23. ed. 620.14

Bibliotecária Elisângela Just Steiner - CRB 14/1576

Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

Aline Demarch

Estudo do desempenho de diferentes superfícies de revestimento cerâmico quanto ao desgaste em condições reais de uso.

Esta Tese de Doutorado TD foi julgada adequada à obtenção do grau de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais PPGCEM (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC.

Criciúma, SC, 17 de maio de 2024.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



ADRIANO MICHAEL BERNARDIN
Data: 21/05/2024 11:37:33-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin
Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC

Documento assinado digitalmente



SABRINA ARCARO
Data: 23/06/2024 18:21:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a Dr^a Sabrina Arcaro
Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC



Documento assinado digitalmente

Dachamir Hotza
Data: 07/06/2024 16:19:09-0300
CPF: ***.235.039-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Dachamir Hotza
Universidade Federal de Santa Catarina UFSC

SANCHEZ
VILCHES
ENRIQUE JAVIER
- 22541691N

Firmado digitalmente
por SANCHEZ
VILCHES ENRIQUE
JAVIER - 22541691N
Fecha: 2024.05.22
08:08:37 +02'00'

Prof. Dr. Enrique Javier Sánchez Vilches
Universitat Jaume I UJI

Às pessoas especiais em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a todas as pessoas e instituições que contribuíram de maneira significativa para a realização deste trabalho de pesquisa e para a conclusão da minha tese de doutorado.

Agradeço a Deus pela força, pela orientação e pela inspiração divina que me guiaram durante todo esse processo.

Expresso minha gratidão à UNESCO por proporcionar um ambiente acadêmico propício ao desenvolvimento do conhecimento e pelo suporte oferecido ao longo desta jornada acadêmica.

À CAPES, expresso meu sincero agradecimento pelo financiamento concedido da taxa de pesquisa, que viabilizou a realização deste doutorado.

À minha família e amigos, expresso meu profundo apreço pelo apoio incondicional, compreensão e encorajamento ao longo dos anos. Suas palavras de incentivo e amor foram fundamentais para superar os desafios e alcançar este importante marco em minha vida acadêmica.

Aos colegas de trabalho, do Departamento de Tecnologia da Mohawk Brasil, que colaboraram e compartilharam seus conhecimentos, contribuindo para o desenvolvimento desta pesquisa, meu sincero agradecimento. Suas contribuições foram inestimáveis e enriqueceram significativamente o resultado deste trabalho, sem o auxílio de vocês o trabalho não teria sido possível.

À empresa Mohawk Brasil, pelo financiamento desta pesquisa, expresso minha profunda gratidão. Sua confiança e investimento nesta iniciativa demonstram um compromisso genuíno com o avanço da ciência e da tecnologia.

Aos meus estimados orientadores, Elídio Angioletto e Oscar Rubem Klegues Montedo, sou imensamente grata pela orientação dedicada, pelo apoio acadêmico e pelos conselhos valiosos ao longo deste percurso. Sua expertise e liderança foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) e em especial à Secretária Vivian Souza, pela excelência acadêmica e pelo suporte administrativo indispensável durante todo o processo.

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de cada um de vocês. Obrigada!

“Ciência é uma equação diferencial. Religião é a condição de contorno.”

Alan Turing

RESUMO

O setor de revestimentos cerâmicos experimentou avanços tecnológicos significativos, abrangendo estética, design e técnicas de produção. No entanto, o desempenho real dos revestimentos, especialmente em pisos, é uma preocupação crítica que demanda avaliações precisas e métodos de controle eficazes. Este estudo propõe investigar métodos para quantificar de forma confiável as características superficiais dos revestimentos cerâmicos e seu desempenho ao longo do tempo. Os objetivos delineados abrangem a avaliação da evolução de características técnicas das superfícies cerâmicas, com 9 diferentes acabamentos, o comportamento em condições reais de uso, a comparação de métodos laboratoriais de desgaste e o desenvolvimento de um sistema de controle fabril para a resistência ao escorregamento. O procedimento experimental compreende cinco etapas distintas, desde a seleção dos revestimentos, testes laboratoriais, testes *in loco*, até a proposição de um sistema de controle fabril. Os resultados indicam que a perda de massa ocorre de maneira linear e a perda de brilho segue um padrão exponencial. Observou-se que superfícies inicialmente lisas tendem a aumentar sua rugosidade, enquanto as mais rugosas se alisam com o tempo. Comparando condições de laboratório com situações reais, verificou-se que os testes laboratoriais são mais intensos, podendo um ciclo equivaler ao tráfego de centenas ou milhares de pessoas. A porosidade das superfícies brilhantes desempenha papel importante na durabilidade, com superfícies não porosas aguentando até 479 mil pessoas e as porosas até 110 mil antes de mostrarem alterações visuais. O estudo apresentou uma ferramenta gráfica que correlaciona o número de giros nos testes de abrasão com o número de pessoas transitando, facilitando a previsão do desgaste. Equações preditivas foram introduzidas para avaliar o impacto do tráfego humano, permitindo uma análise quantitativa da durabilidade dos produtos e otimizando a seleção de materiais. A durabilidade contra escorregamentos aumenta com um Rz inicial mais alto. Para manter a segurança contra escorregamento e atendimento a diferentes métodos de medição dessa característica, um Rz de 25 μm é recomendado, baseando-se em um nível de confiança de 95%.

Palavras-chave: Revestimento Cerâmico, Desgaste, Desempenho

ABSTRACT

The ceramic tile sector has experienced significant technological advancements, encompassing aesthetics, design, and production techniques. However, the actual performance of the tiles, especially on floors, is a critical concern that demands accurate evaluations and effective control methods. This study proposes to investigate methods to reliably quantify the surface characteristics of ceramic tiles and their performance over time. The outlined objectives encompass the evaluation of the evolution of the technical characteristics of ceramic surfaces, including nine different finishes, their performance under real usage conditions, comparison of laboratory wear methods, and the development of a factory control system for slip resistance. The experimental procedure comprises five distinct stages, from the selection of tiles, laboratory tests, in situ tests, to the proposition of a factory control system. The results indicate that mass loss occurs linearly and gloss loss follows an exponential pattern. It was observed that initially smooth surfaces tend to increase in roughness, while rougher surfaces smooth out over time. Comparing laboratory conditions with real-world situations, it was found that laboratory tests are more intense, with a single cycle potentially equivalent to the traffic of hundreds or thousands of people. The porosity of glossy surfaces plays an important role in durability, with non-porous surfaces withstanding up to 479,000 people and porous ones up to 110,000 before showing visual changes. The study presented a graphical tool that correlates the number of cycles in abrasion tests with the number of people walking over the surface, facilitating the prediction of wear. Innovative predictive equations were introduced to evaluate the impact of human traffic, enabling a quantitative analysis of product durability and optimizing material selection. Durability against slippage increases with a higher initial Rz. To maintain safety against slippage and to comply with different methods of measuring this characteristic, a Rz of 25 μm is recommended, based on a 95% confidence level.

Keywords: Ceramic Tile, Wear, Performance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Abrasímetro.....	34
Figura 2 – Representação esquemática do Conjunto Amostra + Suporte + Material abrasivo.....	34
Figura 3 – Equipamento de Abrasão Profunda	36
Figura 4 – Suportes de teste	37
Figura 5 – Aparato para reproduzir riscos	40
Figura 6 – Modelo de potencial de deslizamento	46
Figura 7 – Planejamento Experimental	48
Figura 8 – Molde para medição de Brilho.....	52
Figura 9 – Parâmetro de Rugosidade	53
Figura 10 – Molde para medição de rugosidade	53
Figura 11 – Molde para medição de brilho	57
Figura 12 – Molde para medição de rugosidade	58
Figura 13 – Área de Teste.....	61
Figura 14 – Projeto do suporte de madeira	61
Figura 15 – Especificações do suporte	62
Figura 16 – Protótipo: Suporte + contrapiso + revestimentos	63
Figura 17 – Disposição dos protótipos	63
Figura 18 – Mapa de assentamento.....	64
Figura 19 – Vista lateral da área de teste.....	64
Figura 20 – Protótipos assentados.....	65
Figura 21 – Protótipos assentados na área de teste.....	65
Figura 22 – MEV – Porcelanato Esmaltado Polido.....	69
Figura 23 – MEV – Placa Cerâmica Brilhante	69
Figura 24 – MEV – Porcelanato Granilhado.....	70
Figura 25 – Dureza Vickers dos revestimentos avaliados.....	73
Figura 26 – Dureza Mohs dos revestimentos avaliados.....	74
Figura 27 – Perda de massa dos revestimentos avaliados - método ISO:.....	76
Figura 28 – Perda de massa dos revestimentos avaliados – método UNE:.....	77
Figura 29 – Coeficientes angulares ISO x UNE	80
Figura 30 – Relação Dureza x Coeficientes Angulares	81

Figura 31 – Comportamento do brilho dos revestimentos avaliados - método ISO:..	83
Figura 32 – Comportamento do brilho dos revestimentos avaliados – método UNE:	84
Figura 33 – Comportamento do brilho dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	85
Figura 34 – Análise visual das superfícies brilhantes.....	86
Figura 35 – Comportamento do brilho relativo dos revestimentos avaliados - método ISO:.....	90
Figura 36 – Comportamento de brilho relativo dos revestimentos avaliados - método UNE:.....	92
Figura 37 – Comportamento de brilho relativo dos revestimentos avaliados – Condição real de uso:.....	93
Figura 38 – Comportamento de Rz dos revestimentos avaliados – método ISO:	96
Figura 39 – Comportamento de Rz dos revestimentos avaliados – método UNE:.....	97
Figura 40 – Comportamento de Rz dos revestimentos avaliados – Condição real de uso:	98
Figura 41 – Comportamento Rz relativo dos revestimentos avaliados – método ISO:	100
Figura 42 – Comportamento Rz relativo dos revestimentos avaliados – método UNE:	101
Figura 43 – Comportamento Rz relativo dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	101
Figura 44 – Área desgastada dos revestimentos avaliados – método ISO:	105
Figura 45 – Área Desgastada dos revestimentos avaliados – método UNE:	105
Figura 46 – Área Desgastada dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	106
Figura 47 – Comportamento do COF dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	109
Figura 48 – Comportamento do COF relativo dos revestimentos avaliados – condição real de uso:.....	110
Figura 49 – Comportamento do DCOF dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	111
Figura 50 – Comportamento do DCOF relativo dos revestimentos avaliados – condição real de uso:.....	112

Figura 51 – Comportamento do SRV dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	113
Figura 52 – Comportamento do SRV dos revestimentos avaliados – condição real de uso:	114
Figura 53 – Relação entre brilho e Rz relativos – método UNE:	115
Figura 54 – Relação entre brilho e Rz relativos – método ISO:.....	115
Figura 55 – Evolução do brilho relativo por grupo – método ISO: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	118
Figura 56 – Evolução do brilho relativo por grupo – método UNE: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	118
Figura 57 – Evolução do brilho relativo por grupo – condição real de uso: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.	119
Figura 58 – Evolução do Rz relativo por grupo – método ISO: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	121
Figura 59 – Evolução do Rz relativo por grupo – método UNE: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	122
Figura 60 – Evolução do Rz relativo por grupo – condição real de uso: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	122
Figura 61 – Análise de MEV da superfície do grupo 2	123
Figura 62 – Análise de MEV da superfície do grupo 5	124
Figura 63 – Evolução da área de desgaste por grupo – método ISO: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	126
Figura 64 – Evolução da área de desgaste por grupo – método UNE: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.....	126
Figura 65 – Evolução da área de desgaste por grupo – condição real de uso: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.	127
Figura 66 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 1: — Real, — UNE, — ISO	129
Figura 67 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 2: — Real, — UNE, — ISO	130
Figura 68 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 3: — Real, — UNE, — ISO	131

Figura 69 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 4: — Real, — UNE, — ISO	132
Figura 70 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 5: — Real, — UNE, — ISO	133
Figura 71 – Evolução de Rz para superfícies rugosas: a) 25µm, b) 30µm, c) 35µm, d)40µm.....	135
Figura 72 – Relação entre Rz medido em laboratório e fábrica	141
Figura 73 – Coeficiente de variação das medidas de Rz	143
Figura 74 – Relação Rz e Coeficiente de atrito DS: Δ condição seca; O condição úmida	145
Figura 75 – Relação Rz e Coeficiente de atrito BOT: Δ condição seca; O condição úmida	145
Figura 76 – Relação Rz e Coeficiente de atrito SRV: Δ condição seca; O condição úmida	146
Figura 77 – Artigo Publicado do periódico Ceramics International	165
Figura 78 – Artigo Publicado do periódico Qualicer	165
Figura 79 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – método ISO	166
Figura 80 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural - método ISO ...	166
Figura 81 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO	167
Figura 82 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO....	167
Figura 83 – Perda de Massa Placa cerâmica brilhante - método ISO.....	168
Figura 84 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado Acetinado - método ISO	168
Figura 85 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura - método ISO	169
Figura 86 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado granilhado - método ISO	169
Figura 87 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método ISO	170
Figura 88 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método ISO	171
Figura 89 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural - método ISO	171
Figura 90 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO	172
Figura 91 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Polido - método ISO	172

Figura 92 – Perda de Brilho Placa cerâmica brilhante - método ISO	173
Figura 93 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Acetinado - método ISO	173
Figura 94 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura - método ISO.	174
Figura 95 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado granilhado - método ISO.....	174
Figura 96 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método ISO	175
Figura 97 – Comportamento Rz – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método ISO	176
Figura 98 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Natural - método ISO	176
Figura 99 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO	177
Figura 100 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Polido - método ISO..	177
Figura 101 – Comportamento RZ – Placa cerâmica brilhante - método ISO	178
Figura 102 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Acetinado - método ISO	178
Figura 103 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura - método ISO	179
Figura 104 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado granilhado - método ISO	179
Figura 105 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método ISO	180
Figura 106 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – método UNE.....	181
Figura 107 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural - método UNE	181
Figura 108 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Polido - método UNE .	182
Figura 109 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado Polido - método UNE.....	182
Figura 110 – Perda de Massa Placa cerâmica brilhante - método UNE	183
Figura 111 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado Acetinado - método UNE...	183
Figura 112 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura - método UNE	184
Figura 113 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado granilhado - método UNE ..	184

Figura 114 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método UNE.....	185
Figura 115 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método UNE.....	186
Figura 116 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural - método UNE ..	186
Figura 117 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Polido - método UNE ..	187
Figura 118 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Polido - método UNE	187
Figura 119 – Perda de Brilho Placa cerâmica brilhante - método UNE.....	188
Figura 120 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Acetinado - método UNE	188
Figura 121 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura - método UNE	189
Figura 122 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado granilhado - método UNE ...	189
Figura 123 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método UNE.....	190
Figura 124 – Comportamento Rz – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método UNE.....	191
Figura 125 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Natural - método UNE	191
Figura 126 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Polido - método UNE	192
Figura 127 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Polido - método UNE	192
Figura 128 – Comportamento RZ – Placa cerâmica brilhante - método UNE	193
Figura 129 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Acetinado - método UNE	193
Figura 130 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura - método UNE.....	194
Figura 131 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado granilhado - método UNE	194
Figura 132 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método UNE.....	195
Figura 133 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real	196
Figura 134 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real	196

Figura 135 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real..	197
Figura 136 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Polido - condição real	197
Figura 137 – Perda de Brilho Placa cerâmica brilhante - condição real	198
Figura 138 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real ...	198
Figura 139 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real	199
Figura 140 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real ..	199
Figura 141 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real	200
Figura 142 – Comportamento Rz – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real	201
Figura 143 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real	201
Figura 144 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real	202
Figura 145 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real	202
Figura 146 – Comportamento RZ – Placa cerâmica brilhante - condição real	203
Figura 147 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real	203
Figura 148 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real	204
Figura 149 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real	204
Figura 150 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real	205
Figura 151 – Comportamento COF – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real	206
Figura 152 – Comportamento COF – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real	206
Figura 153 – Comportamento COF – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real	207
Figura 154 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real	207

Figura 155 – Comportamento COF – Placa cerâmica brilhante - condição real	208
Figura 156 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real	208
Figura 157 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real	209
Figura 158 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real	209
Figura 159 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real	210
Figura 160 – Comportamento DCOF – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real	211
Figura 161 – Comportamento DCOF – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real	211
Figura 162 – Comportamento DCOF – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real	212
Figura 163 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real	212
Figura 164 – Comportamento DCOF – Placa cerâmica brilhante - condição real	213
Figura 165 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real	213
Figura 166 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real	214
Figura 167 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real	214
Figura 168 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real	215
Figura 169 – Comportamento SRV – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real	216
Figura 170 – Comportamento SRV – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real	216
Figura 171 – Comportamento SRV – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real	217

Figura 172 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real	217
Figura 173 – Comportamento SRV – Placa cerâmica brilhante - condição real.....	218
Figura 174 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real	218
Figura 175 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real	219
Figura 176 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real	219
Figura 177 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real	220
Figura 178 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Não Esmaltado Natural..	221
Figura 179 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Não Esmaltado Natural Decorado.....	221
Figura 180 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Polido.....	221
Figura 181 – Análise de MEV da Superfície Placa Cerâmica Brilhante	222
Figura 182 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Acetinado.....	222
Figura 183 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Com cobertura	222
Figura 184 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Granilhado ...	222
Figura 185 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Com cobertura + Relevo	223
Figura 186 – Análise visual das superfícies Naturais	224
Figura 187 – Análise visual das superfícies Brilhantes	224
Figura 188 – Análise visual da superfície Acetinada	224
Figura 189 – Análise visual das Superfícies rugosas	225

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de PEI	35
Tabela 2 – Quantidade de Quartzos x Número de giros	36
Tabela 3 – Classificação	37
Tabela 4 – Parâmetros da Proposta Italiana	38
Tabela 5 – Potencial de escorregamento de acordo com a rugosidade Rz	45
Tabela 6 – Coeficiente R^2	54
Tabela 7 – Coeficiente de Pearson	54
Tabela 8 – Etapas de análise da Área de testes	66
Tabela 9 – Etapas de análise de MEV da Área de testes	67
Tabela 10 – Correlação entre resultados de dureza	74
Tabela 11 – Equação de perda de massa – método ISO	78
Tabela 12 – Equação de perda de massa – método UNE	79
Tabela 13 – Equação de comportamento de brilho – método ISO	87
Tabela 14 – Equação de comportamento de brilho – método UNE	88
Tabela 15 – Equação de comportamento de brilho – condição real de uso	89
Tabela 16 – Coeficiente “k” da equação de comportamento de brilho	94
Tabela 17 – Equação do comportamento de Rz - método ISO	99
Tabela 18 – Equação do comportamento de Rz – método UNE	99
Tabela 19 – Equação do comportamento de Rz – condição real de uso	100
Tabela 20 – Coeficiente angular “a” da equação de comportamento de Rz	102
Tabela 21 – Coeficiente angular “a” da equação de área desgastada	107
Tabela 22 – Coeficiente “k” da equação de comportamento de brilho por grupo	120
Tabela 23 – Coeficiente angular “a” da equação de comportamento de Rz por grupo	125
Tabela 24 – Coeficiente angular “a” da equação de área desgastada por grupo	128
Tabela 25 – Nº pessoas e giros para perda de 13% de brilho	134
Tabela 26 – Nº pessoas equivalente a cada classe de abrasão - Brilho	137
Tabela 27 – Nº pessoas equivalente a cada classe de abrasão - Rz	137
Tabela 28 – Nº pessoas equivalente a cada classe de abrasão – Área desgastada	137
Tabela 29 – Equação de relação: Número de giros x Número de pessoas – método ISO	139

Tabela 30 – Equação de relação: Número de giros x Número de pessoas – método UNE.....	139
Tabela 31 - Equação e R^2 da relação entre Rz e Atrito para condições úmidas.	146
Tabela 32 – Matriz de Correlação – Rz calculado a partir das equações da Tabela 31 considerando o valor mínimo de segurança para cada método avaliado.....	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS: Standards Australia

ASTM: American Society for Testing and Materials

BPN: Número do Pêndulo Britânico

COF: Coeficiente e atrito dinâmico

DCOF: coeficiente de atrito dinâmico (ASTM)

DS: Dynamic Slip

ISO: International Organization for Standardization

Nº: Número

MEV: microscopia eletrônica de varredura

NBR: Normas Brasileiras Regulamentadoras

PEI: Porcelain Enamel Institute

R²: Coeficiente de Determinação

Rz: Rugosidade parcial definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média) existentes dentro de um comprimento de amostragem.

SCOF: coeficiente de atrito estático

SRV: Slip Resistance Value

TC: Comitê Técnico

UB: unidades de brilho

UNE: Spanish Association for Standardization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	26
1.1 OBJETIVOS	28
1.1.1 Objetivo geral	28
1.1.2 Objetivos específicos.....	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 REVESTIMENTOS CERÂMICOS PARA CHÃO	29
2.2 DESGASTE	30
2.2.1 Desgaste de Pisos.....	31
2.2.2 Desgaste abrasivo.....	33
2.2.3 Padronização / Normatização.....	33
2.3 DUREZA DE SUPERFÍCIES CERÂMICAS.....	39
2.3.1 Padronização / Normatização.....	39
2.4 COEFICIENTE DE ATRITO DE PISOS	41
2.4.1 Padronização / Normatização.....	42
2.4.2 Rugosidade.....	43
2.4.3 Ondulação.....	45
2.5 ESCORREGAMENTO EM PISOS	46
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	48
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1.1 Microdureza Vickers.....	50
3.1.2 Dureza Mohs	50
3.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura	50
3.2. EVOLUÇÃO DO DESGASTE.....	51
3.3 DESGASTE EM PROTÓTIPOS	55
3.4 COMPARATIVO DE DESGASTE: PROTÓTIPOS X LABORATÓRIO.....	67

3.5 PROPOSTA PARA MELHORIA DOS CONTROLES FABRIS	71
3.5.1 Padrão de Rz.....	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1 ANÁLISE DO DESGASTE LABORATORIAL E REAL	75
4.1.1 Análise de perda de massa	75
4.1.2 Evolução do brilho	81
4.1.3 Evolução de Rz.....	95
4.1.4 Análise de área removida	104
4.1.5 Análise de COF	108
4.1.6 Análise de DCOF	110
4.1.7 Análise de SRV	112
4.2 RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS	115
4.3 GRUPOS DE ANÁLISE.....	117
4.3.1 Evolução do brilho por grupos	117
4.3.2 Evolução do Rz por grupos.....	121
4.3.3 Evolução da área de desgaste por grupos	125
4.4 RELAÇÃO GIROS X Nº PESSOAS	128
4.4.1 Análise de brilho	133
4.4.2 Análise de rugosidade	135
4.4.3 Análise das Classes de PEI.....	136
4.4.4 Equações de correlação	138
4.5 IMPLANTAÇÃO DE CONTROLES FABRIS.....	141
4.5.1 Variabilidade de medição	142
4.5.2 Definição dos padrões de Rz	144
5 CONCLUSÃO	149
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	152
REFERÊNCIAS.....	153

ANEXOS	164
ANEXO A – ARTIGOS PUBLICADOS	165
ANEXO B – GRÁFICOS DE PERDA DE MASSA INDIVIDUAIS – NORMA ISO... 166	166
ANEXO C – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE BRILHO INDIVIDUAIS – NORMA ISO	171
ANEXO D – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE RZ INDIVIDUAIS – NORMA ISO ... 176	176
ANEXO E – GRÁFICOS DE PERDA DE MASSA INDIVIDUAIS – NORMA UNE . 181	181
ANEXO F – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE BRILHO INDIVIDUAIS – NORMA UNE	186
ANEXO G – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE RZ INDIVIDUAIS – NORMA UNE . 191	191
ANEXO H – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE BRILHO INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL	196
ANEXO I – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE RZ INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL	201
ANEXO J – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE COF INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL	206
ANEXO K – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE DCOF INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL	211
ANEXO L – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE SRV INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL	216
ANEXO M – MICROGRAFIAS.....	221
ANEXO N – IMAGENS DAS SUPERFÍCIES DESGASTADAS EM CONDIÇÃO REAL	224

1 INTRODUÇÃO

O setor de revestimentos cerâmicos passou por avanços tecnológicos significativos, tanto em termos de estética e *design*, quanto em técnicas de produção e desempenho técnico dos produtos.

Os revestimentos cerâmicos são materiais versáteis que podem ser utilizados em uma variedade de locais devido às suas amplas possibilidades de aplicação. No entanto, quando se trata do revestimento de pisos, é uma situação crítica que exige um bom desempenho do produto e garantias do fabricante em relação a várias características técnicas.

Os revestimentos cerâmicos de piso devem atender a algumas características técnicas padronizadas, como classificação quanto à abrasão superficial, atualmente definida pela Norma NBR ISO 13006 por meio da classe de PEI. No entanto, muitos estudos, como o desenvolvido por Silva *et al.* (2020), mostram que esse tipo de teste/característica não reflete o desempenho real do produto ao longo do tempo de uso.

Outros testes, como a dureza Mohs, especificada pelas normas NBR 13818 (1997), que foi cancelada, e ASTM (2020), também são mencionados. Embora forneçam uma medida quantitativa da dureza do produto, não conseguem indicar com precisão o desempenho do revestimento cerâmico no uso diário.

Apesar dos avanços tecnológicos, o setor ainda carece de estudos e técnicas de análise que possam realmente quantificar o desempenho dos revestimentos, seja por meio de propriedades físicas e químicas intrínsecas do material, seja por meio da análise do sistema construtivo como um todo. Atualmente, não existe uma norma de especificação de uso de produtos cerâmicos e cada empresa adota suas próprias diretrizes de especificação.

Além disso, de acordo com Demarch *et. al* (2020) existem dificuldades em realizar controles de fabricação relacionados a características superficiais, como textura e resistência ao escorregamento. Não há metodologia disponível para revestimentos cerâmicos em relação à textura, e os testes para resistência ao escorregamento são minuciosos e demorados, tornando inviável um controle mais rigoroso da produção.

Diante desses desafios, é necessário estudar métodos que possam quantificar de forma confiável as características superficiais dos revestimentos cerâmicos, bem como seu desempenho ao longo de sua vida útil. Essa falta de conhecimento compromete as especificações de uso e pode reduzir as vendas de produtos cerâmicos.

O uso de revestimentos em áreas de tráfego intenso pode resultar em um desempenho desastroso do produto se não possuir um bom desempenho técnico, resultando em perda de brilho, encardimento e alteração de cor.

Diante desses problemas, da demanda do mercado e da falta de segurança nas especificações de produto, surge a necessidade de avaliar o desempenho dos produtos em condições reais e ao longo do tempo.

Este estudo introduz um método inovador para quantificar o desempenho de superfícies, possibilitando análises práticas em campo. Além disso, desenvolve um método de controle da resistência ao escorregamento que pode ser aplicado durante o processo de fabricação, assegurando uma maior qualidade do produto e maior satisfação do cliente final. Atualmente, o controle dessa característica é realizado de forma qualitativa, baseado na análise sensorial humana, sem uma medida quantitativa precisa.

O trabalho apresenta um novo método que não existia anteriormente. Este método permite medir e quantificar o desempenho das superfícies de forma objetiva. O estudo também determina um parâmetro para medir a resistência ao escorregamento durante a fabricação das superfícies cerâmicas. Isso é crucial para garantir que o produto final não seja escorregadio, o que aumenta a segurança e a qualidade. Ao aplicar esse controle durante a fabricação, os fabricantes podem garantir que os produtos atendam aos padrões de qualidade e, conseqüentemente, aumentar a satisfação do cliente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Investigar o desempenho de superfícies de revestimentos cerâmicos em condições de uso em relação ao desgaste ao longo de sua vida útil. Além disso, visa desenvolver metodologias fabris para o controle de características essenciais, como a resistência ao escorregamento.

1.1.2 Objetivos específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral delineado, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar a evolução de características técnicas das superfícies cerâmicas ao longo de sua vida útil, abrangendo parâmetros como rugosidade, brilho e remoção de material;
- Avaliar o comportamento de diferentes superfícies cerâmicas em condições reais de uso;
- Analisar e comparar métodos laboratoriais de desgaste para identificar aquele que melhor reproduz o desgaste observado em condições reais;
- Propor um parâmetro de controle de características superficiais na fábrica para permitir a obtenção da resistência ao escorregamento desejada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REVESTIMENTOS CERÂMICOS PARA CHÃO

De acordo com Callister (2002), os materiais cerâmicos cobrem uma enorme variedade de aplicações, sendo utilizados em diversos ramos da ciência e tecnologia. A maioria dos materiais cerâmicos são classificados conforme a utilização em: vidros, produtos estruturais à base de argila, louças brancas, refratários, abrasivos, cimentos e as cerâmicas avançadas. Estes materiais são tipicamente isolantes à transmissão de eletricidade e calor e são mais resistentes a altas temperaturas e ambientes abrasivos, quando comparados aos metais e aos polímeros, por exemplo. Com relação ao comportamento mecânico, os cerâmicos são duros, porém quebradiços.

“Os pavimentos e revestimentos cerâmicos são peças constituídas normalmente por um suporte de natureza argilosa e porosidade variável, com ou sem recobrimento de natureza essencialmente vítrea” (BARBA, 1997).

Assim, como o próprio nome sugere, os revestimentos cerâmicos são usados para recobrimento de chão, paredes, ou mesmo tetos, tanto em ambientes internos como externos. Quanto utilizados como revestimento de chão, são chamados normalmente de pisos e quando usados como revestimentos de parede são comumente chamados de azulejos (NOVAES, HOTZA, 2011).

De acordo com Boschi (2008), as vantagens das placas cerâmicas em relação a outros produtos substitutos são atribuídas à sua durabilidade, resistência mecânica, facilidade de limpeza e resistência ao ataque de líquidos, além de compor um produto não inflamável, higiênico, inerte e inorgânico, e ter vastas possibilidades de padrões estéticos em sua superfície.

Apesar dessa ser uma definição mais usual utilizada tanto na indústria quanto na comercialização de cerâmicas, a NBR ISO 13006 (2020), norma nacional e internacional que traz as definições, classificação, características e marcações a respeito de placas cerâmicas, define as placas cerâmicas da seguinte forma: placa fina composta de argilas e/ou outras matérias-primas inorgânicas, geralmente usada como revestimento de pisos e paredes, usualmente conformada por extrusão ou prensagem à temperatura ambiente, mas podendo ser conformada por outros

processos, subsequentemente é secada e queimada a temperaturas suficientes para desenvolver as propriedades requeridas. As placas podem ser esmaltadas ou não esmaltadas, são incombustíveis e não são afetadas pela luz.

Ainda de acordo com a NBR ISO 13006 (2020), placas cerâmicas são divididas em grupos, de acordo com seu método de fabricação e sua absorção de água; porém esses grupos não pressupõem o uso dos produtos, ou seja, a sua aplicabilidade para revestimentos de piso ou parede não são presumidas pela absorção de água do produto ou pelo seu método de fabricação.

Os revestimentos devem possuir alguns critérios técnicos, independentemente do seu uso; dentre esses requisitos cita-se: propriedades dimensionais, qualidade superficial, propriedades físicas e químicas.

No entanto, quando o produto tiver sua indicação para uso em pisos, alguns critérios devem ser levados em consideração, também de acordo com a especificação da norma. Dentre esses critérios cita-se a resistência à abrasão superficial, caracterizada pela norma pela classe de abrasão do produto (PEI), no caso de produtos esmaltados, e abrasão profunda para produtos que não possuem esmalte.

A resistência ao escorregamento é uma característica que sem dúvidas é de grande importância para revestimentos com uso indicado para pisos, porém atualmente a norma NBR ISO 13006 (2020) não prevê nenhum método de teste ou classificação. Estudos estão sendo desenvolvidos pelo grupo de estudos da ISO para placas cerâmicas, o TC 189, porém ainda não há consenso sobre nenhum método a ser adotado pela ISO 13006 (2020).

No Brasil, a NBR 16919 (2020), norma para determinação do coeficiente de atrito de placas cerâmicas, é adotada. Além de especificar o método de medição, a norma ainda classifica o piso de acordo com o resultado de ensaio.

Sabe-se, ainda, que outras características são de grande importância para o bom desempenho do piso cerâmico durante o decorrer de toda sua vida útil, como por exemplo sua dureza superficial, textura e rugosidade, dentre outros.

2.2 DESGASTE

O desgaste é a perda progressiva de material da superfície de contato de um corpo, que ocorre como resultado de movimento relativo na superfície. O desgaste

geralmente é prejudicial, mas de forma leve pode ser benéfico, por exemplo durante a preparação de superfícies. Os principais tipos de desgaste são o abrasivo, o adesivo, o erosivo, o corrosivo e a fadiga superficial (ARCHARD,1980).

De acordo com Rabinowicz (2013), há diversos mecanismos de desgaste que influenciam a interação entre materiais; dentre estes, alguns dos principais incluem:

- Desgaste Abrasivo: Ocorre devido à presença de partículas duras que atuam como abrasivos, causando desgaste progressivo na superfície do material;
- Desgaste Adesivo: Envolve a transferência de material de uma superfície para outra devido à adesão entre as superfícies em contato. Pode levar à formação de aderências e desgaste subsequente;
- Desgaste Erosivo: Resulta da ação de partículas em movimento, como partículas presente em fluidos, que impactam e erodem a superfície do material;
- Desgaste por Fadiga: Associado a repetidos ciclos de carregamento e descarregamento, levando à formação de microfissuras e eventual remoção de pequenas partículas de material;
- Desgaste por Cavitação: Causado por bolhas de vapor que se formam e colapsam em líquidos, gerando fortes impactos nas superfícies sólidas e levando ao desgaste;
- Desgaste por Corrosão: Envolve a remoção de material devido à ação de processos corrosivos, como a oxidação, que podem fragilizar e corroer a superfície do material;
- Desgaste por Impacto: Resulta da colisão entre partículas ou objetos em movimento, causando danos mecânicos e desgaste na superfície.

2.2.1 Desgaste de Pisos

De acordo com Kim (2016), é difícil encontrar conceitos e estudos metodológicos sobre o comportamento de pedestres relacionado aos pisos e sua influência no desgaste.

Com o tráfego contínuo de pedestres, o acabamento da superfície dos revestimentos de pisos pode ser alterado por várias causas, tais como

envelhecimento, corrosão, sujeira e manutenção (LECLERCQ, SAULNIER, 2002). Como resultado, desgaste progressivo pode afetar o desempenho da superfície (KIM, 2016).

O processo de desgaste retira material da superfície do produto de forma gradativa e, com o passar do tempo, acaba revelando as irregularidades e porosidade presentes na camada vítrea composta pelo esmalte. Essa porosidade revelada acaba por facilitar a impregnação de sujeira sobre a superfície, justamente pelo fato de a sujeira entrar e ficar retida na porosidade (DEMARCH, 2019).

Um problema específico que surge na prática com o desgaste das superfícies de pisos é a deterioração da resistência ao deslizamento dos mesmos com o tempo, devido ao envelhecimento do material, desgaste da superfície, sujeira e manutenção (LECLERCQ, SAULNIER, 2002).

Derler *et al.* (2005) investigaram a mudança do coeficiente de atrito para vários revestimentos de pisos e diferentes locais de teste ao longo de um período de 30 meses, a fim de estudar os efeitos de curto e longo prazo do uso e manutenção em detalhes. Verificou-se que a abrasão mecânica e o recobrimento por produtos de tratamento levam à redução contínua da resistência ao deslizamento, um resultado típico para muitas superfícies de piso em uso.

O aumento da rugosidade da superfície é uma medida comum para melhorar a resistência ao deslizamento dos pisos; no entanto, esta superfície pode sofrer desgaste durante o uso, gerando redução significativa da altura dos picos do perfil das superfícies, devido ao desgaste mecânico (LOT *et al.*, 2021).

De acordo com estudos desenvolvidos por Kim (2016), o comportamento de fricção e desgaste das superfícies do piso é resultado de muitos eventos e a natureza desses eventos é muito difícil de se determinar. Porém, a transferência de um material para a sua superfície parece ser uma característica importante dos mecanismos de desgaste entre a superfície do piso e o solado de um sapato.

O mecanismo de fricção entre o calçado e as superfícies dos pisos tem características bastante peculiares e complexas, pois seus materiais de composição são totalmente diferentes. Porém, um dos fatos mais importantes é que as características topográficas de ambas as superfícies de acoplamento mudam continuamente no processo de fricção e evolução de desgaste; portanto, é vital monitorar sistematicamente o estado da superfície dos dois corpos (KIM, 2004).

2.2.2 Desgaste abrasivo

De acordo com Smithells (2004), o desgaste abrasivo é causado por asperezas de superfícies em contato que se movem em direções opostas (dois corpos de abrasão) ou por partículas existentes entre duas superfícies movendo-se em direções opostas (3 corpos de abrasão). As taxas de abrasão variam consideravelmente para abrasivos de diferentes durezas, tamanhos e formatos. As taxas aumentam de forma aproximadamente linear com o aumento da carga aplicada por unidade de área, até as cargas nas quais ocorre uma falha extensa do abrasivo.

A resistência ao desgaste geralmente aumenta à medida que a dureza do material aumenta, exceto quando os materiais são endurecidos por deformação plástica anterior, o que diminui a tensão na fratura. A equação de desgaste de Archard (1980), *Eq. 1*, é frequentemente usada para estimar a taxa de desgaste de materiais, que afirma que a perda de volume (V) de um material devido ao desgaste é inversamente proporcional à sua dureza (H), enquanto proporcional à carga normal (L) e à distância (S), e (K) é o coeficiente de desgaste, ou seja:

$$V = K \cdot \frac{L \cdot S}{H} \quad \text{Eq. 1}$$

2.2.3 Padronização / Normatização

A norma NBR ISO 10545 (2017), bem como a ISO 10545 (2017), especifica os mesmos métodos para avaliação da resistência ao desgaste de superfícies cerâmicas para pavimentos.

Os métodos são diferentes a depender do tipo de superfície cerâmica, esmaltada ou não esmaltada, os quais serão descritos a seguir.

2.2.3.1 Método de ensaio de desgaste – Produtos Esmaltados

O método consiste em utilizar amostras de pisos cerâmicos no formato de 10 cm x 10 cm; estas devem ser posicionadas no equipamento denominado

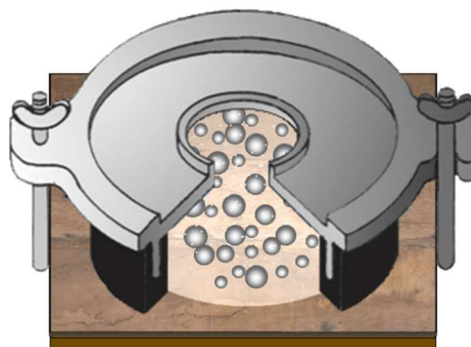
abrasímetro e mostrado na Figura 1. Sobre as amostras são colocados suportes que prendem as amostras ao equipamento e que também servirão de reservatório para o material abrasivo conforme mostrado na Figura 2. No interior desse suporte é depositado o material abrasivo, que consiste de esferas de aço de variados tamanhos, 3 g de coríndon e de 20 mL de água.

Figura 1 – Abrasímetro



Fonte: Autora (2024).

Figura 2 – Representação esquemática do Conjunto Amostra + Suporte + Material abrasivo



Fonte: Autora (2024).

Após a preparação do conjunto, o abrasímetro irá rotacionar em movimentos excêntricos, de forma que o material abrasivo presente nos suportes e

em contato com a superfície do revestimento cerâmico irá atritar a superfície e provocar o desgaste.

Após esse processo, as amostras são retiradas do equipamento, limpas com ácido clorídrico 10% (v/v) e secas. A avaliação, de acordo com o especificado pela ISO 10545, deve ser feita visualmente em caixa de avaliação padronizada. O número de vezes que o abrasímetro rotaciona, sem que seja promovido efeito visível nas superfícies das amostras, é o parâmetro utilizado para a classificação de PEI do produto, o qual é especificado pela Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de PEI

Número de Giros onde o efeito é visível	Classe de PEI
100	0
150	1
600	2
750, 1.500	3
2.100, 6.000, 12.000	4
> 12.000	5

Fonte: ISO 10545 (2017).

2.2.3.2 Método de ensaio de desgaste – Produtos Não Esmaltados

Para esse ensaio, deve-se utilizar no mínimo 5 peças cortadas em corpos de prova de aproximadamente 7,5 cm x 7,5 cm e que são posicionadas no aparelho mostrado na Figura 3, de maneira que fiquem tangenciais em relação ao disco rotativo. O reservatório deve conter material abrasivo composto por córindon, de modo que o fluxo seja uniforme de 100 g a cada 100 rotações.

O disco gira tangencialmente à superfície do corpo de prova em 150 rotações, o material abrasivo cai por gravidade entre o disco e o corpo de prova. Após esse número de giros, o corpo de prova deve ser removido do equipamento.

Esse atrito entre material abrasivo, corpo de prova e disco ocasiona uma cavidade devido à remoção de material. A quantificação do desgaste se dá pela quantificação do volume de material removido em mm³.

Figura 3 – Equipamento de Abrasão Profunda



Fonte: Autora (2024).

2.2.3.3 Método de ensaio de desgaste – UNE

A norma espanhola UNE 138001 (2008) possui outra metodologia para análise de desgaste, conforme será descrito a seguir, e pode ser utilizada tanto para superfícies esmaltadas quanto para superfícies não esmaltadas.

O método de desgaste da norma espanhola utiliza o mesmo abrasímetro da norma ISO, porém os materiais abrasivos utilizados no ensaio são diferentes.

Os corpos de prova de dimensões aproximadamente 10 cm x 10 cm devem ser posicionados no equipamento e o dispositivo abrasivo é centralizado sobre a superfície da amostra e fixado. A carga abrasiva composta por quartzo em quantidades, que variam conforme Tabela 2, é introduzida nos suportes por meio do furo passante.

Tabela 2 – Quantidade de Quartzo x Número de giros

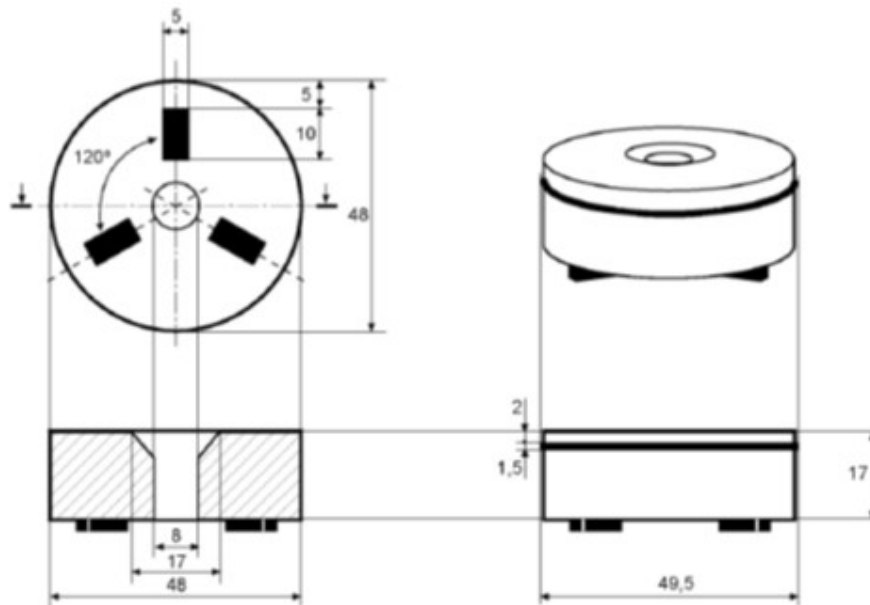
Nº Giros	125	250	500	1000	2500
Quantidade de Quartzo (g)	0,12	0,25	0,50	1,00	2,50

Fonte: UNE 138001 (2008).

Os suportes são compostos por borrachas 4S conforme Figura 4. Durante a abrasão, o quartzo será atritado sobre a superfície de teste pela borracha dos suportes.

O número de giros é então programado no equipamento, o qual realiza automaticamente a abrasão. Após a abrasão, as amostras são retiradas do equipamento, enxaguadas com água corrente e colocadas para secar em estufa.

Figura 4 – Suportes de teste



Fonte: UNE 138001 (2008).

As peças são avaliadas segundo dois critérios, perda de brilho e análise visual a uma distância de 50 cm sob intensidade luminosa de 1000 lux.

A classificação segue a Tabela 3, a qual o produto possui a classificação anterior ao número de giros em que foi possível perceber visualmente a diferença de aspecto.

Tabela 3 – Classificação

Classe	Perda de brilho > 17 ou mudança visível no estágio
L1	125
L2	250
L3	500, 1.000
H4	2.500, 5.000
H5	7.500, 10.000
H6	>10.000

Fonte: UNE 138001 (2008).

2.2.3.4 Método multiatributo - Proposta italiana

O grupo TC 189 de estudos de placas cerâmicas da ISO estuda novas metodologias para análise de desgaste, dentre elas uma classificação multiatributo proposta pelo comitê Italiano.

A Tabela 4 mostra os parâmetros avaliados pela proposta Italiana, a qual são avaliadas características técnicas em conjunto para determinação do local de uso; dentre elas estão: dureza ao risco, resistência a manchas, abrasão superficial, abrasão profunda e perda de brilho e massa após ensaio de abrasão superficial.

Tabela 4 – Parâmetros da Proposta Italiana

Requisito	W	H	HH	HHH
Abrasão Profunda (ISO 10545)	Não Requerido	Maior 393mm ³	176 a 393mm ³	Menor 176 mm ³
Abrasão Superficial (ISO 10545) 600 giros perda de brilho + mancha	Não Requerido	Perda de brilho entre 36 e 50 Classe 3 manchas	Perda de brilho menor que 35 Classe 3 manchas	Perda de brilho menor que 5 Classe 3 manchas
Abrasão Superficial (ISO10545) 6.000 giros perda de massa	Não Requerido	Perda de massa entre 0,035 e 0,045 mg/mm ²	Perda de massa entre 0,028 e 0,035mg/mm ²	Perda de massa menor que 0,028 mg/mm ²
Dureza ao Risco (ASTM)	Não Requerido	Mínimo 4	Mínimo 5	Mínimo 6

Fonte: ISO TC 189 (2021).

Cada uma das siglas especificadas na tabela tem os seguintes significados para especificação de uso:

- H: residencial, uso comercial leve em escritórios, áreas de recepção;
- HH: uso institucional comercial leve e normal em espaços públicos de restaurantes e hospitais;
- HHH: shoppings, lojas, cozinhas comerciais, áreas de trabalho, laboratórios, serviços, transporte/recebimento e decks exteriores, uso extra pesado e de alto impacto em plantas alimentícias, laticínios, cervejarias e cozinhas;
- W: Paredes.

2.3 DUREZA DE SUPERFÍCIES CERÂMICAS

De acordo com Pracidelli (2008), a dureza é a resistência que opõe um corpo ao ser penetrado por outro, podendo ser quantificada pela escala de Mohs, isto é, a resistência que um determinado mineral oferece ao risco. A dureza das superfícies cerâmicas dá a ideia da coesão reticular do vidro. Os esmaltes cerâmicos apresentam dureza entre 5 e 7 na escala de Mohs, os quais são altamente influenciados pelos óxidos Na_2O e K_2O , que reduzem a resistência ao risco. Substituindo-se o SiO_2 por B_2O_3 (até 15%), aumenta-se sua dureza; acima deste teor, a dureza diminui. Já os opacificantes aumentam a dureza dos esmaltes.

2.3.1 Padronização / Normatização

De acordo com norma NBR 13818 (1997), já cancelada, a resistência ao risco é uma característica mecânica e expressa a resistência ao corte e ao risco da superfície da peça.

De acordo com a norma, para realizar o teste, deve-se utilizar 3 peças inteiras para cada produto, colocar a peça sobre um suporte firme com a superfície a ser testada para cima, limpar a superfície da peça a ser ensaiada com um pano de algodão úmido em álcool etílico comercial e secá-la; em seguida, riscar o mineral da escala Mohs de referência (com o canto agudo, recentemente cortado) sobre a superfície a ensaiar.

Aplicar manualmente uma pressão uniforme, de maneira que o mineral ou a superfície da peça fique intacta. O procedimento deve ser repetido com cada mineral e devem ser examinados os riscos da peça a olho nu ou com ajuda de óculos (se usados habitualmente), com intensidade luminosa de, no mínimo, 300 ± 30 lux, a uma distância de 30 ± 5 cm. Se existir dificuldade para se avaliar o risco, deve-se passar o grafite do lápis HB sobre a região riscada e removê-lo com auxílio de um pano úmido em álcool. Se houver risco, o grafite ficará impregnado.

A dureza ao risco da peça é igual à dureza do mineral de maior dureza Mohs que não produziu risco.

A norma ISO 13006 (2020) não possui nenhuma metodologia para a determinação da dureza de placas cerâmicas, e em virtude do cancelamento da norma NBR 13818, atualmente não há nenhuma norma brasileira com essa finalidade.

A norma ASTM C1895-20 (2020) apresenta um procedimento para esse ensaio, que consiste basicamente no mesmo princípio explicado anteriormente, utilizando como referência minerais da escala Mohs, porém é usado um acessório para manter mais constante a produção do risco sobre a superfície de teste, mantendo o ângulo de 70° e a força de aplicação em 3,2 kg.

O aparato que garante a angulação e aplicação de força é mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Aparato para reproduzir riscos



Fonte: ASTM C1895 – 20 (2020).

O procedimento também salienta cuidados para assegurar que o mineral de teste possui um ângulo vivo e não possua contaminações ou manchas.

De acordo com a norma, deve-se tentar reproduzir um risco na superfície com cada mineral da escala Mohs. A análise mostra se a superfície foi riscada ou não por um dado mineral e é realizada visualmente ou com auxílio de lupas. Adicionalmente também pode-se utilizar corantes como azul de metileno para tentar evidenciar de forma mais fácil a ranhura.

A determinação de dureza de superfícies utilizando o método Vickers é um procedimento amplamente empregado na indústria para avaliar a resistência de materiais à deformação plástica. O método Vickers é conhecido por sua versatilidade

e aplicabilidade em uma variedade de materiais, incluindo cerâmicas, metais e polímeros.

De acordo com Dieter (1988), o método Vickers é uma técnica de medição de dureza que utiliza uma pirâmide de diamante com uma abertura de 136° entre as faces opostas. A dureza é determinada pela profundidade da impressão deixada pela pirâmide após aplicação de uma carga específica.

2.4 COEFICIENTE DE ATRITO DE PISOS

Um dos parâmetros mais importantes que deve ser levado em consideração para revestimento de pisos é a resistência ao deslizamento. Recentemente, a resistência ao deslizamento se tornou um problema sério, particularmente em projetos de revestimento de pisos (GRÖNQVIST, 1995; MANNING, 1998).

Os materiais mais usados para se obter superfícies rugosas em revestimentos cerâmicos são as granilhas, que são partículas de frita fisicamente irregulares, que são aplicadas secas na superfície da peça antes do processo de queima. Com a utilização desses materiais, obtêm-se superfícies com diferentes rugosidades, que dependendo da temperatura de fusão da granilha aplicada de sua composição, dão origem após à queima a superfícies com picos arredondados ou agudos (MUÑOZ, 2019).

De acordo com Rincón *et al.* (2008), diferentes acabamentos superficiais dos revestimentos cerâmicos são conseguidos utilizando-se diferentes tipos de fritas e com diferentes formas de aplicação: grãos, grânulos, microgrânulos, esferóides e plaquetas, dentre outros.

De acordo com Hauptmann e Wiedemann (2003), em muitos casos são realizados tratamentos superficiais em revestimentos cerâmicos; entre eles pode-se citar tratamentos físicos e químicos para melhorar seu desempenho contra escorregamento. Esses tratamentos podem ser agrupados em dois tipos, dependendo da metodologia utilizada:

a) Perfuração da superfície do material com laser para permitir a evacuação do componente contaminante, líquidos e sujidades, e favorece a deformação do elemento deslizante, a sola dos sapatos;

b) Alteração química da superfície pela aplicação de um agente químico seletivo, geralmente ácido fluorídrico diluído, para aumentar sua rugosidade.

De acordo com Tari (2021), as superfícies de pisos podem ser divididas em:

- Superfícies perfiladas ou texturizadas: uma superfície que inclui um padrão de relevo geométrico, definido, regularmente espaçado e que pode ser repetido;
- Superfícies estruturadas: uma superfície que inclui um padrão de relevo intencional, mas indefinido, irregularmente espaçado e não repetido.

2.4.1 Padronização / Normatização

Existem diversos métodos para a determinação do coeficiente de atrito e resistência ao escorregamento de superfícies de piso; a seguir serão apresentados alguns deles.

2.4.1.1 Pêndulo Britânico

Teste com pêndulo geralmente é conduzido usando-se o pêndulo de fricção. Este dispositivo é portátil e consiste em um pé pendular com peso e um controle deslizante que balança para baixo e desliza pela superfície umedecida com água. O pé do pêndulo consiste de um deslizador de teste de borracha com mola, que exerce uma força prescrita sobre a superfície que se deseja testar à medida que ele desliza pela superfície. Os resultados são expressos como um BPN (Número do Pêndulo Britânico) ou SRV (*Slip Resistance Value*) (SAFEENVIREMENTS, 2021).

2.4.1.2 BOT

O BOT-3000 é um dispositivo do tipo de arraste que mede o coeficiente de atrito estático (SCOF) de uma área de superfície selecionada, entre seu elemento deslizante e a superfície do chão. O dispositivo também pode ser usado para medir o coeficiente de atrito dinâmico (DCOF) de uma dada área de superfície por regulação

da distância, mantendo uma velocidade quase constante entre 0,2 e 0,23 m/s (KIM, 2012).

2.4.1.3 Dynamic Slip

O equipamento Dynamic Slip, mais comumente conhecido como Tortus, é um instrumento de precisão controlado por microprocessador, o qual mede diretamente o coeficiente de atrito dinâmico, à medida que se desloca sobre uma superfície de teste. Ele fornece uma leitura instantânea de coeficiente de atrito em um *display* digital, que se move sobre a superfície e exibe o valor médio da COF na conclusão do teste. O Tortus usa um “pé de teste” montado sobre um conjunto de mola e lâmina, que é mantido em contato com a superfície a ser analisada por uma carga vertical fixa. A flexão é medida por medidores de tensão ligados ao conjunto da mola. Controladores são usados para converter o sinal para um valor digital de COF. A borracha padrão utilizada como material no “pé de teste” é do tipo 4S e o diâmetro é de 9,5 mm (RICOTTI, DELUCCHI, CERISOLA, 2009).

2.4.2 Rugosidade

De acordo com *Pedestrian Slip Risk Assessment* (2009), a medição da rugosidade para avaliar ou auxiliar na avaliação da resistência ao deslizamento da superfície do piso começou no Reino Unido em aproximadamente 1996. Foi descoberto que a razão pela qual os diferentes tipos de instrumentos de teste deram leituras significativamente diferentes, na mesma superfície do piso em condições úmidas, foi devido ao efeito lubrificante da película de água que fica presa entre o controle deslizante do instrumento e a superfície do piso.

No *Pedestrian Slip Risk Assessment* (2009), foi sugerido que a rugosidade da superfície do piso poderia ter um papel significativo em como esse filme se comportou e pode ser um meio simples de prever a resistência ao deslizamento do piso.

Embora fosse estabelecido um critério pelo qual se poderia julgar os resultados de rugosidade, frequentemente descobria-se que a avaliação baseada no

pêndulo não concordava com aquela baseada na rugosidade. A maioria dos pesquisadores na área naquela situação apenas notaram o fato e usaram o resultado do pêndulo como sendo o mais confiável.

No entanto, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a respeito da avaliação de parâmetros de rugosidade como indicativos da resistência ao escorregamento de superfícies de piso.

O trabalho desenvolvido por Kim (2018) mostrou resultados que confirmam que os acabamentos da superfície do piso exigem diferentes níveis de aspereza da superfície para diferentes tipos de condições ambientais.

Kim (2018) afirma que os dados coletados sobre faixas operacionais de rugosidade da superfície do piso parecem ser uma ferramenta valiosa para desenvolver informações práticas de *design* e padrões para acabamentos de superfície de pisos.

O trabalho desenvolvido por Muñoz (2019) concluiu que pode-se utilizar parâmetros de rugosidade para calcular a resistência ao escorregamento de superfícies cerâmicas por meio de equações específicas, que podem diferir a depender do tipo de superfície cerâmica avaliada.

No trabalho realizado por Demarch (2019), a análise de variância dos parâmetros de rugosidade mostrou que os parâmetros têm forte influência nos resultados de coeficiente de atrito para os métodos de medição com Tortus, Bot e Pêndulo, porém deve-se ter cuidado ao utilizar unicamente um parâmetro de rugosidade para determinação do potencial de escorregamento de uma superfície.

De acordo com Tari (2021), os parâmetros de rugosidade podem ser divididos em quatro grupos, de acordo com o tipo de característica da superfície estudada.

- Parâmetros de amplitude (alturas e profundidades);
- Parâmetros de distância ou comprimento de onda ou espaciais (largura e distância);
- Parâmetros híbridos (gradientes de superfície);
- Parâmetros derivados de curvas características (proporção curvas).

Já no trabalho desenvolvido por Clarke *et al.* (2014), os resultados mostraram que para superfícies com níveis baixos de rugosidade, nenhuma correlação linear estatisticamente significativa foi encontrada entre o coeficiente de atrito.

No trabalho desenvolvido por Demarch *et al.* (2021), a correlação entre os parâmetros de rugosidade superficial e diferentes métodos padronizados usados para determinar o COF para pisos cerâmicos é elevada. Como resultado da análise de variância e avaliação da relação gráfica entre Rz e atrito, pode-se concluir que os parâmetros de rugosidade podem ser usados como uma indicação do coeficiente de atrito das superfícies.

O guia britânico de resistência ao escorregamento utiliza o Rz como parâmetro para definir o potencial de escorregamento de uma superfície de pisos conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Potencial de escorregamento de acordo com a rugosidade Rz

Potencial de Escorregamento	Rugosidade Rz (μm)
Alto	Menor que 10
Moderado	Entre 10 e 20
Baixo	Maior que 20

Fonte: *Uk Slip Resistance Group* (2016).

2.4.3 Ondulação

De acordo com o trabalho desenvolvido por Lot (2021), existe uma maior dificuldade em se estabelecer uma relação entre coeficiente de atrito e rugosidade, pois outros componentes superficiais interferem na medição do coeficiente de atrito, como o relevo e a ondulação.

Também de acordo com Muñoz (2019), a influência da topografia de uma superfície em sua resistência ao deslizamento parece não depender apenas do valor dos parâmetros que definem seu perfil de rugosidade, mas também é condicionada por seu perfil de ondulação ou relevo e pela forma mais ou menos aguda dos picos.

É comprovado que tanto a rugosidade como o relevo da superfície de um pavimento cerâmico influenciam significativamente no seu comportamento de deslizamento (MUÑOZ, 2019).

2.5 ESCORREGAMENTO EM PISOS

Os incidentes com escorregões são resultado de um ou mais fatores, incluindo a pessoa envolvida, o tipo de atividade realizada, fatores ambientais como contaminantes (água, graxa, gelo, poeira, detergente e sabão, dentre outros), distração, temperatura, iluminação e também a característica do calçado utilizado e do piso (KIM, SMITH, NAGATA, 2001).

Portanto, a resistência ao escorregamento em pisos, que são utilizados em ambientes úmidos e secos, deve ser suficiente para que as pessoas possam se mover com segurança sem risco de escorregar (MITCHELL *et al.*, 2011).

De acordo com Tari (2021), é amplamente aceito, e a maioria das pesquisas confirmam, que a contaminação da superfície do piso com líquidos ou sólidos é a principal causa de acidentes com escorregões de pedestres. As estatísticas de pesquisas e acidentes também indicam que a maioria dos acidentes por deslizamento ocorre em revestimentos de pisos contaminados.

A Figura 6 mostra um esquema de fatores que interferem na resistência ao escorregamento de um meio.

Figura 6 – Modelo de potencial de deslizamento



Fonte: *Health and Safety Executive* (2021).

Acidentes de queda resultantes de escorregões e tropeções são um dos principais resultados em pesquisas sobre incidentes ocupacionais graves, bem como uma das principais causas de mortes relacionadas a lesões em indivíduos com 65 anos ou mais (LAYNE; LANDEN, 1997; BELL *et al.*, 2008)

O trabalho desenvolvido por Barnett (2002) concluiu que a probabilidade de escorregamento está relacionada ao atrito crítico, à distância média percorrida e à propagação e assimetria da distribuição dos coeficientes de atrito. A teoria revela que caminhadas curtas tendem a levar a menos quedas e, surpreendentemente, pisos de baixo atrito às vezes são melhores do que os de alto atrito.

Por causa da seriedade do problema de “escorregar e cair”, muitos estudos têm se concentrado em encontrar uma solução. Também de acordo com Barnett (2002), há um consenso geral de que quedas podem ser reduzidas controlando-se os coeficientes de atrito dos pisos. A locomoção humana envolve aceleração na fase inicial e desaceleração, movimento constante e manobras. Essas acelerações estão associadas às forças tangenciais transferidas de um calçado para a superfície de caminhada. Para realizar o movimento de caminhar, as forças tangenciais devem ser resistidas pelas forças de reação do solo. Em pisos secos não contaminados, as forças de reação do solo são desenvolvidas por meio do atrito.

No estudo desenvolvido por Kim (2015), os resultados gerais mostraram claramente que estruturas topográficas das superfícies do calçado foram em grande parte alteradas por uma série de mecanismos de desgaste, como abrasão, sulcamento, adesão e fadiga e que, portanto, o estado das solas de calçados tem papel importante na incidência de escorregamentos.

Strobel *et al.* (2012) afirmaram que tanto o piso quanto o calçado têm papel fundamental no risco de quedas por escorregões.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental foi subdividido em cinco etapas. A primeira etapa foi dedicada à seleção dos revestimentos cerâmicos que foram submetidos aos testes.

Na segunda etapa, o foco estava na avaliação da evolução de características técnicas essenciais das superfícies cerâmicas ao longo de sua vida útil, incluindo rugosidade, brilho e remoção de material.

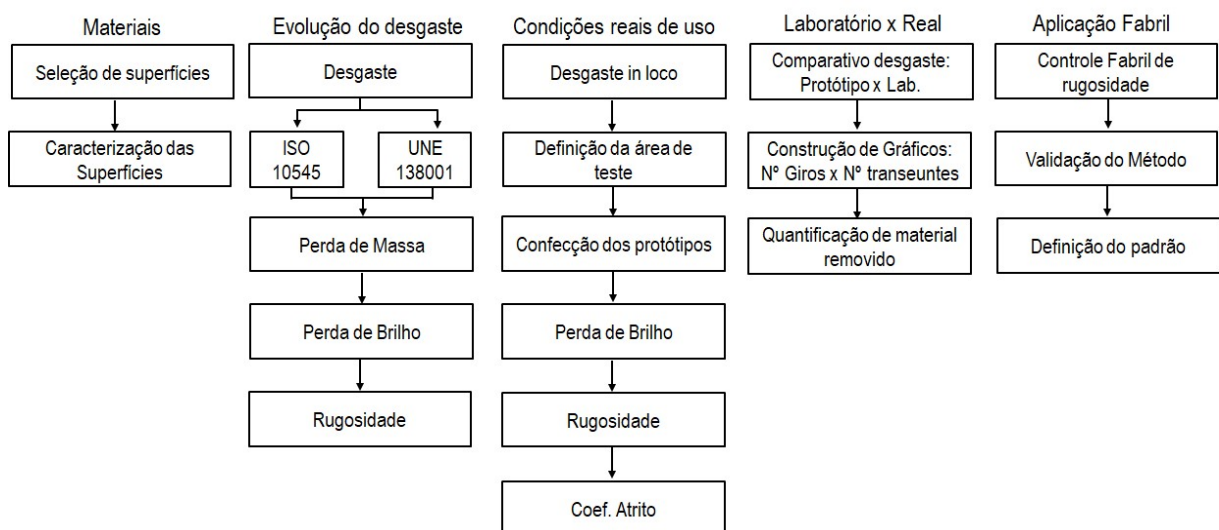
A terceira etapa concentrou-se na análise do comportamento de diferentes superfícies cerâmicas em condições reais de uso.

A quarta etapa envolveu o estudo de diversos métodos laboratoriais de desgaste, com o objetivo de se determinar qual deles melhor se aproximava do desgaste observado em condições reais.

Finalmente, a quinta e última etapa teve como propósito a proposição de um parâmetro de controle fabril de características superficiais. Isso visava possibilitar a obtenção da resistência ao escorregamento necessária, contribuindo assim para a melhoria contínua do processo produtivo.

As etapas citadas estão expostas na Figura 7.

Figura 7 – Planejamento Experimental



Fonte: Autora (2024).

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas nove superfícies de revestimento cerâmico de uso em pisos. As características das superfícies são as seguintes:

- Placa cerâmica brilhante: trata-se de uma superfície esmaltada de acabamento brilhante;
- Porcelanato Esmaltado Acetinado: trata-se de uma superfície esmaltada com pouco brilho;
- Porcelanato Não Esmaltado Polido: superfície de porcelanato sem esmalte, que passa por processo de polimento o qual confere brilho à superfície;
- Porcelanato Esmaltado Polido: superfície de porcelanato polido com esmalte. Diferente da superfície citada anteriormente, essa superfície possui esmalte, que após o processo de queima passa por um processo de polimento;
- Porcelanato Não Esmaltado Natural: trata-se de um porcelanato sem esmalte. Não possui elevado brilho como nas superfícies polidas;
- Porcelanato Não Esmaltado Natural Decorado: trata-se de um porcelanato sem esmalte. Nesse caso a superfície passou por um processo de decoração com sal solúvel;
- Porcelanato Esmaltado com cobertura: trata-se de uma superfície esmaltada na qual antes do processo de queima e após a decoração é aplicada uma cobertura composta principalmente de coríndon, com objetivo de tornar a superfície mais rugosa e conseqüentemente mais áspera;
- Porcelanato Esmaltado granilhado: consiste em uma superfície esmaltada na qual é aplicada uma cobertura de granilha (vidro moído) após o processo de decoração e anterior à queima, o objetivo dessa aplicação é aumentar a rugosidade da superfície e conseqüentemente, torná-la mais áspera;
- Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo: trata-se de uma superfície esmaltada na qual antes do processo de queima e após a decoração, é aplicada uma cobertura que é composta principalmente de coríndon, com objetivo de tornar a superfície mais rugosa e conseqüentemente mais áspera. O produto também possui relevo agressivo bem saliente.

3.1.1 Microdureza Vickers

O ensaio de microdureza Vickers foi conduzido utilizando-se três amostras de cada superfície, as quais foram cuidadosamente preparadas para o ensaio com o indentador Vickers, o equipamento utilizado foi o microdurômetro Digmess, modelo HV-1000-10 a 1000. A finalidade desta análise é obter uma quantificação mais precisa da dureza das diferentes superfícies.

A realização do ensaio de microdureza Vickers se justifica pela inadequação da metodologia Mohs na determinação da dureza em revestimentos cerâmicos. A metodologia Mohs não oferece muita precisão, além de não possuir uma escala linear de classificação. Portanto, a utilização do indentador Vickers visa superar essas limitações, proporcionando resultados mais confiáveis e uma avaliação mais acurada da dureza das superfícies em questão.

3.1.2 Dureza Mohs

O teste consistiu em tentar reproduzir riscos sobre a superfície de testes com cada uma das pedras da escala Mohs. O teste foi realizado seguindo o procedimento da norma NBR 13818 (1997), já cancelada, e da ASTM C1895 – 20 (2020).

A dureza ao risco da peça foi determinada como sendo igual à dureza do mineral Mohs de maior dureza que não produziu risco durante o teste.

No teste foram usados os seguintes minerais: Talco, Gesso, Calcita, Fluorita, Apatita, Feldspato, Quartzo, Topázio, e Coríndon.

3.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise microestrutural da superfície dos corpos de prova cerâmicos investigados foi efetuada por microscopia eletrônica de varredura – MEV, utilizando-se um Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM 6390 e Metalizadora Danton Vacuum IV para recobrir a superfície de ouro, aplicando uma tensão de 15kV.

Amostras da superfície desgastada foram avaliadas com microscopia em diversos estágios de desgaste, buscando-se evidenciar o que acontece a nível de superfície.

3.2. EVOLUÇÃO DO DESGASTE

Será apresentado a seguir o procedimento adotado para a determinação das curvas de desempenho no decorrer do desgaste das superfícies analisadas, de acordo com a Norma ISO 10545 e UNE 138001.

3.2.1. Desgaste – ISO 10545

O desgaste laboratorial foi realizado de acordo com o procedimento especificado pela ISO 10545 (2021) em abrasímetro marca Gabrielli, porém o número de giros foi diferenciado aos especificados pela norma. Foram utilizados intervalos de 25 giros em todas as superfícies, ou seja, todas as análises que serão descritas a seguir foram realizadas após submeter as amostras a 25, 50, 75 giros e assim por diante em uma mesma peça até 1250 giros.

Para cada um dos produtos citados, 5 corpos de prova foram ensaiados para que assim se conseguisse avaliar a média, o desvio padrão e também a variabilidade entre peças de um mesmo produto.

3.2.1.1 Perda de Massa

A cada ciclo de abrasão foi avaliado se ocorreu perda de massa na amostra; a medição foi realizada após secar as amostras em estufa por 24 h. A balança utilizada para os testes possui resolução de 0,001 g e marca Marte.

3.2.1.2 Perda de Brilho

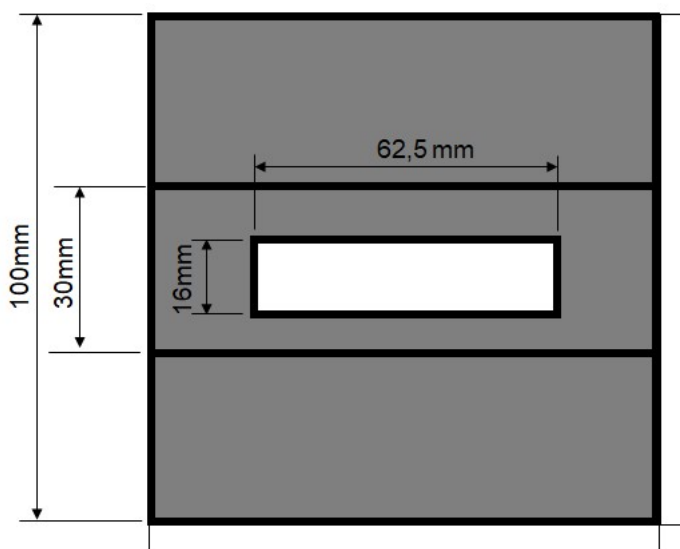
O equipamento que foi utilizado é conhecido apenas como medidor de brilho da marca Glossmeter. Para realizar a medição do brilho, a superfície em avaliação foi limpa com álcool etílico e flanela de algodão. O medidor de brilho foi previamente calibrado por meio de duas placas padrões que acompanham o

equipamento, uma de superfície mate e a outra brilhante. A medição foi realizada na angulação de 60°.

Para realizar a medida basta posicionar a abertura da base do equipamento sobre a superfície em que se deseja medir. O equipamento retorna em seu *display* o valor do brilho expresso em UB (unidades de brilho). Três medições foram realizadas por amostra.

Para reduzir o erro de medição, foi criado um molde a ser sobreposto aos corpos de prova, conforme Figura 8; o retângulo central é vazado, o que permite que a zona de medição do equipamento fique sobre o corpo de prova e realize a medição. Já as linhas laterais servem para orientação do posicionamento do equipamento.

Figura 8 – Molde para medição de Brilho



Fonte: Autora (2024).

3.2.1.3 Rugosidade – Rz

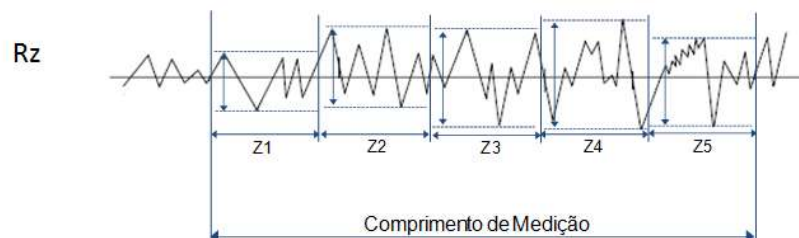
As medições de rugosidade foram realizadas por meio de perfilômetro de contato mecânico, com rugosímetro sj 410 marca Mitutoyo.

Em cada amostra foram realizadas 5 medidas de rugosidade. A norma utilizada para a determinação da rugosidade foi a ISO 4288 (1997). O parâmetro avaliado foi o Rz, que corresponde à média aritmética dos 5 valores da rugosidade Rz. A rugosidade Rz é definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas

dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média) existentes dentro de um comprimento de amostragem.

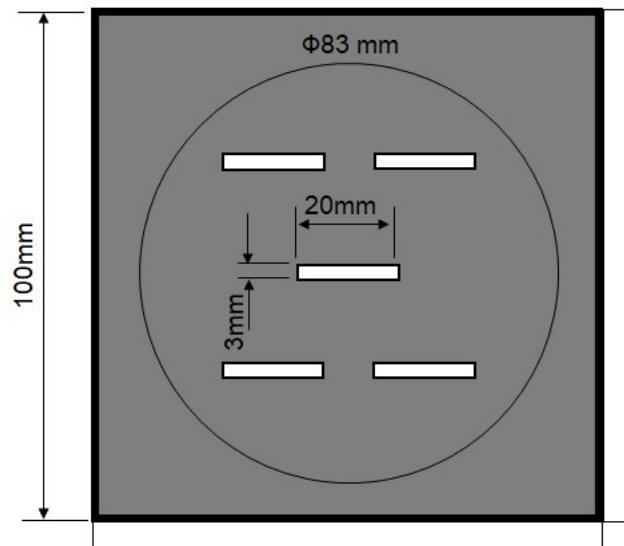
A Figura 9 mostra o parâmetro analisado. Assim como feito para medir o brilho, também foi elaborado um molde para realizar as medições de rugosidade, de forma que a cada ciclo de abrasão os mesmos 5 pontos da peça tenham sido medidos. A Figura 10 mostra o molde elaborado, os 5 retângulos centrais são vazados e indicam o local em que a ponteira do rugosímetro foi posicionada.

Figura 9 – Parâmetro de Rugosidade



Fonte: Adaptado de *Instruction Manual Mitutoyo Corporation*, (2009, 2020).

Figura 10 – Molde para medição de rugosidade



Fonte: Autora (2024).

3.2.1.4. Análise Estatística

Os resultados foram avaliados por meio de uma equação de tendência, facilitando a identificação de qual produto apresenta maior perda de massa, brilho ou variação de Rz.

Além de se avaliar as equações de tendência dos gráficos, foram avaliados também seus respectivos valores de R^2 , conforme Tabela 7. Ou seja, sempre que o valor de R^2 for superior a 0,90, a correlação entre a equação e os dados experimentais pode ser considerada fortíssima.

Tabela 6 – Coeficiente R^2

Coeficiente	Correlação
$R^2 = 0$	Nula
$0 < R^2 \leq 0,30$	Fraca
$0,30 < R^2 \leq 0,70$	Média
$0,70 < R^2 \leq 0,90$	Forte
$0,90 < R^2 \leq 0,99$	Fortíssima
$R^2 = 1,00$	Perfeita

Fonte: Dantas (2012)

Também foi avaliado o coeficiente de correlação de Pearson entre os diferentes métodos de ensaio de dureza aos quais as peças foram submetidas.

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o valor de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o valor da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. (ALDRICH, 1995; HAIG, 2007; KOZAK, 2009). A Tabela 7 mostra a classificação do coeficiente de Pearson.

Tabela 7 – Coeficiente de Pearson

Coeficiente de Pearson (em módulo)	Classificação
0,1 - 0,3	Fraco
0,4 - 0,6	Moderado
0,7 - 1,0	Forte

Fonte: Dancey e Reidy (2018)

3.2.2. Desgaste – UNE 138001

O desgaste laboratorial também foi realizado de acordo com o procedimento especificado pela UNE 138001 em abrasímetro marca Gabrielli, porém o número de giros foi diferenciado aos especificados pela norma. O desgaste foi provocado de 25 em 25 giros com quantidade de material abrasivo de acordo com a especificação da norma.

A quantidade de quartzo utilizada aumentou progressivamente com o número de giros: 0,12 g até 125 giros, 0,25 g até 250 giros, 0,50 g até 500 giros, 1 g até 1000 giros e 2 g até 1250 giros.

Para cada uma das superfícies citadas, 5 corpos de prova foram ensaiados para assim se conseguir avaliar a média, o desvio padrão e a variabilidade entre peças de um mesmo produto.

As quantificações da perda de massa, brilho e rugosidade foram conduzidas conforme descrito anteriormente, quando o desgaste laboratorial seguiu o procedimento ISO. Foram estabelecidas equações para descrever o comportamento dessas variáveis e a análise estatística mencionada anteriormente também foi executada.

3.3 DESGASTE EM PROTÓTIPOS

O desgaste em protótipos teve o objetivo de avaliar como ocorre o desgaste em condições reais de uso e assim comparar com as curvas de desgaste provocadas nas etapas anteriores nos abrasímetros, tanto com a norma UNE quanto com a norma ISO.

3.3.1 Seleção da área de teste

Inicialmente, foi determinada uma área de teste para realizar o assentamento das peças. Os parâmetros mais importantes para a seleção da área de teste foram os seguintes:

- Trânsito intenso de pessoas: um trânsito intenso de pessoas é fundamental para que se consiga avaliar o desempenho dos produtos sem que seja

necessário que o mesmo atinja o fim de sua vida útil. Foi optado por essa característica justamente para diminuir o risco de que o trabalho seja inconclusivo;

- Controle do tráfego de pessoas: Para que se consiga realizar uma análise quantitativa a respeito do desempenho dos produtos, é necessário quantificar o trânsito de pessoas sobre os mesmos.

Diante desses dois fatores, a calçada de entrada de uma empresa de grande porte se mostrou um bom local, já que existe trânsito intenso de pessoas que entram e saem da empresa, além da viabilidade de quantificar esse fluxo por meio das catracas de entrada e saída localizadas na guarita da mesma.

3.3.2 Preparação de amostras

As amostras dos produtos descritos foram cortadas em disco de corte no formato de 18,5 cm x 18,5 cm. Foi especificado esse formato para que se conseguisse testar uma quantidade suficiente de peças em diferentes posições ao longo da área de teste disponível.

Após o corte, as amostras foram secas em estufa e limpas com álcool e flanela.

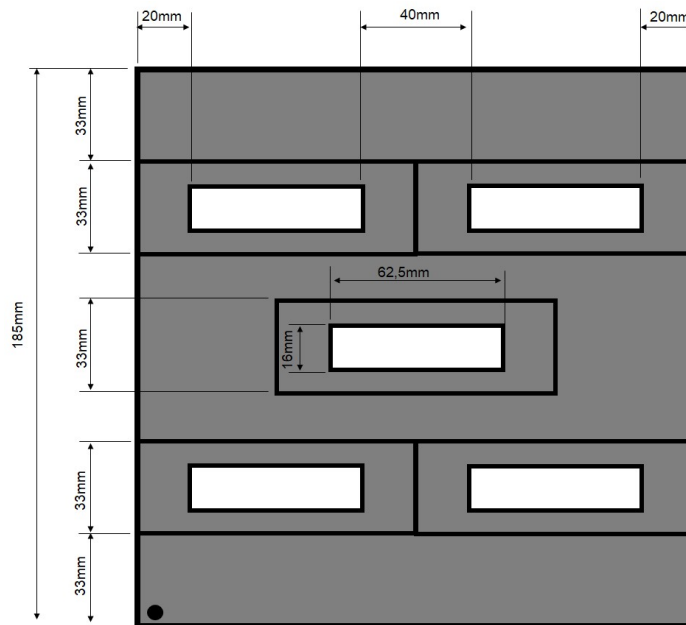
3.3.3. Determinação do brilho superficial

O equipamento que foi utilizado para determinar o brilho é o mesmo descrito anteriormente, porém a medição foi realizada em 5 diferentes pontos das amostras.

Para reduzir o erro de medição foi criado um molde, conforme

Figura 11, a ser sobreposto aos corpos de prova; o retângulo central é vazado e permitiu que a zona de medição do equipamento ficasse sobre o corpo de prova e realizasse a medição.

Figura 11 – Molde para medição de brilho



Fonte: Autora (2024).

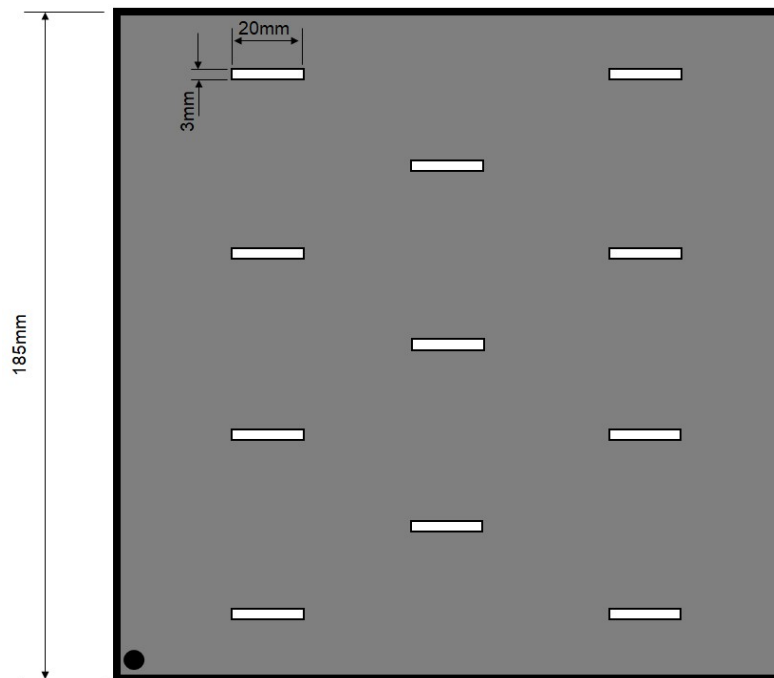
Por sua vez, as linhas laterais foram incorporadas para orientar o posicionamento preciso do equipamento durante o processo.

3.3.4. Rugosidade

As medições de rugosidade foram realizadas por meio de perfilômetro de contato mecânico, com rugosímetro sj 410 marca Mitutoyo.

Assim como feito para medir o brilho, também foi elaborado um molde para realizar as medições de rugosidade, o qual está exposto na Figura 12, onde os 11 retângulos são vazados e indicam o local em que a ponteira do rugosímetro foi posicionada, realizando 11 medições por amostra.

Figura 12 – Molde para medição de rugosidade



Fonte: Autora (2024).

3.3.5 Coeficiente de atrito - NBR 16919

O teste consistiu basicamente em um carrinho que percorre um comprimento da superfície de teste, e por meio de sensores acoplados a uma borracha determinou o coeficiente de atrito entre essa borracha padrão e a superfície cerâmica.

Para realização do teste foram necessários:

- Equipamento Dynamic Slip - marca Gabrielli;
- Tensoativo tipo Triton X - 100 (12 gotas para 1000 mL de água potável);
- Velocidade do deslizamento de 1,7 cm/s;
- Dureza da borracha 72 Shore;
- Peso da carga normal aplicada de 200 g;
- Álcool etílico comercial;
- Flanela.

Inicialmente foi necessário realizar uma calibração no equipamento, após a calibração, o mesmo foi posicionado sobre a superfície e acionado de forma que ele percorresse a superfície de teste. Ao final do percurso ele forneceu o resultado do coeficiente de atrito medido em seu *display* digital.

O ensaio de atrito a seco apresenta uma variação muito grande e o equipamento não consegue com eficiência diferenciar uma superfície mais lisa de uma mais áspera nessa condição. Por isso os ensaios realizados foram apenas na condição úmida (solução de água + tensoativo). Foram realizadas 5 medições por corpo de prova, e o resultado final é a média aritmética das cinco medições realizadas.

3.3.6 Coeficiente de atrito – ANSI A137.1

Para realização do teste foram necessários os seguintes equipamentos e materiais:

- BOT – 3000E Digital marca *Regan Scientific Instruments*;
- Placas padrão;
- Massa de verificação;
- Deslizadores de Neolite;
- Lixa de 400 grãos;
- Solução de Água deionizada e Lauril Sulfato de Sódio 0,05%;
- Dispositivo de preparação dos deslizadores;
- Álcool etílico comercial;
- Flanela.

O BOT 3000E consiste em um carrinho acionado por motor alimentado por bateria, que possui como deslizador ou “pé de teste” uma borracha denominada Neolite, que se move a uma velocidade variando entre 0,2 e 0,23 m/s.

Antes de utilizar o equipamento, foi necessário realizar a verificação do mesmo, por meio de uma massa padrão, esse processo consiste de uma pré-calibração do equipamento.

A medição de coeficiente de atrito dinâmico foi selecionada no equipamento, o mesmo foi então posicionado sobre a superfície de teste e acionado

de forma que ele percorra a superfície. Ao final do percurso ele fornece o resultado do coeficiente de atrito medido em seu *display* digital.

Os testes foram repetidos cinco vezes em cada amostra apenas na condição úmida.

3.3.7. Coeficiente de atrito - AS 4586

Para realização do teste foram necessários:

- Pêndulo de Fricção marca Mouro;
- Borracha de 76,2 mm de largura, 25,4 mm de comprimento e 6,4 mm de espessura;
- A massa da articulação de 32 g;
- Placas padrão de calibração;
- Flanela.

O equipamento consiste em um pêndulo que incorpora um *patim* deslizante, feito de borracha padrão fixado ao final do pêndulo. Durante a oscilação do pêndulo, a força de atrito entre o *patim* e a superfície da amostra de teste é medida pela redução do comprimento da oscilação do pêndulo usando uma escala calibrada.

O pêndulo passou por um processo de ajuste de zero antes do teste, que consiste em verificar se o mesmo, quando oscilando livremente, atinge o zero na escala.

Após essa pré-calibração, a borracha do *patim* foi preparada com lixa e verificada nas superfícies de teste especificadas pela norma.

Para realização do ensaio nas superfícies cerâmicas de teste, posicionou-se a peça que se desejava medir o atrito e realizou-se o ajuste da distância que a borracha do pêndulo entra em contato com a superfície cerâmica. Essa distância é padronizada e deve ser de 125 mm. A adequação dessa distância foi realizada por meio do ajuste da altura do pêndulo. Essa é uma etapa de extrema importância, pois pode influenciar diretamente nos resultados.

Após todos os ajustes e pré-verificações, o pêndulo foi solto, de forma que a borracha do *patim* do mesmo entrou em contato com a superfície cerâmica.

A posição alcançada pelo pêndulo é exposta no *display* do equipamento. O ensaio foi realizado apenas em superfície úmida.

Os testes foram repetidos 8 vezes em cada amostra, e as três primeiras medidas foram desprezadas, conforme indicado pela norma.

3.3.8. Assentamento na área de teste

Conforme já mencionado a área de teste selecionada foi a calçada da guarita de entrada da empresa, indicada pela Figura 13.

Figura 13 – Área de Teste

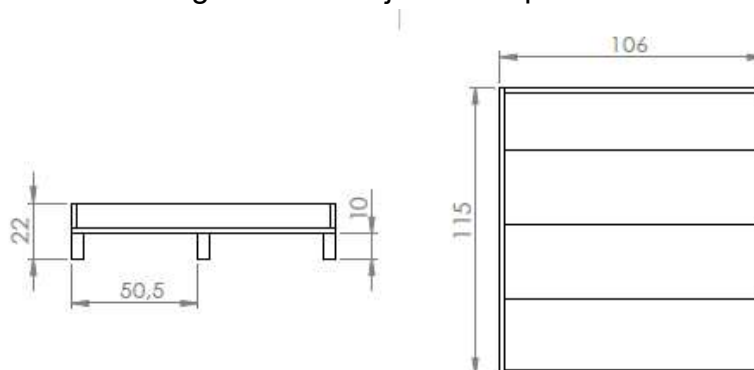


Fonte: Autora (2024).

Para facilitar a remoção da área de teste após a finalização do projeto, e também para tornar o processo de análise/ensaios mais ergonômico, foram projetados suportes em madeira, que puderam ser facilmente deslocados com empilhadeira da área de teste quando necessário.

Os suportes representados pela Figura 14 foram confeccionados em madeira e possuem as dimensões em centímetros descritas na figura.

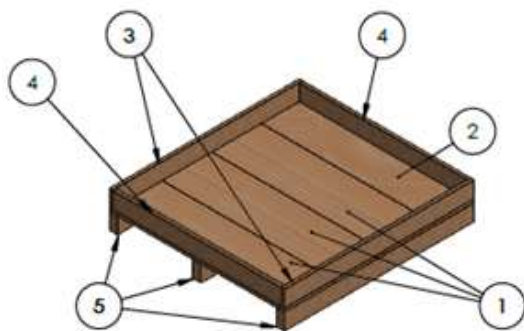
Figura 14 – Projeto do suporte de madeira



Fonte: Autora (2024).

A Figura 15 mostra as dimensões das tábuas que foram utilizadas para a confecção dos mesmos.

Figura 15 – Especificações do suporte



5	Tábua 115x10x5cm	3
4	Tábua 102x10x2 cm	2
3	Tábua 115x10x2 cm	2
2	Tábua 106x25x2 cm	1
1	Tábua 106x30x2 cm	3
Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.

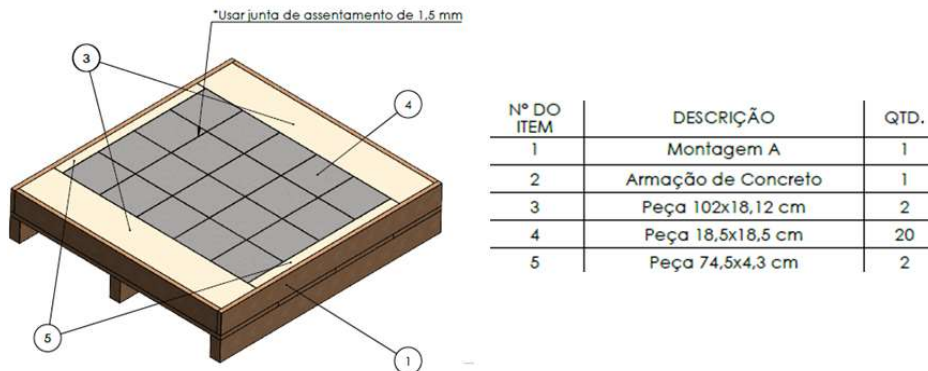
Fonte: Autora (2024).

No interior do suporte foi preparado um contrapiso com concreto armado, justamente para impedir qualquer dano ao conjunto no momento do transporte do mesmo com empilhadeira.

Sobre esse contrapiso foram então assentados os corpos de prova já preparados na etapa anterior. Para garantir a utilização efetiva da área de teste pelos transeuntes, foram empregadas peças auxiliares ao longo das laterais que fazem contato com a parede e na borda adjacente à calçada.

Essas peças auxiliares tiveram também a finalidade de facilitar os testes que foram conduzidos nesta superfície posteriormente. A Figura 16 mostra a simulação do protótipo com peças assentadas. O conjunto composto pelo suporte, contrapiso em concreto armado e corpos de prova assentados serão denominados a partir de agora por protótipos.

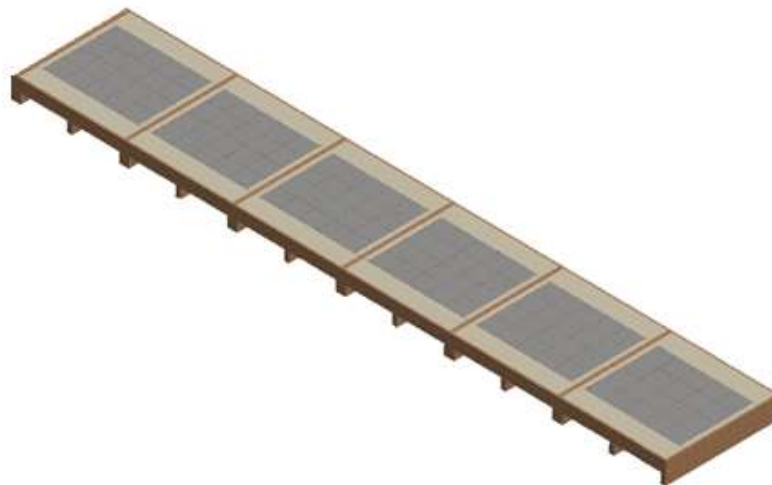
Figura 16 – Protótipo: Suporte + contrapiso + revestimentos



Fonte: Autora (2024).

Para a execução deste projeto, foram demandados seis protótipos, como demonstrado na Figura 17.

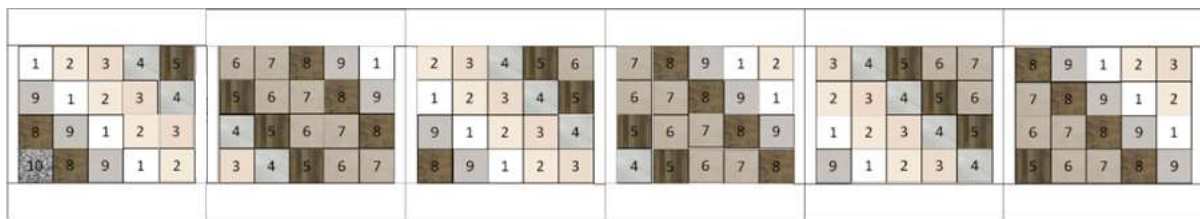
Figura 17 – Disposição dos protótipos



Fonte: Autora (2024).

O mapa de assentamento das peças é apresentado na Figura 18. No conjunto, foi necessário empregar entre 12 a 15 corpos de prova para cada um dos produtos selecionados. Optou-se por organizar as peças, de cada tipo de superfície, de forma diagonal, visando minimizar possíveis erros decorrentes de padrões de tráfego preferenciais que poderiam ser adotados pelos transeuntes.

Figura 18 – Mapa de assentamento

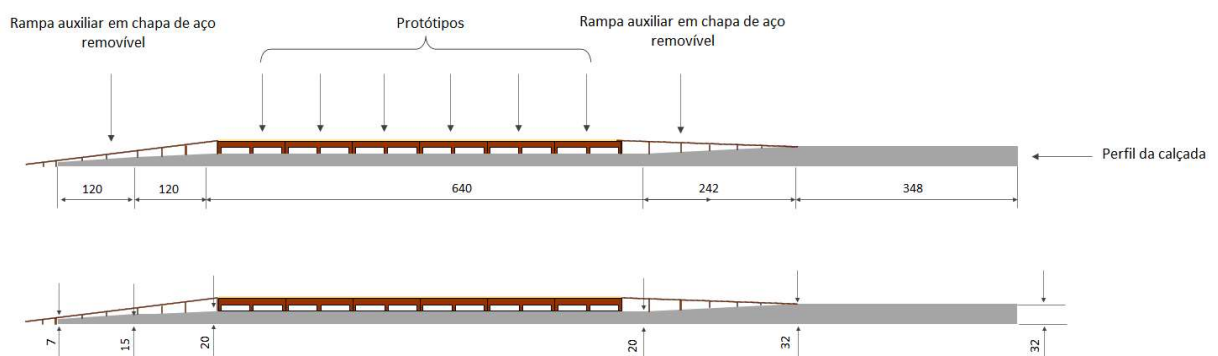


- 1 Placa cerâmica brilhante
- 2 Porcelanato Não Esmaltado Natural
- 3 Porcelanato Não Esmaltado Polido
- 4 Porcelanato Esmaltado Polido
- 5 Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo
- 6 Porcelanato Esmaltado granilhado
- 7 Porcelanato Esmaltado Acetinado
- 8 Porcelanato Esmaltado com cobertura
- 9 Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado

Fonte: Autora (2024).

Para tornar o local mais acessível, a Figura 19 mostra a vista lateral da área de teste, onde foram projetadas rampas removíveis em aço para nivelar a calçada, garantindo a segurança das pessoas que por aí transitaram.

Figura 19 – Vista lateral da área de teste



Fonte: Autora (2024).

As amostras foram fixadas com argamassa ACI, visando facilitar a remoção dos corpos de prova para análises posteriores.

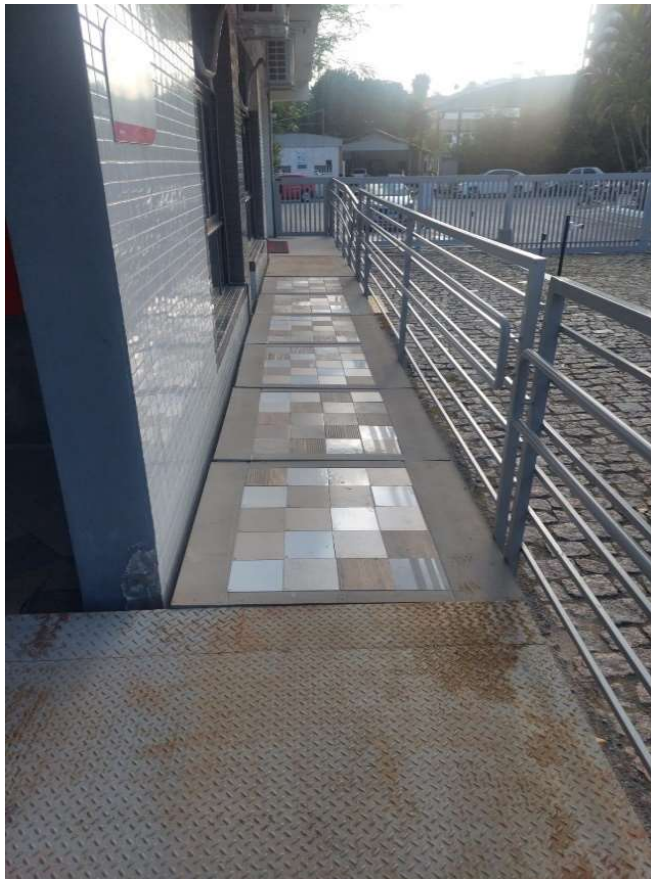
Os protótipos confeccionados estão demonstrados na Figura 20 e a Figura 21 mostra imagem dos protótipos dispostos na área de teste.

Figura 20 – Protótipos assentados



Fonte: Autora (2024).

Figura 21 – Protótipos assentados na área de teste



Fonte: Autora (2024).

3.3.9. Cronograma de análise da área de teste

Após a disposição dos protótipos na área de teste, os mesmos foram periodicamente retirados da calçada com auxílio de uma empilhadeira e remanejados para o laboratório, onde foram realizadas todas as análises já citadas anteriormente.

Assim que essas análises foram concluídas, os protótipos foram dispostos novamente na calçada, e assim todo esse processo foi realizado sucessivamente. A cada período o número de transeuntes que passaram sobre a área de teste foi contabilizado por meio dos registros das catracas que ficam logo após a essa área.

Os protótipos foram dispostos na área de testes por 4 períodos conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 8 – Etapas de análise da Área de testes

Período	Nº de Transeuntes
Etapa 1	95.546
Etapa 2	231.015
Etapa 3	394.405
Etapa 4	548.069

Fonte: Autora (2024).

A Tabela 8 apresenta a quantidade de pedestres que atravessaram a área de teste durante os períodos especificados. A etapa 2 reflete a soma do número de pedestres contabilizados na etapa 1 com aqueles que passaram pela área durante a etapa 2, até o momento em que o protótipo foi removido da área de teste. O mesmo se repete para as etapas posteriores.

Com base nos resultados da área de teste, foi possível construir gráficos de desgaste reais, apresentando informações sobre o desempenho de brilho, rugosidade e resistência ao escorregamento/coeficiente de atrito em relação ao número de pessoas que transitaram pela área.

3.4 COMPARATIVO DE DESGASTE: PROTÓTIPOS X LABORATÓRIO

Foram comparadas as curvas de desgaste da área de teste em função do número de pessoas que a transitaram, com aquelas obtidas a partir do desgaste segundo as normas ISO e UNE em relação ao número de giros.

Essa análise, junto às equações previamente estabelecidas pelas curvas de desgaste laboratorial de brilho e rugosidade, proporcionou a determinação do número de giros necessário para que cada método reproduzisse o mesmo desgaste observado na área de teste, resultante do trânsito de um determinado número "x" de pessoas.

3.4.1 Quantificação de material removido por meio de MEV

Após a conclusão da fase de análise das características técnicas, tais como brilho, coeficiente de atrito e rugosidade, um novo conjunto de corpos de prova foi incorporado ao protótipo para cada uma das superfícies avaliadas. Esses protótipos foram novamente instalados na área de teste, dando início a um novo ciclo de análise. A cada ciclo subsequente, os corpos de prova foram removidos dos protótipos para serem submetidos à análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Tabela 10 mostra o número de transeuntes em diferentes etapas ao longo do período definido. Cada etapa exibe uma progressão no número de pessoas que transitaram pela área, indicando um aumento gradual na intensidade do uso ao longo do tempo.

Tabela 9 – Etapas de análise de MEV da Área de testes

Período	Nº de Transeuntes
Etapa 1	96.013
Etapa 2	184.852
Etapa 3	528.425
Etapa 4	713.277

Fonte: Autora (2024).

A análise microestrutural da superfície dos corpos de prova cerâmicos investigados foi efetuada por microscopia eletrônica de varredura – MEV, utilizando-se um equipamento Microscópio JEOL JSM 6390 e Recobridora Danton Vacuum IV para recobrir a superfície de ouro.

Foram geradas 10 imagens de microscopia em cada superfície e em cada etapa do processo. Utilizando o software ImageJ, as áreas de desgaste foram quantificadas. A área de desgaste de cada etapa e de cada superfície corresponde à média das áreas medidas nas 10 imagens correspondentes. Após a quantificação das áreas de desgaste, foi realizado o cálculo do percentual de área desgastada por imagem utilizando a equação 2.

$$\%A_{Desgastada} = \frac{A_{desgaste}}{A_{total}}$$

Eq. 2

Onde:

$\%A_{Desgastada}$ = percentual de área desgastada (%);

$A_{desgaste}$ = área de desgaste (μm^2);

A_{total} = área total da imagem (μm^2);

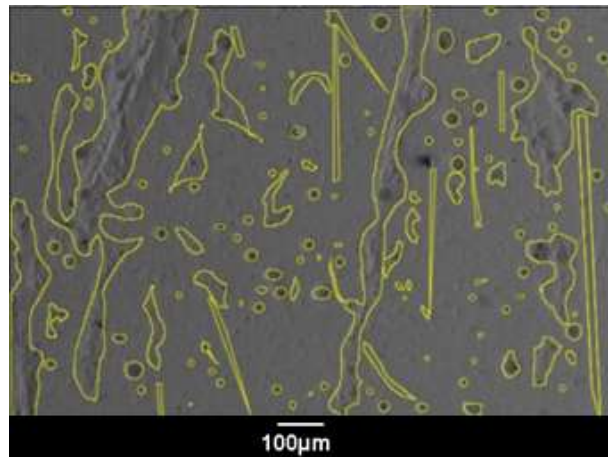
A Figura 22 ilustra a região selecionada de desgaste em uma superfície polida, onde as áreas amarelas representam as regiões desgastadas. As áreas associadas à porosidade foram consideradas como desgastadas, visto que os poros são imperfeições que tornam a superfície mais suscetível ao desgaste.

Além disso, procedeu-se com a quantificação das áreas porosas nas superfícies não desgastadas para uma comparação mais precisa. A área total desgastada foi então calculada utilizando-se a equação 3, onde A representa a área total desgastada.

$$A = A_{desgaste_{sup.desgastada}} + A_{porosidade_{sup.desgastada}} - A_{porosidade_{sup.original}}$$

Eq. 3

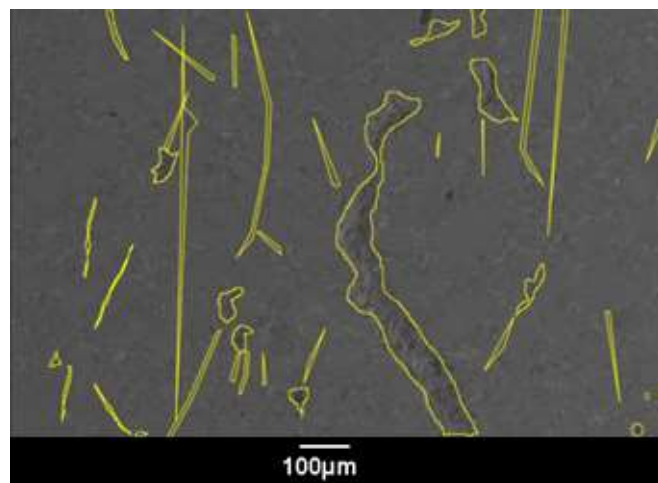
Figura 22 – MEV – Porcelanato Esmaltado Polido



Fonte: Autora (2024).

A Figura 23 mostra as áreas de desgaste da superfície de cerâmica brilhante, no qual o aspecto da área de desgaste é um pouco diferente, uma vez que a superfície não possui porosidade. Esse aspecto é semelhante ao que ocorre na superfície Acetinada e nas superfícies Naturais. Diante dessa similaridade, optou-se por adotar o mesmo procedimento metodológico para a quantificação da área desgastada nessas superfícies.

Figura 23 – MEV – Placa Cerâmica Brilhante



Fonte: Autora (2024).

Para as superfícies categorizadas como rugosas, incluindo Porcelanato Esmaltado com Cobertura, Porcelanato Esmaltado com Cobertura+Relevo e

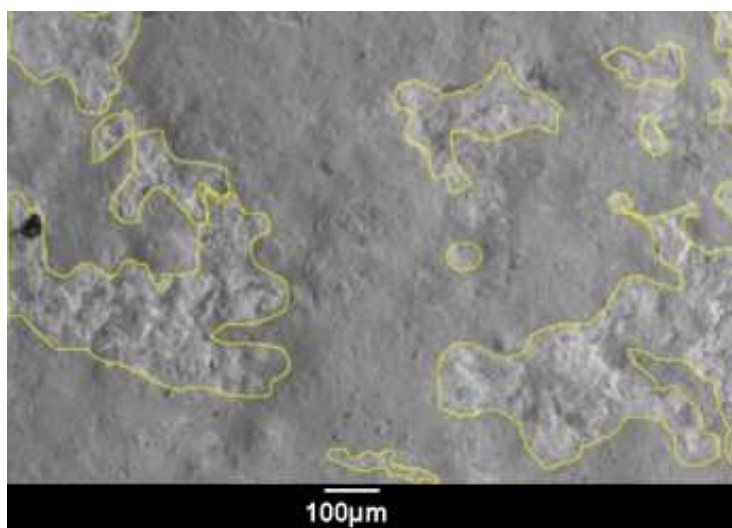
Porcelanato Esmaltado com Granilha, foi necessário implementar uma abordagem diferenciada devido às suas características únicas.

Observou-se que o desgaste nessas superfícies não se manifesta apenas pela remoção de material, mas principalmente pelo polimento das sobressalências, que gradativamente tornam-se mais niveladas e menos proeminentes.

Devido a essa particularidade, a quantificação das áreas de desgaste nessas superfícies foi realizada por meio de uma análise detalhada das regiões sobressalentes. Especificamente, buscou-se identificar e medir as áreas que exibiram sinais evidentes de polimento, indicando a transformação do relevo inicial devido ao processo de desgaste.

A Figura 24 mostra as áreas em amarelo que foram consideradas áreas de aplainamento das rugosidades.

Figura 24 – MEV – Porcelanato Granilhado



Fonte: Autora (2024).

A mesma quantificação de área foi realizada com as superfícies desgastadas, tanto seguindo a norma ISO quanto seguindo a norma UNE. Esse processo foi inicialmente conduzido em amostras submetidas a um tratamento abrasivo de 15, 20 e 45 giros.

3.5 PROPOSTA PARA MELHORIA DOS CONTROLES FABRIS

Atualmente existe uma grande dificuldade em realizar controles de superfície durante o processo de produção de revestimentos cerâmicos. A maioria dos controles utilizados é empírica, como por exemplo o controle de textura.

De acordo com Demarch (2019), a rugosidade mostrou boa correlação com a textura dos produtos e também com resultados de resistência ao escorregamento entre todos os métodos que utilizam Tortus, Bot e Pêndulo. Dessa forma, os parâmetros de rugosidade se tornaram uma opção para controle de características técnicas superficiais dos produtos cerâmicos, em especial em ambiente fabril, devido à facilidade de obtenção de resultados.

Outro ponto que dificulta o controle de características superficiais dos produtos cerâmicos é a grande quantidade de metodologias existentes para a determinação do coeficiente de atrito e da resistência ao escorregamento de superfícies cerâmicas. O controle de todos esses testes é inviável industrialmente, pois os testes são muito minuciosos e demandam muito tempo para a realização.

Diante disso, essa etapa do trabalho tem como objetivo validar o controle de rugosidade nas unidades fabris e estabelecer comparativo entre os parâmetros de rugosidade e valores de resistência ao escorregamento.

Para validar o controle no processo de produção, as medições de rugosidade foram realizadas em laboratório com rugosímetro SJ210 e na fábrica com outro rugosímetro de mesmo modelo. Os profissionais das fábricas passaram por treinamento para operar o equipamento.

Foram testados aproximadamente 140 produtos diferentes, sendo esses coletados uma vez por dia durante a produção, todos os dias úteis, por um período de aproximadamente 2 meses.

Após esse período de análise os parâmetros de rugosidade Rz foram comparados.

3.5.1 Padrão de Rz

Para a implantação do controle de rugosidade nas fábricas, foi necessário criar padrões a serem adotados e que estabelecem a conformidade e não conformidade dos produtos.

Optou-se por utilizar o parâmetro Rz como referência em detrimento de outros parâmetros pois o “*The UK Slip Resistance Group Guidelines*” fornece valores de referência relacionados ao potencial de queda das superfícies, assim como já citado anteriormente.

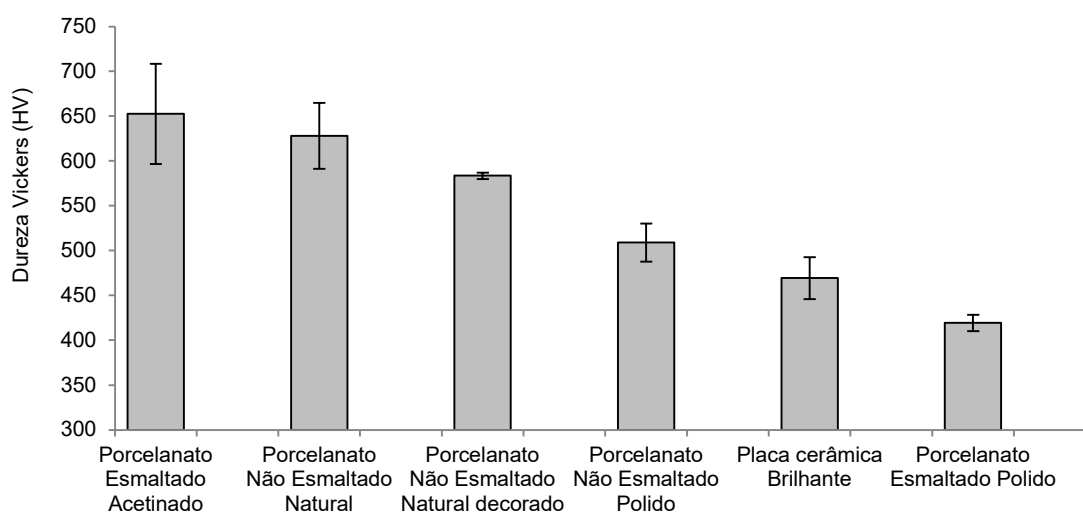
Sendo estabelecida a medição de rugosidade como um controle de rotina de fábrica na produção de revestimentos cerâmicos, sabe-se que não basta apenas se conhecer as características dos produtos, é necessário controlá-las e se estabelecer padrões de referência.

Foi utilizado como base o banco de dados criado no trabalho desenvolvido por Demarch (2019), que conta com a análise de Rz, coeficiente de atrito medido com DS, BOT e resistência ao escorregamento medido com o Pêndulo de 132 amostras de 8 superfícies diferentes de revestimentos cerâmicos (mesmas superfícies e produtos utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho), totalizando uma amostragem de 1.056 corpos de prova.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros testes avaliaram a dureza das superfícies sem desgaste; a Figura 25 mostra os resultados do teste de dureza Vickers de cada superfície. A Figura 26 mostra os resultados do ensaio de dureza Mohs.

Figura 25 – Dureza Vickers dos revestimentos avaliados

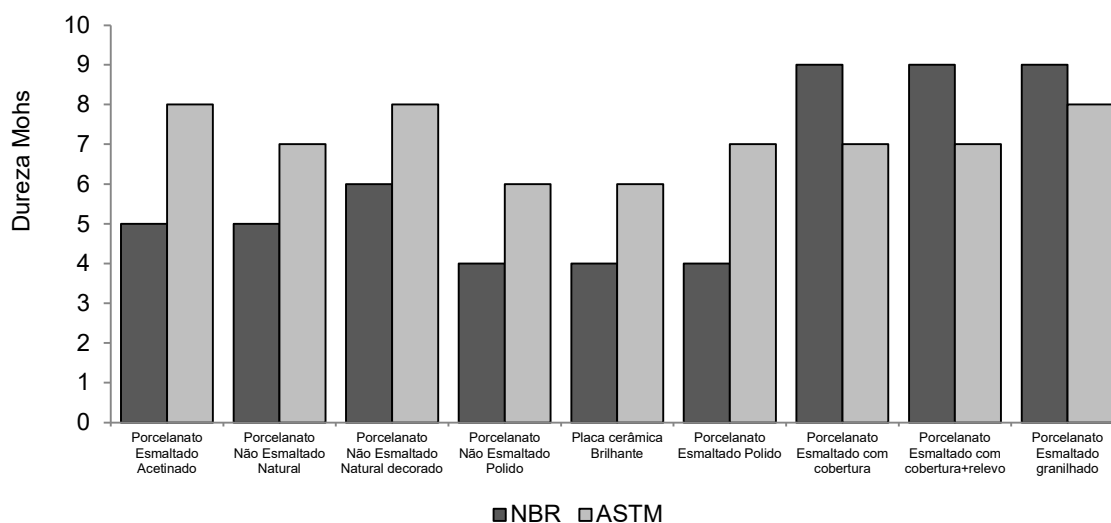


Fonte: Autora (2024).

A medição da dureza Vickers nas superfícies com rugosidade elevada foi inviável, uma vez que as irregularidades superficiais obstruíram a formação de uma impressão nítida pelo indentador. Entre as superfícies analisadas, o porcelanato acetinado exibiu a maior dureza, enquanto o porcelanato esmaltado polido registrou a menor dureza no conjunto de amostras testadas.

O gráfico relativo ao teste de dureza Mohs destaca discrepâncias significativas nos resultados que se alteram conforme o método de ensaio aplicado. Conforme a norma NBR, as superfícies rugosas atingiram uma dureza de nível 9. No entanto, quando avaliadas pelo método ASTM, essas mesmas superfícies apresentaram dureza nos níveis 7 e 8. Em contrapartida, para todas as outras superfícies analisadas, a metodologia ASTM indicou valores de dureza superiores.

Figura 26 – Dureza Mohs dos revestimentos avaliados



Fonte: Autora (2024).

O ensaio de Dureza Vickers acaba sendo inconclusivo para uma grande gama de revestimentos, em especial os que possuem grande rugosidade superficial, inviabilizando o uso do método, porém os testes de dureza Mohs possuem outro inconveniente, o da escala das pedras que não é gradativa. Portanto os métodos de dureza se mostraram inconclusivos.

A Tabela 10 apresenta a correlação entre os resultados de cada teste por meio da análise de correlação de Pearson. Observa-se uma correlação moderada entre os resultados do teste Vickers e o teste Mohs conforme a NBR. Entretanto, o ensaio de dureza Mohs seguindo o método ASTM não demonstra uma boa correlação com os outros dois métodos.

Tabela 10 – Correlação entre resultados de dureza

	Dureza Vickers	NBR	ASTM
Dureza Vickers	1		
NBR	0,72	1	
ASTM	0,62	0,42	1

Fonte: Autora (2024).

4.1 ANÁLISE DO DESGASTE LABORATORIAL E REAL

A seguir, serão exibidos gráficos que ilustram o desempenho de cada característica técnica avaliada, correspondente a diferentes condições: em ambiente laboratorial seguindo a norma ISO, em ambiente laboratorial aderindo à norma UNE, e em condições reais.

4.1.1 Análise de perda de massa

Foi constatado que a perda de massa em superfícies cerâmicas no ensaio de abrasão superficial ocorre de forma linear. Dessa forma, foi criado um gráfico em que se pode determinar o coeficiente linear e angular da equação de perda de massa, conforme equação 4.

$$y = a \cdot x + b$$

Eq. 4

Onde:

y = perda de massa (g);

x = número de giros;

a = coeficiente angular da reta (g/giros);

b = coeficiente linear da reta (g).

A equação final de perda de massa segue o modelo:

$$y = a \cdot x + b$$

$$0 = a \cdot 0 + b$$

$$0 = b$$

No caso estudado, o valor de b é igual a zero, pois sempre que o número de ciclos de abrasão, representado por x, for igual a zero, não há desgaste e o valor de perda de massa, representado por y, será igual a zero.

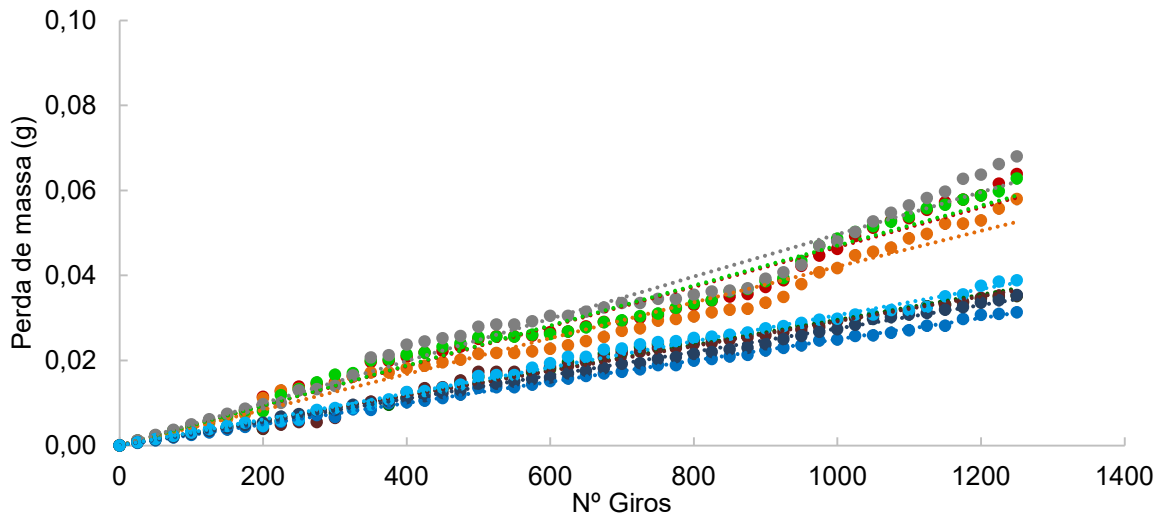
A Figura 27 apresenta a perda de massa das 9 superfícies avaliadas nos testes realizados de acordo com a norma ISO e a Figura 28 de acordo com o método

UNE; os pontos representam os pontos experimentais e a linha pontilhada representa a linha de tendência linear.

Os resultados individuais de cada corpo de prova estão detalhados no Anexo B para o método ISO e no Anexo E para o método UNE.

Figura 27 – Perda de massa dos revestimentos avaliados - método ISO:

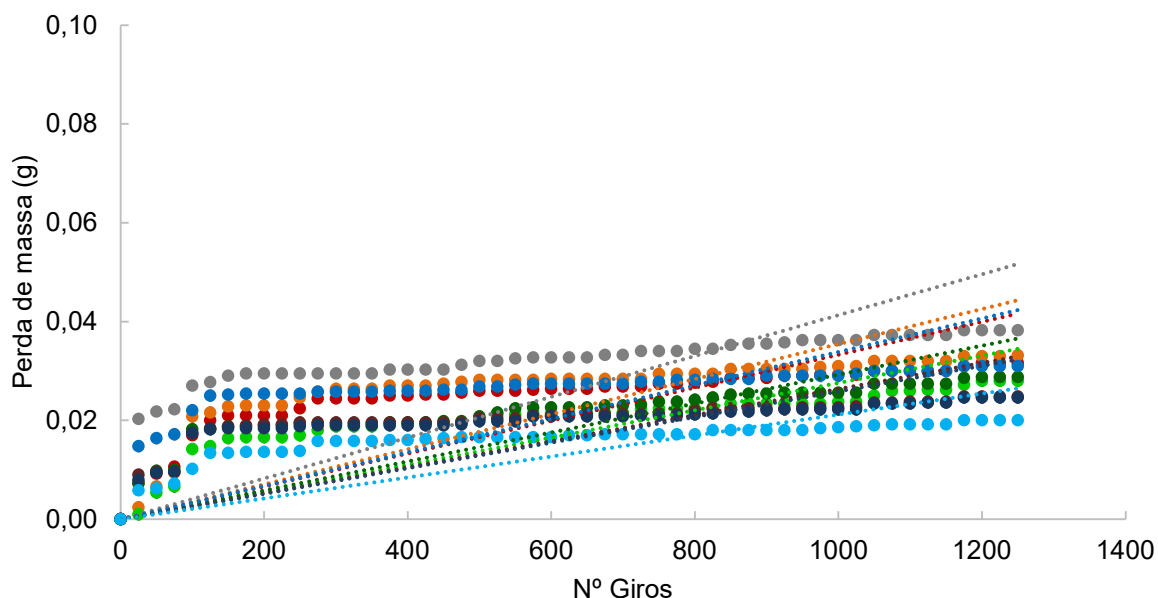
•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Figura 28 – Perda de massa dos revestimentos avaliados – método UNE:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Nos ensaios iniciais, até cerca de 500 a 700 giros, a perda de massa tende a ser maior sob a norma UNE em comparação com a ISO. Contudo, ao longo do tempo, a norma ISO demonstra uma perda de massa mais acelerada, como indicado pelos coeficientes angulares das equações de tendência, que serão apresentados mais a frente. Este padrão sugere que a norma ISO pode induzir um desgaste mais intenso em estágios avançados do teste.

Entretanto é importante destacar que no ensaio realizado de acordo com a norma UNE, o comportamento observado nos giros iniciais pode estar relacionado a problemas de medição, já que a perda de massa pode ter sido tão pequena, que o instrumento utilizado para medição pode não ter sido capaz de medir essa pequena variação de massa.

Na comparação entre as metodologias laboratoriais ISO e UNE para análise de perda de massa em superfícies cerâmicas, observa-se que ambas identificam a placa cerâmica brilhante como a que sofre maior remoção de material. Esse resultado é atribuído ao fato da superfície ser uma monoqueima, que implica em

uma queima a temperaturas mais baixas e utilização de um esmaltes compostos por fases vítreas, mais suscetível ao desgaste.

Diferenças notáveis entre as normas aparecem na análise de superfícies texturizadas como o porcelanato esmaltado com cobertura+relevo. Sob a UNE, essa textura resulta em menor desgaste devido à limitação de contato dos elementos abrasivos com a totalidade da superfície, fenômeno que não ocorre na metodologia ISO. No método UNE as borrachas do suporte de desgaste utilizado nessa metodologia não consegue entrar em contato com a parte baixa do relevo da superfície. Dessa forma se tem uma menor área de desgaste disponível, e conseqüentemente menor área desgastada e por conseqüente menor perda de material.

A Tabela 11 apresenta de forma crescente os produtos que apresentaram maior perda de massa no teste pelo método ISO; quanto maior for o coeficiente angular da reta, maior a perda de massa. Os valores de R² das equações foram excelentes, variando de 0,98 a 1,00, o que significa que a equação representa de forma precisa os pontos experimentais.

Tabela 11 – Equação de perda de massa – método ISO

Produto	Dureza Vickers	Equação	R²
Porcelanato Esmaltado granilhado	NA	$y = 2,50 \cdot 10^{-5}x$	1,00
Porcelanato Esmaltado com cobertura	NA	$y = 2,75 \cdot 10^{-5}x$	1,00
Porcelanato Esmaltado Acetinado	653	$y = 2,92 \cdot 10^{-5}x$	0,99
Porcelanato Esmaltado Polido	420	$y = 2,96 \cdot 10^{-5}x$	0,99
Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo	NA	$y = 3,07 \cdot 10^{-5}x$	0,99
Porcelanato Não Esmaltado Natural	628	$y = 4,21 \cdot 10^{-5}x$	0,98
Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado	582	$y = 4,67 \cdot 10^{-5}x$	0,98
Porcelanato Não Esmaltado Polido	509	$y = 4,70 \cdot 10^{-5}x$	0,98
Placa cerâmica brilhante	470	$y = 4,97 \cdot 10^{-5}x$	0,98

Fonte: Autora (2024).

O porcelanato esmaltado granilhado se destacou por sua excepcional resistência ao desgaste, evidenciando a menor perda de massa dentre as superfícies

testadas, seguido de perto pelo porcelanato esmaltado com cobertura. Este comportamento corrobora a hipótese de que as camadas de proteção - especificamente, a granilha no porcelanato esmaltado granilhado e o coríndon no porcelanato esmaltado com cobertura - desempenham um papel fundamental no desempenho das superfícies esmaltadas contra o desgaste.

Tal observação está em alinhamento com os princípios articulados por Archard (1980), que postulou a relação inversa entre a dureza superficial e o volume de material removido por desgaste. De acordo com testes de dureza conforme a NBR 13818, essas superfícies apresentaram as maiores durezas, corroborando a teoria de que superfícies mais duras tendem a resistir melhor ao desgaste.

O porcelanato esmaltado com cobertura+relevo, apesar de possuir também cobertura, não apresentou um desempenho tão satisfatório por conta do seu relevo; durante o processo de abrasão as partes mais angulosas do relevo acabam sendo desgastadas com mais facilidade.

Da mesma forma a Tabela 12, apresenta de forma crescente os produtos que apresentaram maior perda de massa provocada pelo desgaste da UNE. Os valores de R² das equações variaram de 0,85 a 0,91, valores um pouco menores quando comparados com os obtidos pelo método da ISO.

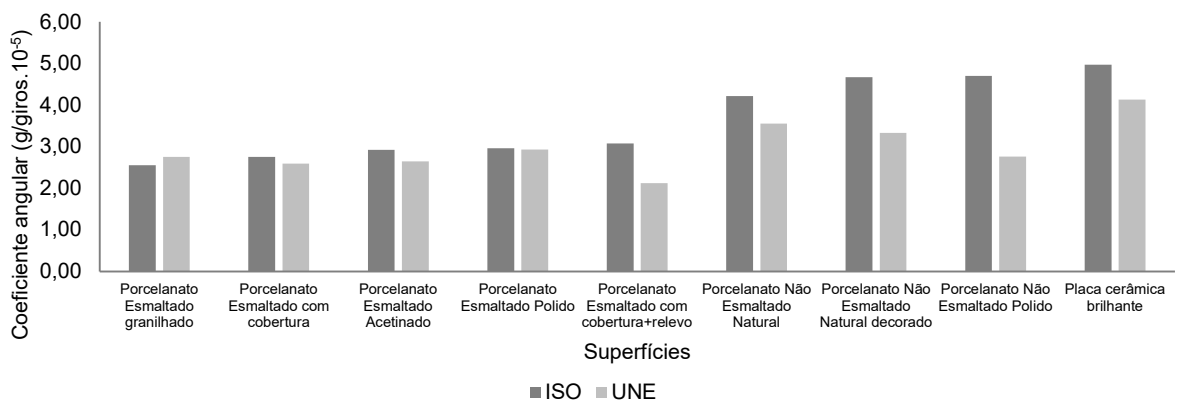
Tabela 12 – Equação de perda de massa – método UNE

Produto	Dureza Vickers	Equação	R ²
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevo	NA	$y = 2,12 \cdot 10^{-5}x$	0,87
Porcelanato esmaltado com cobertura	NA	$y = 2,59 \cdot 10^{-5}x$	0,86
Porcelanato esmaltado acetinado	653	$y = 2,64 \cdot 10^{-5}x$	0,86
Porcelanato esmaltado granilhado	NA	$y = 2,75 \cdot 10^{-5}x$	0,86
Porcelanato não esmaltado polido	509	$y = 2,76 \cdot 10^{-5}x$	0,91
Porcelanato esmaltado polido	420	$y = 2,93 \cdot 10^{-5}x$	0,89
Porcelanato não esmaltado natural decorado	582	$y = 3,33 \cdot 10^{-5}x$	0,88
Porcelanato não esmaltado natural	628	$y = 3,55 \cdot 10^{-5}x$	0,87
Placa cerâmica brilhante	470	$y = 4,13 \cdot 10^{-5}x$	0,85

Fonte: Autora (2024).

A Figura 29 mostra o comparativo dos coeficientes angulares expostos nas tabelas anteriores. O gráfico sugere que a norma ISO tende a ser mais agressiva em termos de perda de massa para a maioria dos materiais testados, exceto para o porcelanato esmaltado granilhado onde a UNE apresenta uma taxa de desgaste ligeiramente maior.

Figura 29 – Coeficientes angulares ISO x UNE

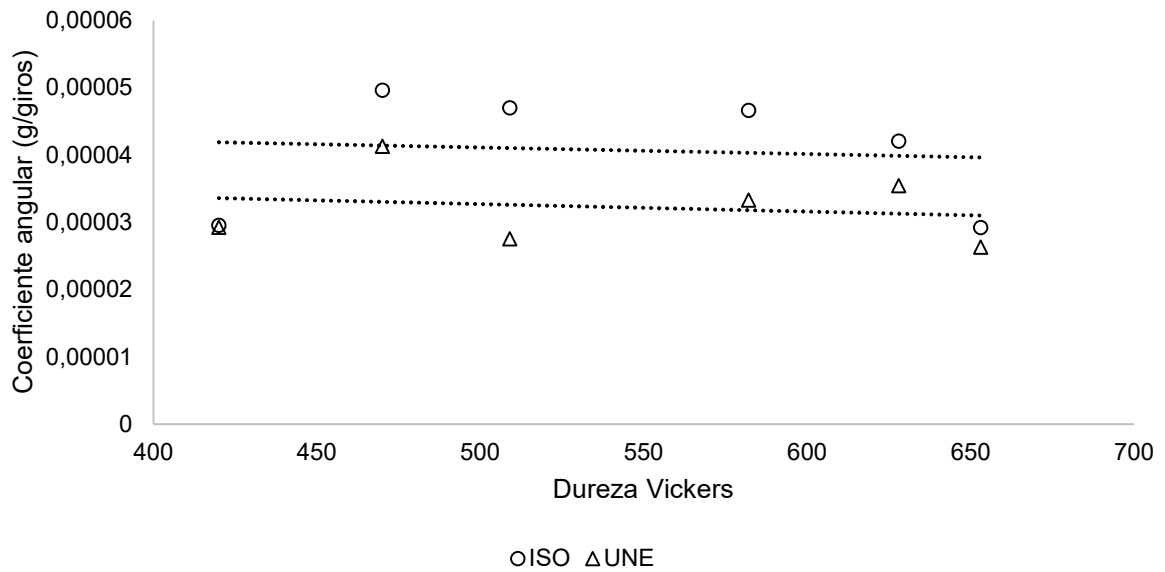


Fonte: Autora (2024).

Se percebe que os porcelanatos não esmaltados polido, natural e natural decorado apresentaram diferenças consideráveis no coeficiente angular, porém no porcelanato com cobertura+relevo essa diferença é ainda maior, pelos motivos já expostos anteriormente. Isso implica que, para alguns materiais, o procedimento ISO pode ser considerado muito mais exigente do que em outras superfícies em termos de massa removida.

A Figura 30 mostra a relação da dureza Vickers com o coeficiente angular da equação de remoção de material.

Figura 30 – Relação Dureza x Coeficientes Angulares



Fonte: Autora (2024).

Os pontos se dispersam horizontalmente sem uma tendência clara de aumento ou diminuição do coeficiente angular com o aumento da dureza Vickers. Isto sugere que dentro do intervalo de dureza apresentado, a dureza Vickers por si só não é um preditor claro da taxa de desgaste para nenhum dos dois métodos de teste, ISO e UNE.

Em alguns casos, produtos com maior dureza apresentam maior coeficiente angular, indicando maior facilidade de remoção de material. No entanto, é importante ressaltar que a relação proposta por Archard (1980) sugere que a dureza é inversamente proporcional ao volume de material removido. Neste estudo, a análise foi feita com base na massa removida, pois a quantificação do volume é inviável devido às limitações do método laboratorial utilizado.

4.1.2 Evolução do brilho

De acordo com o trabalho desenvolvido por Demarch (2019), a variação de brilho nas superfícies cerâmicas ocorre de forma exponencial; por isso, os gráficos que são discutidos a seguir mostraram linhas de tendência exponenciais.

Os testes de abrasão foram realizados até 1250 giros; até esse número de giros, a variação de brilho poderia ser simplificada para uma equação linear, porém

optou-se por adotar a equação exponencial pois, conforme comprovado em trabalhos anteriores, equações exponenciais descrevem melhor esse fenômeno físico.

A equação 5 foi utilizada para determinação da tendência do gráfico da Figura 31 e está expressa na Tabela 13.

$$y = c \cdot e^{k \cdot x}$$

Eq. 5

Onde:

y = Brilho (UB);

x = número de giros;

k = valor real (giros⁻¹);

c = brilho inicial (UB);

e = neperiano/nº Euler.

Sempre que o número de giros for igual a 0, ou seja, não há desgaste, o valor da evolução do brilho “y”, será igual a “c”, ou seja, o valor do brilho inicial da superfície:

$$y = c \cdot e^{k \cdot x}$$

$$y = c \cdot e^{k \cdot 0}$$

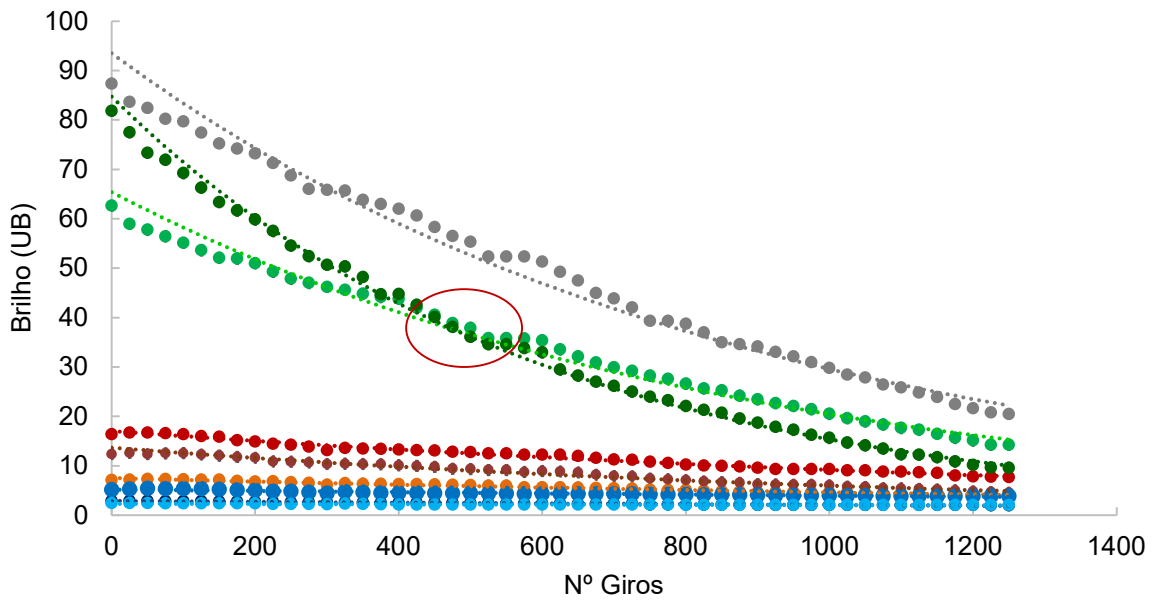
$$y = c$$

Quanto mais acentuada são as curvas exponenciais, maior é a velocidade da variação de brilho; portanto, quanto maior for o módulo de “k”, mais íngreme é a curva.

Nos gráficos apresentados a seguir não será possível observar exatamente uma curva, pois o número de ciclos de abrasão realizados não foi suficiente para chegar ao ponto em que ocorre a redução da variação de brilho e, portanto, se observar uma curva exponencial.

A Figura 31 mostra a evolução do brilho médio para cada superfície após o desgaste provocado pelo método ISO. Quanto maior a inclinação negativa da curva, maior é a variação de brilho da superfície em questão.

Figura 31 – Comportamento do brilho dos revestimentos avaliados - método ISO:
 •placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo

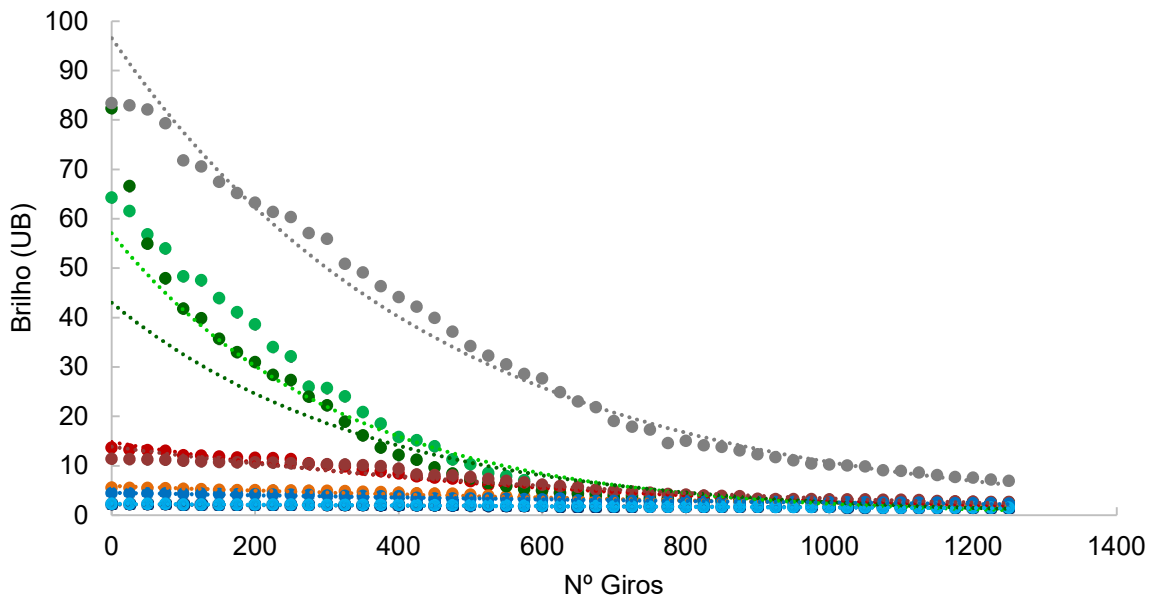


Fonte: Autora (2024).

O comportamento em destaque foi das três superfícies brilhantes, sendo que o porcelanato esmaltado polido tem o brilho reduzido de forma mais acentuada quando comparado com o porcelanato não esmaltado polido, tanto que em aproximadamente 400 giros de abrasão as linhas se cruzam; esse ponto está destacado por um círculo vermelho no gráfico.

A Figura 32 mostra o comportamento do brilho das superfícies após o desgaste ocasionado pelo teste seguindo norma UNE.

Figura 32 – Comportamento do brilho dos revestimentos avaliados – método UNE:
 •placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



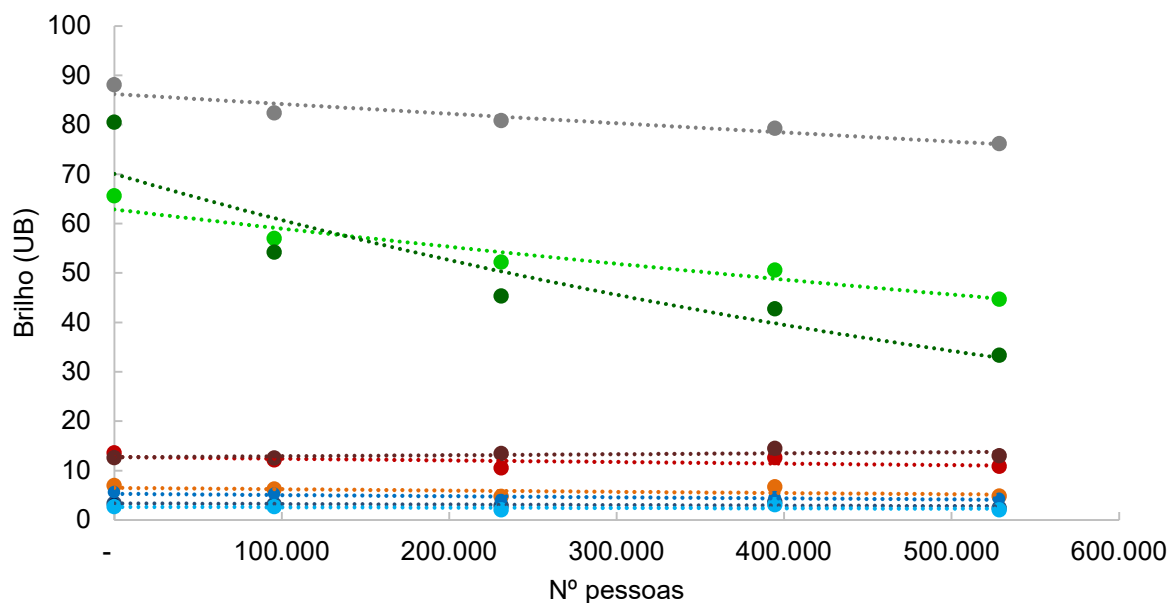
Fonte: Autora (2024).

Assim como o gráfico que retrata o comportamento de brilho após o desgaste pelo método ISO, este gráfico também evidencia que as superfícies mais brilhantes tendem a sofrer uma redução mais acentuada no brilho. É notável que, devido a maior intensidade de redução de brilho sob as condições de desgaste da UNE, a tendência exponencial de redução do brilho torna-se mais perceptível. Este fenômeno ressalta a sensibilidade das superfícies brilhantes ao desgaste.

A Figura 33 apresenta uma análise de todas as superfícies examinadas em condições reais de uso, com resultados médios indicados pelos pontos experimentais e a linha de tendência.

Figura 33 – Comportamento do brilho dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

As superfícies com brilho inicialmente mais pronunciado apresentam um comportamento distinto, revelando uma suscetibilidade marcante ao desgaste causado pelo movimento constante de pessoas. Entre elas, a superfície esmaltada polida é particularmente vulnerável, evidenciando uma diminuição do brilho notadamente mais acentuada. Esta observação é corroborada por evidências visuais, nas quais a superfície esmaltada polida demonstrou ser mais suscetível a manifestar sinais de desgaste com o trânsito contínuo de pessoas.

Além disso, os resultados dos testes em protótipos em condições reais não refletem a mesma tendência exponencial de redução de brilho observada em ensaios laboratoriais, o que sugere uma discrepância significativa entre os níveis de abrasão experimentados nos testes de laboratório e aqueles encontrados em uso cotidiano.

A Figura 34 destaca a análise das superfícies brilhantes após a circulação de pessoas. Nas imagens, nota-se, especialmente nos reflexos de luz, uma quantidade significativa de riscos, acompanhada da presença de sujidades

impregnadas nas cavidades desses riscos. A superfície esmaltada polida foi a mais afetada, experimentando uma redução significativa em seu brilho, conforme demonstrado no gráfico que expressa esse comportamento.

Em seguida, o porcelanato não esmaltado polido também apresentou uma intensa redução de brilho, além da impregnação de sujeiras. Por outro lado, a superfície da placa cerâmica brilhante foi a menos prejudicada visualmente, apesar de exibir alguns arranhões e sujidades impregnadas, porém em menor intensidade.

Figura 34 – Análise visual das superfícies brilhantes



Fonte: Autora (2024).

As imagens das demais superfícies após exposição ao desgaste em condições reais de uso estão disponíveis no Anexo N.

De acordo com Strey (2015), o desgaste em cerâmicas pode ocorrer pela incisão de partículas de desgaste e, conseqüente, propagação de trincas pré-existentes durante o contato em deslizamento. Este mecanismo se baseia na interação entre as propriedades mecânicas como a dureza e a severidade das condições de desgaste. Quando as tensões mecânicas excedem certos limites, ocorre uma propagação superficial de trincas, levando a um regime de desgaste considerado severo.

A Tabela 13 mostra as equações que representam a evolução do brilho das superfícies desgastadas pelo método ISO.

Tabela 13 – Equação de comportamento de brilho – método ISO

Produto	Equação	R²
Placa cerâmica brilhante	$y = 87,30.e^{-0,0011x}$	0,98
Porcelanato esmaltado polido	$y = 81,82.e^{-0,0017x}$	1,00
Porcelanato não esmaltado polido	$y = 62,70.e^{-0,0011x}$	0,99
Porcelanato não esmaltado natural decorado	$y = 16,40.e^{-0,00057x}$	0,98
Porcelanato esmaltado acetinado	$y = 12,40.e^{-0,00071x}$	0,96
Porcelanato não esmaltado natural	$y = 7,12.e^{-0,00042x}$	0,96
Porcelanato esmaltado granilhado	$y = 5,21.e^{-0,00027x}$	0,94
Porcelanato esmaltado com cobertura	$y = 2,89.e^{-0,00032x}$	0,97
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevô	$y = 2,40.e^{-0,000146x}$	0,73

Fonte: Autora (2024).

Os valores de R² apresentados na tabela mostram que apenas o porcelanato esmaltado com cobertura+relevô não apresentou valor de R² acima de 0,90.

As superfícies foram inseridas na tabela em ordem decrescente do valor de brilho inicial. As superfícies porcelanato esmaltado granilhado, porcelanato esmaltado com cobertura e porcelanato esmaltado com cobertura+relevô não irão apresentar sérios problemas relacionados à perda de brilho durante o uso, pois já possuem brilho baixo.

A Tabela 14 mostra as equações do comportamento de brilho após desgaste pela norma UNE.

Tabela 14 – Equação de comportamento de brilho – método UNE

Produto	Equação	R ²
Placa cerâmica brilhante	$y = 83,4.e^{-0,0021x}$	0,99
Porcelanato esmaltado polido	$y = 82,35.e^{-0,0036x}$	0,97
Porcelanato não esmaltado polido	$y = 64,3.e^{-0,0033x}$	0,99
Porcelanato não esmaltado natural decorado	$y = 13,6.e^{-0,0017x}$	0,98
Porcelanato esmaltado acetinado	$y = 11,4.e^{-0,0013x}$	0,95
Porcelanato não esmaltado natural	$y = 5,54.e^{-0,0008x}$	0,97
Porcelanato esmaltado granilhado	$y = 4,45.e^{-0,0005x}$	0,97
Porcelanato esmaltado com cobertura	$y = 2,21.e^{-0,0003x}$	0,97
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevo	$y = 2,10.e^{-0,0003x}$	0,98

Fonte: Autora (2024).

Comparando os valores de “k” das duas tabelas, percebe-se claramente que o método UNE proporciona maior redução de brilho do que o método ISO. De acordo com Demarch *et al.* (2024), o método UNE 138001 de fato tem um impacto maior no brilho das superfícies do que o método ISO, causando, portanto, uma abrasão mais intensa, ou seja, a abrasão causada pela borracha + quartzo do método UNE 138001 é mais intensa que a causada pela utilização de córindon + esferas de aço + água da norma ISO.

A Tabela 25, mostra as equações de tendência da evolução do brilho para as superfícies submetidas ao desgaste nos protótipos estudados.

Tabela 15 – Equação de comportamento brilho – condição real de uso

Produto	Equação	R ²
Porcelanato não esmaltado natural decorado	$y = 12,78e^{-0,0000002769x}$	0,34
Porcelanato não esmaltado natural	$y = 6,54e^{-0,0000004372x}$	0,28
Porcelanato não esmaltado polido	$y = 62,90e^{-0,000000640x}$	0,92
Porcelanato esmaltado polido	$y = 70,08e^{-0,000001432x}$	0,86
Placa cerâmica brilhante	$y = 86,25e^{-0,000000236x}$	0,89
Porcelanato esmaltado acetinado	$y = 12,74e^{0,000000153x}$	0,29
Porcelanato esmaltado com cobertura	$y = 3,39e^{-0,000000352x}$	0,19
Porcelanato esmaltado granilhado	$y = 5,33e^{-0,000000481x}$	0,58
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevo	$y = 2,69e^{-0,000000283x}$	0,08

Fonte: Autora (2024).

Os valores de R² observados nos ensaios conduzidos em condições reais revelaram-se inferiores aos obtidos em testes laboratoriais, evidenciando a complexidade intrínseca ao monitoramento e controle das variáveis em ambientes naturais. Esta discrepância reforça a noção de que o ambiente real envolve a influência de aspectos ambientais e variação da carga abrasiva, por exemplo, o que pode reduzir a significância estatística dos resultados.

A equação 6 será utilizada para demonstrar o comportamento do brilho em termos relativos, ou seja, para avaliar a alteração relativa (percentual) do brilho nos testes realizados. Ou seja, todas superfícies analisadas possuem originalmente 100% do seu brilho original:

$$y = e^{k.x}$$

Eq. 6

Onde:

y = evolução do brilho (%);

x = número de giros;

k = valor real;

e = neperiano/nº Euler.

Sempre que o número de giros for igual a 0, ou seja, não há desgaste, o valor da evolução do brilho “y”, será igual a 1, ou seja, o brilho não teve nenhuma alteração (está com o valor original), pois qualquer número elevado à potência 0 é igual a 1:

$$y = e^{k.x}$$

$$y = e^{k.0}$$

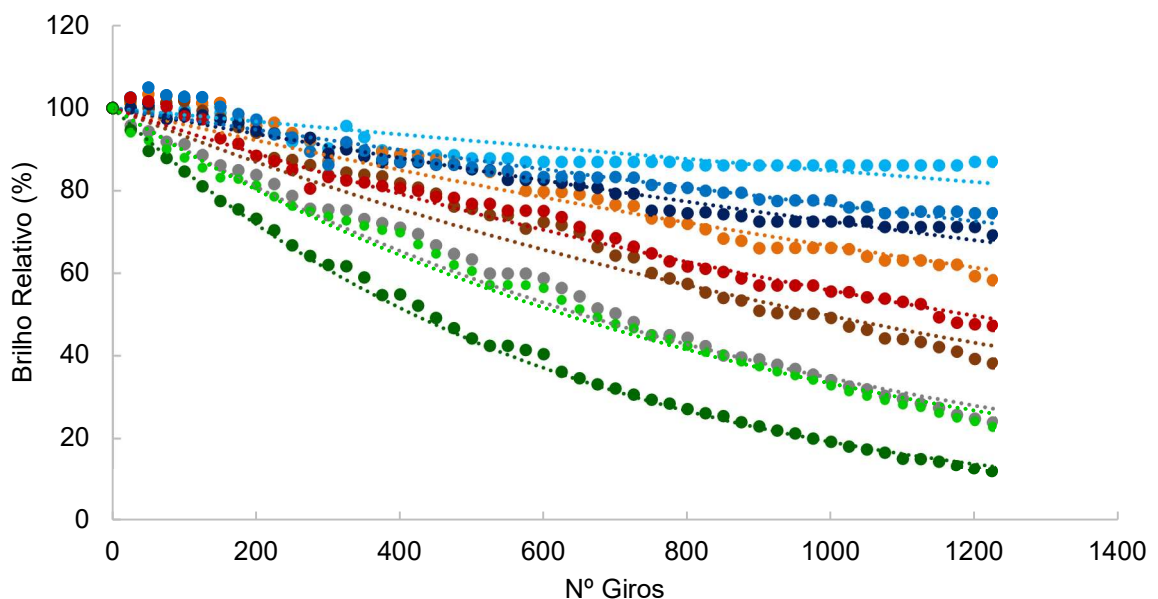
$$y = 1$$

Os resultados individuais de cada corpo de prova estão detalhados no Anexo C para o método ISO, no Anexo F para o método UNE e no Anexo H para as condições reais de uso.

A Figura 35 mostra o comportamento do brilho relativo de todas as superfícies submetidas ao desgaste pelo método ISO

Figura 35 – Comportamento do brilho relativo dos revestimentos avaliados - método ISO:

- placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Nos porcelanatos não esmaltado natural e natural decorado, estes começaram com um brilho baixo e tiveram um pequeno aumento antes de uma redução gradual do brilho. A incapacidade da equação de capturar o pequeno aumento inicial do brilho sugere uma complexidade que a modelagem simples não pode representar.

Nas superfícies brilhantes, comparativamente, as mesmas apresentaram uma queda abrupta no brilho desde o início dos testes de abrasão.

Percebe-se claramente que o porcelanato esmaltado polido foi o que apresentou a redução de brilho mais acentuada, seguido pelas outras duas superfícies brilhantes, placa cerâmica brilhante e porcelanato não esmaltado polido, que apresentaram curvas bastante próximas.

O porcelanato esmaltado acetinado apresentou um pequeno incremento no brilho inicialmente, seguido por uma redução. A redução foi mais intensa do que nas superfícies naturais, mas significativamente menos intensa do que nas superfícies brilhantes.

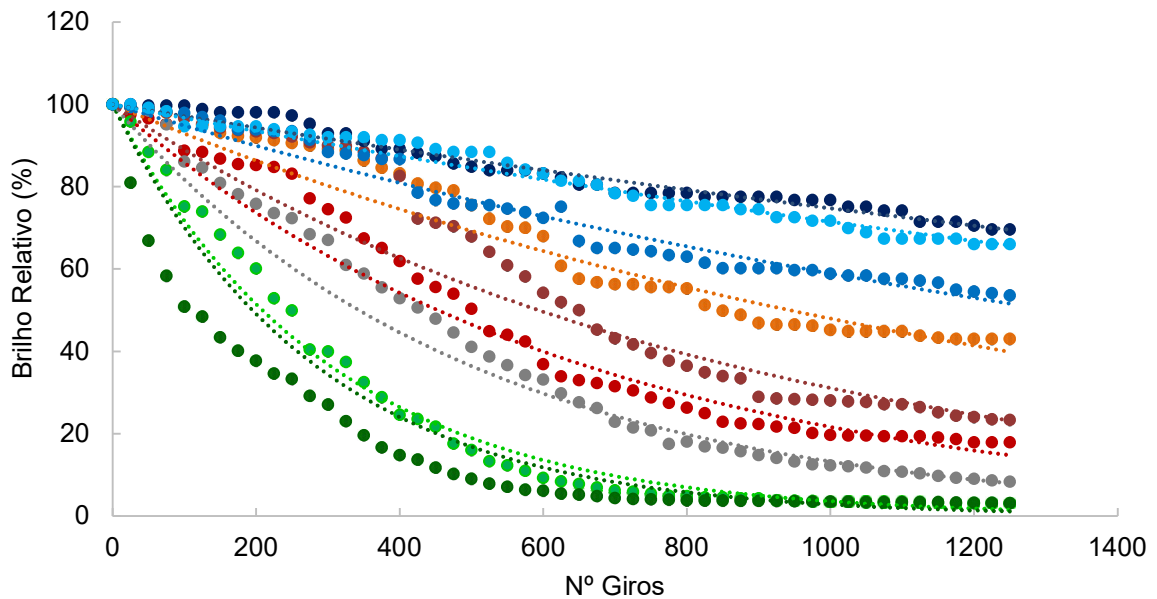
As superfícies rugosas mostraram redução de brilho ainda menos acentuada. Isso é indicativo de sua maior durabilidade em termos de manutenção do brilho sob abrasão. O porcelanato esmaltado com cobertura teve a menor redução de brilho entre as superfícies estudadas dessa classe, refletindo sua robustez contra o desgaste.

Os resultados realçam a influência do tratamento da superfície no desempenho sob desgaste e na manutenção do brilho. Enquanto algumas amostras exibiram redução de brilho com menor número de giros e de forma mais acentuada, outras mostraram uma resistência notável, oferecendo informações valiosas para consumidores e fabricantes na seleção de materiais para aplicações específicas.

A Figura 36 mostra o desempenho do brilho relativo de todas as superfícies submetidas ao desgaste pelo método UNE.

Figura 36 – Comportamento de brilho relativo dos revestimentos avaliados - método UNE:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Na superfície do porcelanato não esmaltado natural decorado manteve uma redução de brilho gradual e constante, sem o incremento inicial ocasionado no método ISO.

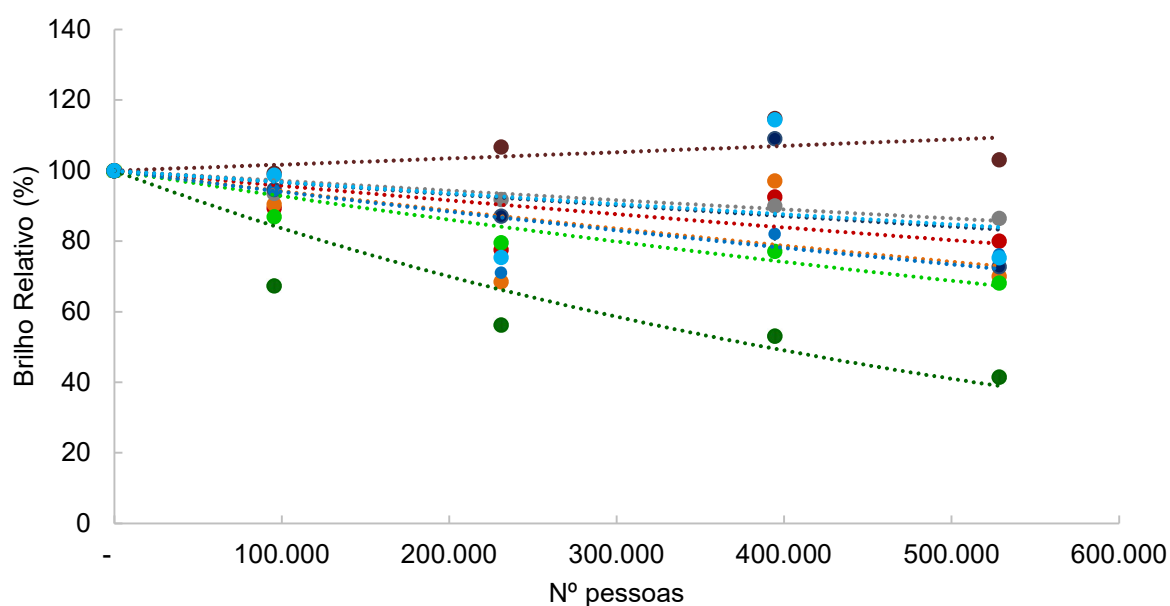
Já o porcelanato esmaltado acetinado mostrou redução de brilho inicialmente menos acentuada até cerca de 400 giros, aumentando posteriormente. Percebe-se claramente que a superfície do porcelanato esmaltado polido foi a que apresentou redução de brilho mais acentuada, seguida pelas outras duas brilhantes, porcelanato não esmaltado polido e placa cerâmica brilhante.

Para superfícies rugosas, a redução de brilho foi menos intensa devido à maior rugosidade, mas com maior variação entre as peças, possivelmente por causa da baixa refletividade inicial e desafios de medição em superfícies com relevo. As superfícies com cobertura e com granilha foram as que tiveram redução de brilho menos intensa.

A Figura 37 mostra a evolução do brilho em termos relativos das superfícies expostas ao trânsito de pessoas nos protótipos.

Figura 37 – Comportamento de brilho relativo dos revestimentos avaliados –
Condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Conforme discutido, o porcelanato esmaltado polido registrou uma redução acentuada nos valores de brilho ao longo dos testes. Nas demais superfícies brilhantes, como o porcelanato não esmaltado polido e a placa cerâmica brilhante, observou-se uma leve redução no brilho, sendo um pouco mais pronunciada na superfície polida.

O porcelanato esmaltado acetinado apresentou aumento do brilho até o trânsito de 400.000 pessoas, possivelmente pois nos estágios iniciais de desgaste, sua rugosidade foi sendo removido, num processo similar a um polimento. Porém como o R^2 é baixo para o brilho em condições reais, provavelmente esse incremento de brilho pode indicar uma anomalia não significativa.

Na Tabela 16 são mostrados os coeficientes “k” das equações exponenciais de comportamento de brilho relativo de cada superfície desgastadas pelo método ISO, UNE e Real, bem como seus respectivos valores de R²:

Tabela 16 – Coeficiente “k” da equação de comportamento de brilho

Superfícies	ISO		UNE		Real	
	k (giros ⁻¹)	R ²	k (giros ⁻¹)	R ²	k (pessoas ⁻¹)	R ²
Porcelanato esmaltado polido	-1,66.10 ⁻³	1,00	-3,56.10 ⁻³	0,97	-1,78.10 ⁻⁶	0,87
Porcelanato não esmaltado polido	-1,11.10 ⁻³	0,99	-3,33.10 ⁻³	0,99	-7,48.10 ⁻⁷	0,92
Placa cerâmica brilhante	-1,07.10 ⁻³	0,98	-2,02.10 ⁻³	0,99	-2,91.10 ⁻⁷	0,90
Porcelanato esmaltado acetinado	-7,10.10 ⁻⁴	0,96	-1,17.10 ⁻³	0,95	1,70.10 ⁻⁷	0,29
Porcelanato não esmaltado natural decorado	-5,70.10 ⁻⁴	0,98	-1,53.10 ⁻³	0,98	-4,38.10 ⁻⁷	0,35
Porcelanato não esmaltado natural	-4,10.10 ⁻⁴	0,96	-7,30.10 ⁻⁴	0,97	-5,97.10 ⁻⁷	0,28
Porcelanato esmaltado com cobertura	-3,20.10 ⁻⁴	0,97	-2,90.10 ⁻⁴	0,97	-3,44.10 ⁻⁷	0,19
Porcelanato esmaltado granilhado	-2,70.10 ⁻⁴	0,93	-5,30.10 ⁻⁴	0,97	-5,46.10 ⁻⁷	0,46
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevo	-1,60.10 ⁻⁴	0,60	-2,70.10 ⁻⁴	0,94	-3,30.10 ⁻⁷	0,08

Fonte: Autora (2024).

Na tabela se destaca a superfície acetinada como uma exceção aos padrões observados em ambiente laboratorial, evidenciando um comportamento único na evolução do brilho ao longo do desgaste: seu coeficiente "k" assume um valor positivo. Isso indica que, diferentemente das outras superfícies testadas, cujo brilho tipicamente diminui com o desgaste, a superfície acetinada pode na verdade apresentar um aumento de brilho conforme é desgastada, sugerindo uma dinâmica de desgaste atípica em comparação com os demais tipos de superfície avaliados.

Os coeficientes "k" obtidos em condições reais de uso são consideravelmente menores em módulo, do que aqueles derivados de testes de laboratório, o que sinaliza que os procedimentos laboratoriais impõem um regime de desgaste substancialmente mais agressivo em comparação com as condições encontradas no uso cotidiano.

Esta diferença sugere que os parâmetros de desgaste em laboratório podem estar amplificados, oferecendo uma perspectiva mais rigorosa da resistência dos materiais do que seria tipicamente experimentada em ambientes reais.

Em uma análise geral, é evidente que a redução do brilho causada pelo método UNE é mais significativa do que a redução do brilho provocada pelo método ISO. No entanto, é importante destacar que a norma ISO avalia apenas a alteração de cor, enquanto o brilho é negligenciado.

Isso significa que a norma ISO se concentra principalmente na mudança de cor das superfícies cerâmicas devido ao desgaste, sem levar em consideração a redução do brilho. Portanto, ao usar o método UNE, que considera a redução do brilho, pode-se obter uma avaliação mais completa dos efeitos da abrasão em cerâmicas, incluindo tanto a mudança de cor quanto a alteração do brilho, fato evidenciado no estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2006).

4.1.3 Evolução de Rz

O desgaste provocado nas superfícies cerâmicas, como já mostrado em gráficos, remove massa da sua superfície e altera sua aparência, conforme também já apresentado nos gráficos de redução de brilho.

De acordo com Oliveira e Alarcon (2011), no caso de cerâmicas submetidas ao desgaste pelo método utilizado nesse trabalho, a remoção de material ocorre devido ao movimento de partículas mais duras que o material cerâmico, sob a ação de forças de natureza mecânica normais e paralelas à superfície, produzindo o riscamento e, posteriormente, o lascamento e remoção de material. O processo de fratura frágil, o qual é observado na maioria dos materiais cerâmicos, é um processo no qual a fratura ocorre com pequena ou nenhuma deformação plástica.

Este desprendimento de material modifica o perfil de rugosidade superficial. Portanto, serão detalhados a seguir os valores de Rz das superfícies ao longo do processo de desgaste resultante dos ciclos de abrasão.

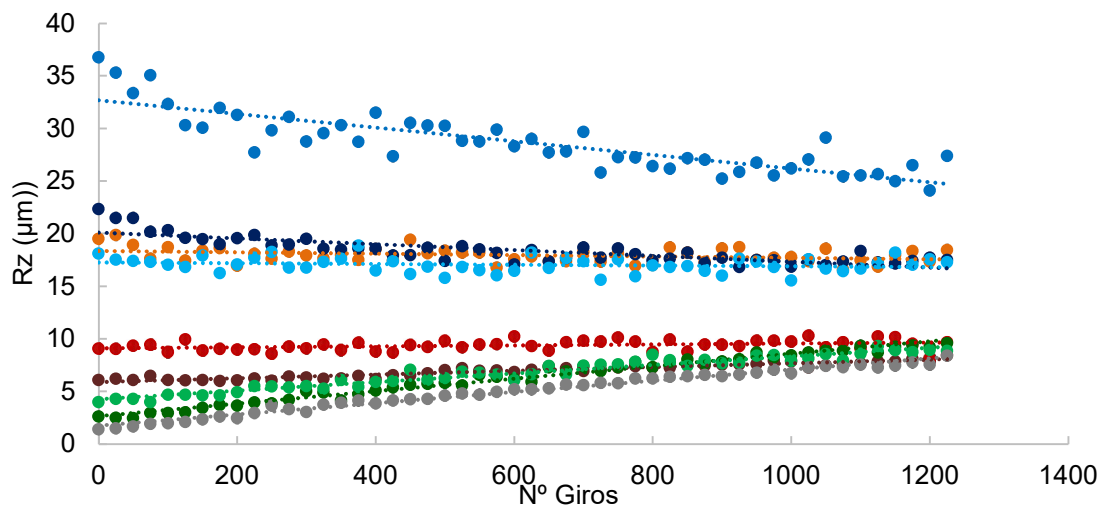
Optou-se por se avaliar Rz e não outros parâmetros de rugosidade, pois conforme já comentado, os valores de Rz se relacionam linearmente a quase todos os parâmetros, e ele é utilizado como um indicador potencial de resistência ao escorregamento, conforme "*The UK Slip Resistance Group Guidelines*".

Os resultados individuais de cada corpo de prova estão detalhados no Anexo D para o método ISO, no Anexo G para o método UNE e no Anexo I para as condições reais de uso.

A Figura 38, 39 e 40, representam os valores médios de Rz, refletindo a rugosidade das superfícies submetidas ao desgaste, conforme as normas ISO e UNE em laboratório, e também em condições reais de uso, respectivamente.

Figura 38 – Comportamento de Rz dos revestimentos avaliados – método ISO:

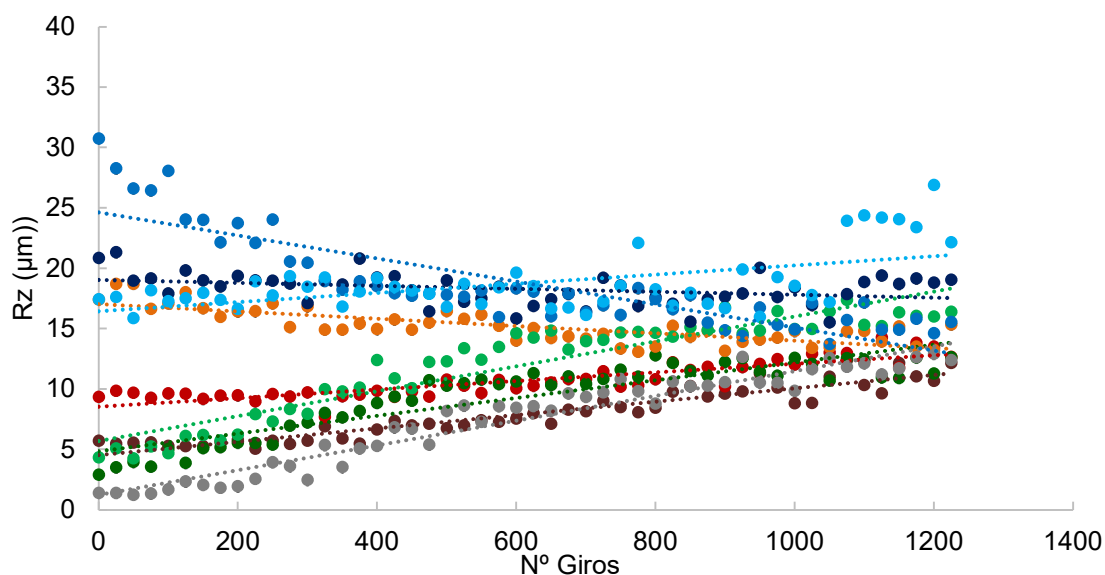
•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Figura 39 – Comportamento de Rz dos revestimentos avaliados – método UNE:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

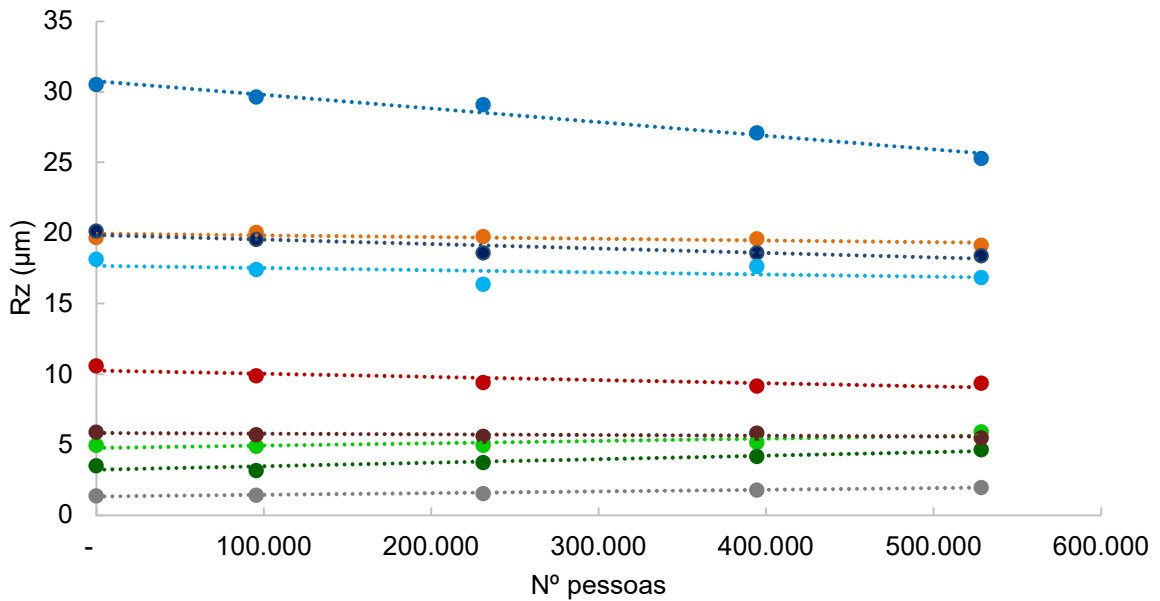
Superfícies naturais, como porcelanato não esmaltado natural decorado e porcelanato não esmaltado natural, mantiveram sua rugosidade relativamente constante durante o teste, tanto pela norma ISO quanto pela norma UNE.

Superfícies brilhantes, ao contrário, tiveram um aumento no Rz após abrasão. O porcelanato esmaltado acetinado teve uma elevação no Rz após o desgaste.

Por fim, superfícies rugosas como porcelanato esmaltado com cobertura e granilhado apresentaram uma diminuição no Rz, sugerindo uma mudança na classificação do potencial de escorregamento sugerida pelo *The UK Slip Resistance Group Guidelines*.

Figura 40 – Comportamento de Rz dos revestimentos avaliados – Condição real de uso:

- placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Nas condições reais de uso nota-se que, para a superfície granilhada, que possui um Rz inicial em torno de 30 µm, houve uma leve redução no valor de Rz.

As demais superfícies não apresentaram nenhuma alteração significativa ao longo do trânsito de pessoas.

A equação 7 é uma equação linear do comportamento de Rz, conforme descrito a seguir:

$$y = a \cdot x + b$$

Eq. 7

Onde:

y = Rz final (µm);

x = número de giros;

a = coeficiente angular da reta (µm/giros);

b = Rz Inicial (µm).

A Tabela 17, Tabela 18 e Tabela 19 mostram as equações do comportamento de Rz nas condições de desgaste laboratorial seguindo normas ISO e UNE e nas condições reais de uso, respectivamente.

Tabela 17 – Equação do comportamento de Rz - método ISO

Produto	Equação	R²
Placa cerâmica brilhante	$y = 5,3 \cdot 10^{-3}x + 1,76$	0,98
Porcelanato esmaltado polido	$y = 5,9 \cdot 10^{-3}x + 2,67$	0,98
Porcelanato não esmaltado polido	$y = 4,1 \cdot 10^{-3}x + 4,27$	0,94
Porcelanato esmaltado acetinado	$y = 1,8 \cdot 10^{-3}x + 5,91$	0,91
Porcelanato não esmaltado natural decorado	$y = 4,5 \cdot 10^{-4}x + 9,15$	0,12
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevô	$y = -4,0 \cdot 10^{-4}x + 17,27$	0,03
Porcelanato não esmaltado Natural	$y = -6,0 \cdot 10^{-4}x + 18,37$	0,11
Porcelanato esmaltado com cobertura	$y = -2,8 \cdot 10^{-3}x + 20,11$	0,67
Porcelanato esmaltado granilhado	$y = -6,5 \cdot 10^{-4}x + 32,69$	0,72

Fonte: Autora (2024).

Tabela 18 – Equação do comportamento de Rz – método UNE

Produto	Equação	R²
Placa cerâmica brilhante	$y = 1,01 \cdot 10^{-2}x + 1,32$	0,93
Porcelanato esmaltado polido	$y = 7,10 \cdot 10^{-3}x + 4,96$	0,79
Porcelanato não esmaltado polido	$y = 1,01 \cdot 10^{-2}x + 5,79$	0,87
Porcelanato esmaltado acetinado	$y = 5,50 \cdot 10^{-3}x + 4,54$	0,90
Porcelanato não esmaltado natural decorado	$y = 3,50 \cdot 10^{-3}x + 8,55$	0,78
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevô	$y = -3,90 \cdot 10^{-3}x + 16,41$	0,33
Porcelanato não esmaltado Natural	$y = -2,9 \cdot 10^{-3}x + 17,00$	0,61
Porcelanato esmaltado com cobertura	$y = -1,11 \cdot 10^{-3}x + 18,99$	0,10
Porcelanato esmaltado granilhado	$y = -9,3 \cdot 10^{-3}x + 24,52$	0,73

Fonte: Autora (2024).

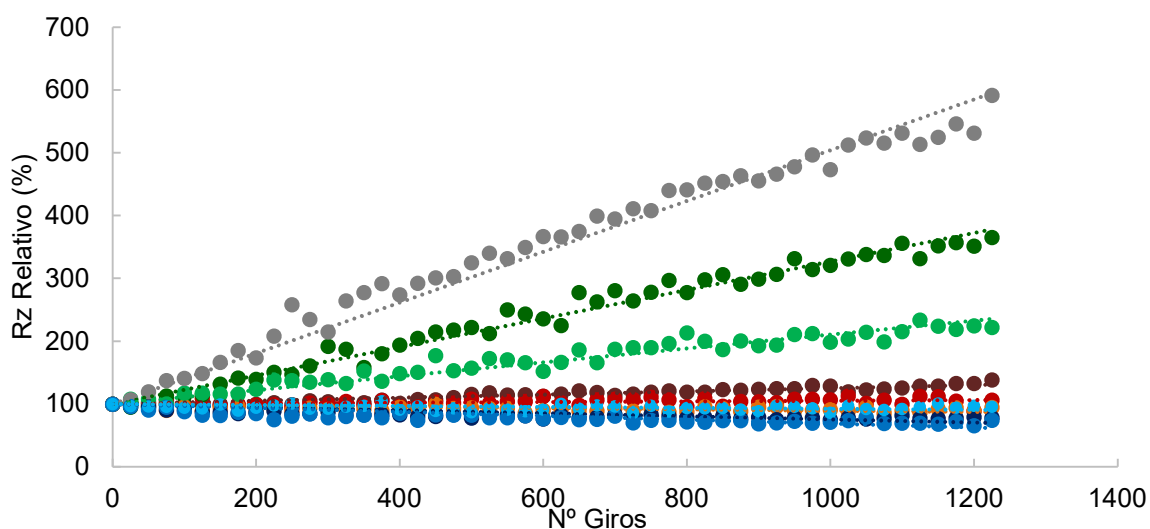
Tabela 19 – Equação do comportamento de Rz – condição real de uso

Produto	Equação	R ²
Placa cerâmica brilhante	$y = 1,18 \cdot 10^{-6}x + 1,34$	0,97
Porcelanato esmaltado polido	$y = 2,49 \cdot 10^{-6}x + 3,23$	0,86
Porcelanato não esmaltado polido	$y = 1,66 \cdot 10^{-6}x + 4,78$	0,71
Porcelanato esmaltado acetinado	$y = -4,84 \cdot 10^{-7}x + 5,84$	0,40
Porcelanato não esmaltado natural decorado	$y = -2,3 \cdot 10^{-6}x + 10,26$	0,71
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevo	$y = -1,54 \cdot 10^{-6}x + 17,69$	0,23
Porcelanato não esmaltado Natural	$y = -1,2 \cdot 10^{-6}x + 19,96$	0,61
Porcelanato esmaltado com cobertura	$y = -3,17 \cdot 10^{-6}x + 19,86$	0,82
Porcelanato esmaltado granilhado	$y = -9,67 \cdot 10^{-6}x + 30,76$	0,97

Fonte: Autora (2024).

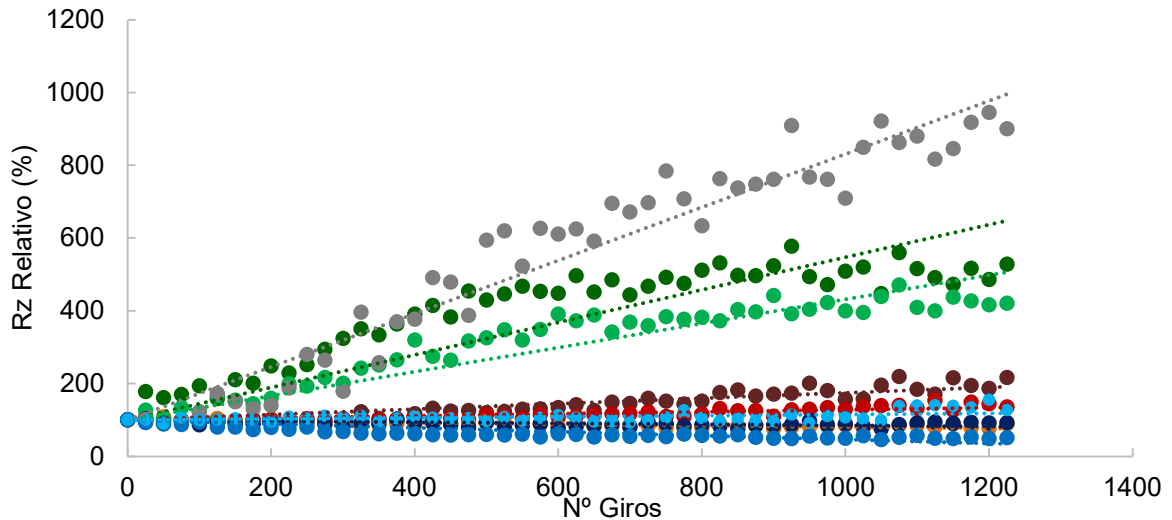
A Figura 41, Figura 42 e Figura 43 mostram a evolução da rugosidade em termos de Rz relativo das superfícies desgastadas em laboratório pelo norma ISO, UNE e na condição real de uso, respectivamente.

Figura 41 – Comportamento Rz relativo dos revestimentos avaliados – método ISO:
 •placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

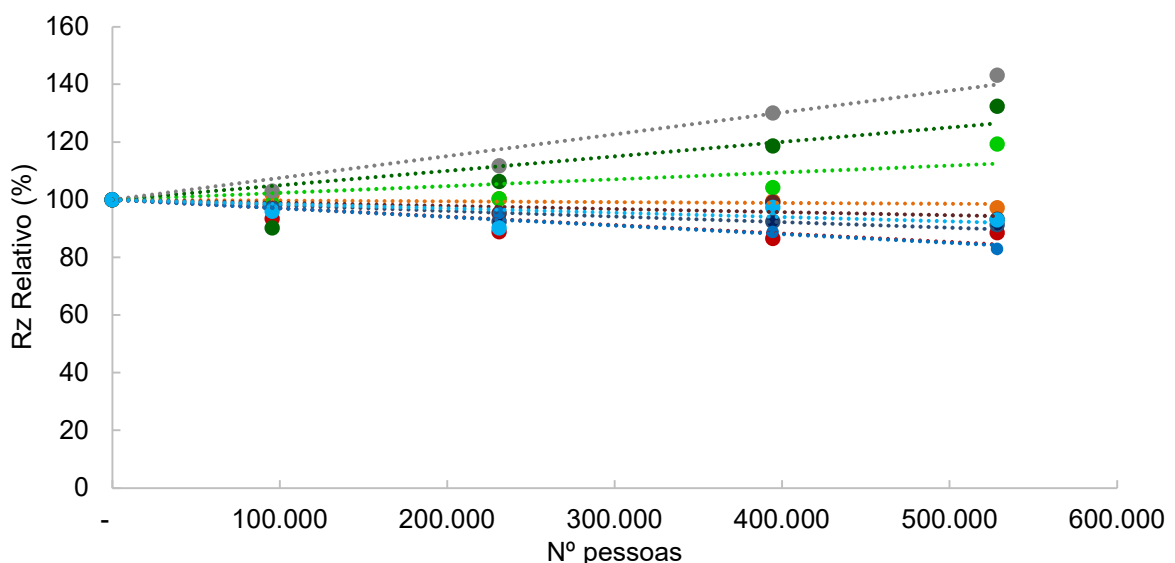
Figura 42 – Comportamento Rz relativo dos revestimentos avaliados – método UNE:
 •placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Figura 43 – Comportamento Rz relativo dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Em todos os testes, um conjunto específico de superfícies brilhantes demonstrou um aumento na rugosidade ao longo dos experimentos, com essa tendência sendo observada tanto em laboratório quanto em condições reais de uso. Notavelmente, a placa cerâmica brilhante exibiu o maior aumento percentual na rugosidade, seguida pelo porcelanato esmaltado polido e o porcelanato não esmaltado polido.

Em condições reais de uso, a superfície acetinada mostrou uma diminuição na rugosidade, divergindo dos resultados laboratoriais, onde houve um aumento. Similarmente, a superfície natural decorada registrou um crescimento na rugosidade em testes laboratoriais, mas teve sua rugosidade reduzida quando exposta às condições reais de uso.

Tabela 20 – Coeficiente angular “a” da equação de comportamento de Rz

Superfície	ISO		UNE		Real	
	a (giros ⁻¹)	R ²	a (giros ⁻¹)	R ²	a (pessoas ⁻¹)	R ²
Placa cerâmica brilhante	4,0.10 ⁻³	0,98	8,4.10 ⁻³	0,98	8,2.10 ⁻⁷	0,96
Porcelanato esmaltado polido	2,3.10 ⁻³	0,98	3,3.10 ⁻³	0,79	5,1.10 ⁻⁷	0,86
Porcelanato não esmaltado polido	1,1.10 ⁻³	0,94	2,7.10 ⁻³	0,87	2,4.10 ⁻⁷	0,71
Porcelanato esmaltado acetinado	3,0.10 ⁻⁴	0,91	7,0.10 ⁻⁴	0,90	-1,5.10 ⁻⁷	0,23
Porcelanato não esmaltado natural decorado	5,3.10 ⁻⁵	0,11	3,0.10 ⁻⁴	0,78	-2,9.10 ⁻⁷	0,71
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevo	-7,6.10 ⁻³	0,03	-2,0.10 ⁻⁴	0,33	-1,5.10 ⁻⁷	0,23
Porcelanato não esmaltado natural	-1,0.10 ⁻⁴	0,11	-2,0.10 ⁻⁴	0,61	-2,8.10 ⁻⁸	0,61
Porcelanato esmaltado com cobertura	-2,0.10 ⁻⁴	0,67	-2,0.10 ⁻⁴	0,10	-1,9.10 ⁻⁷	0,82
Porcelanato esmaltado granilhado	-3,0.10 ⁻⁴	0,72	-5,0.10 ⁻⁴	0,73	-3,0.10 ⁻⁷	0,97

Fonte: Autora (2024).

A Tabela 20 detalha os coeficientes angulares relativos à rugosidade, representada pelo parâmetro Rz. A análise dessa tabela revela que a superfície acetinada e natural decorada exibem um padrão de comportamento em condições reais de uso que é inverso ao observado em laboratório.

Engels (2016) destaca em seu estudo que o teste de abrasão superficial, conforme delineado pelo método ISO 10545, produz resultados inconsistentes. Especificamente, observa-se um padrão de abrasão não uniforme, no qual as bordas

da superfície examinada sofrem abrasão mais intensa. Esse fenômeno é particularmente problemático para superfícies escuras, onde a percepção da abrasão pode ser ampliada de forma desproporcional. Diante dessas limitações, Engels (2016) sugere a necessidade de explorar abordagens alternativas para a avaliação da resistência à abrasão.

De acordo com estudo de Muñoz (2019), o Rz é um dos parâmetros de rugosidade que mais se alteram no decorrer do trânsito de pessoas.

De acordo com Derler (2005), os mecanismos de desgaste incluem o alisamento (suavização) das superfícies, o polimento mecânico causado pelo tráfego de pés e o revestimento gradual das superfícies por produtos de manutenção do piso. O desgaste também pode resultar na aspereza progressiva de superfícies inicialmente lisas, dependendo dos materiais envolvidos e da presença de partículas duras ou sujeira que possam arranhar e tornar a superfície mais áspera.

Essa situação observada vai de encontro com o descrito por Derler (2008), que observou que, em algumas situações, superfícies inicialmente lisas podem sofrer um processo de geração de aspereza gradual, devido ao arraste de partículas de sujeira transportadas pelas solas dos sapatos, embora este processo seja relativamente lento em comparação com o alisamento de superfícies ásperas. Isso significa que é necessário um maior esforço ou influência mecânica para desgastar e, conseqüentemente, aumentar a aspereza de uma superfície lisa, em comparação com uma superfície que já possui aspereza exposta.

No estudo de Bowman (2016), nota-se que pisos com superfícies relativamente lisas e resistência ao deslizamento de moderada a baixa podem sofrer apenas uma ligeira redução de resistência ao deslizamento, assim como o observado no estudo.

A análise dos resultados do estudo de Muñoz (2019) revela que a resistência ao deslizamento das superfícies tende a estabilizar após um volume significativo de tráfego de pedestres. No entanto, uma observação mais detalhada mostra que, mesmo após aproximadamente 550.000 passagens, o coeficiente de rugosidade de certas superfícies não estabilizou completamente.

Esse fenômeno pode ser atribuído ao escopo diferente dos estudos, com Muñoz avaliando o impacto até 109.825 passagens, enquanto esta pesquisa expande a análise para 550.000 passagens, proporcionando uma compreensão mais ampla

das variações na durabilidade da resistência ao deslizamento em condições de tráfego intenso.

No que diz respeito aos valores de Rz, observou-se que, para as superfícies com cobertura, projetadas para proporcionar um alto coeficiente de atrito e, portanto, uma resistência ao escorregamento elevada, não ocorreram grandes alterações nos níveis de desgaste estudados. Isso sugere que essas superfícies mantiveram sua capacidade de resistir ao escorregamento mesmo após o desgaste avaliado no estudo.

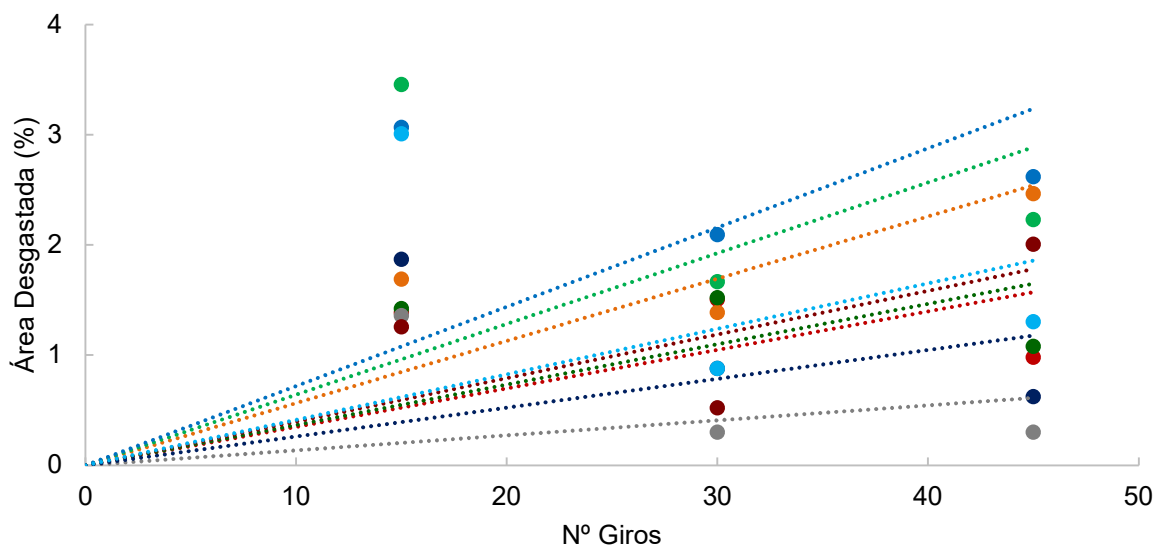
Por outro lado, no estudo conduzido por Lot, *et al.* (2021), foi observado que em todas as superfícies, que originalmente apresentavam uma resistência ao escorregamento adequada para uso em áreas potencialmente escorregadias, essa propriedade foi significativamente reduzida a níveis inseguros após o processo de desgaste.

4.1.4 Análise de área removida

A seguir, serão apresentados gráficos que quantificam as áreas desgastadas. A Figura 44 mostra a quantificação do percentual da área removida pelo desgaste ocasionado com o método ISO, a Figura 45 mostra as áreas desgastadas pelo método UNE e a Figura 46 mostra as áreas de desgaste em condição real de uso.

Figura 44 – Área desgastada dos revestimentos avaliados – método ISO:

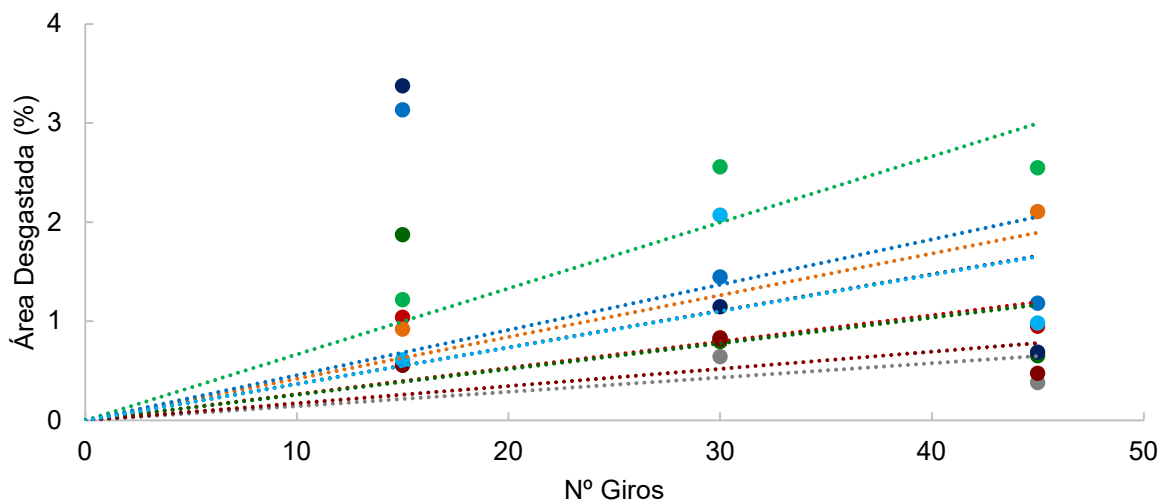
•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

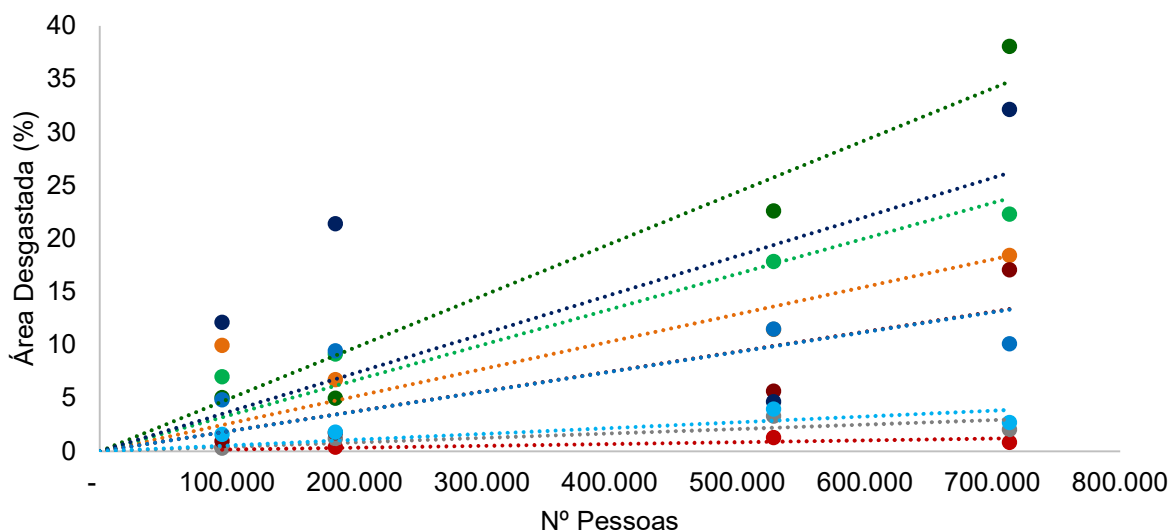
Figura 45 – Área Desgastada dos revestimentos avaliados – método UNE:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Figura 46 – Área Desgastada dos revestimentos avaliados – condição real de uso:
 •placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

Em todas as superfícies, notou-se uma tendência linear de aumento na área de desgaste em correlação ao aumento do tráfego de pessoas ou aumento do número de giros.

A quantificação das áreas desgastadas ocasionadas pelo desgaste laboratorial foi mais desafiadora, já que as áreas não ficam tão evidentes, isso justifica os elevados desvios padrão de cada um dos pontos experimentais.

A quantificação do desgaste na superfície natural decorada apresentou desafios, devido às mínimas alterações visuais quando comparada com a superfície original (antes do teste), tornando a delimitação das áreas afetadas mais complexa.

Por outro lado, a superfície natural não decorada exibiu áreas de desgaste mais evidentes e de delimitação mais clara, facilitando a quantificação do desgaste observado.

Nas superfícies polidas o desgaste real foi mais pronunciado; o porcelanato não esmaltado polido teve maior perda de material em laboratório em comparação com todas as superfícies testadas, enquanto o porcelanato esmaltado polido foi mais afetado em condições reais de uso.

A placa cerâmica brilhante apresentou a menor quantidade de material removido em todas as condições.

Na superfície acetinada, as áreas desgastadas foram notavelmente identificáveis nas condições reais de uso, com uma tendência linear de aumento na área de desgaste. Nos testes laboratoriais, houve maior desafio na identificação das áreas desgastadas e elevados desvios padrão foram notados. O método ISO resultou em uma remoção de material maior do que o método UNE para esta superfície.

A quantificação da área de desgaste nas superfícies rugosas foi mais desafiadora, pois não há sinais claros de remoção de material.

A equação 8 é a equação genérica que representa a área removida relativa (percentual) em função do trânsito de pessoas ou número de giros de abrasão. Conforme já descrito, essa função é linear:

$$y = a \cdot x$$

Eq. 8

Onde:

y = área removida (%);

x = número de pessoas / número de giros;

a = coeficiente angular da reta (%. giros⁻¹ ou %.pessoas⁻¹).

A Tabela 21 demonstra o coeficiente angular “a” da equação de área desgastada para os testes laboratoriais e para condição real de uso.

Tabela 21 – Coeficiente angular “a” da equação de área desgastada

Superfície	ISO		UNE		Real	
	a (%.giros ⁻¹)	R ²	a (%.giros ⁻¹)	R ²	a (%.pessoas ⁻¹)	R ²
Porcelanato não esmaltado natural decorado	3,5.10 ⁻⁴	0,75	2,7.10 ⁻⁴	0,82	1,7.10 ⁻⁸	0,87
Placa cerâmica brilhante	1,4.10 ⁻⁴	0,29	1,4.10 ⁻⁴	0,72	4,2.10 ⁻⁸	0,86
Porcelanato esmaltado com cobertura+relevô	4,1.10 ⁻⁴	0,47	3,7.10 ⁻⁴	0,75	5,2.10 ⁻⁸	0,85
Porcelanato esmaltado granilhado	7,2.10 ⁻⁴	0,79	4,6.10 ⁻⁴	0,49	1,9.10 ⁻⁷	0,83
Porcelanato esmaltado acetinado	4,0.10 ⁻⁴	0,84	1,7.10 ⁻⁴	0,78	1,9.10 ⁻⁷	0,89
Porcelanato não esmaltado natural	3,5.10 ⁻⁴	0,75	4,2.10 ⁻⁴	0,94	2,0.10 ⁻⁷	0,89
Porcelanato não esmaltado polido	6,4.10 ⁻⁴	0,66	6,7.10 ⁻⁴	0,96	3,3.10 ⁻⁷	0,97
Porcelanato esmaltado polido	4,0.10 ⁻⁴	0,84	1,7.10 ⁻⁴	0,78	4,9.10 ⁻⁷	0,98
Porcelanato esmaltado com cobertura	2,6.10 ⁻⁴	0,46	3,7.10 ⁻⁴	0,32	3,5.10 ⁻⁷	0,67

Fonte: Autora (2024).

Na avaliação da condição real de uso, observou-se que os valores de R^2 são consistentemente elevados, o que indica uma forte correlação entre os dados medidos e as projeções feitas pelo modelo. De forma notável, a superfície com cobertura apresentou o menor valor de R^2 , indicando menor ajuste dos dados experimentais ao modelo matemático adotado em comparação com outras superfícies estudadas.

Os valores de R^2 obtidos em testes laboratoriais foram relativamente baixos quando comparados com aqueles dos testes em condição real de uso, em especial para superfícies com maior rugosidade, o que evidencia as limitações dessa metodologia de quantificação para tais tipos de superfícies.

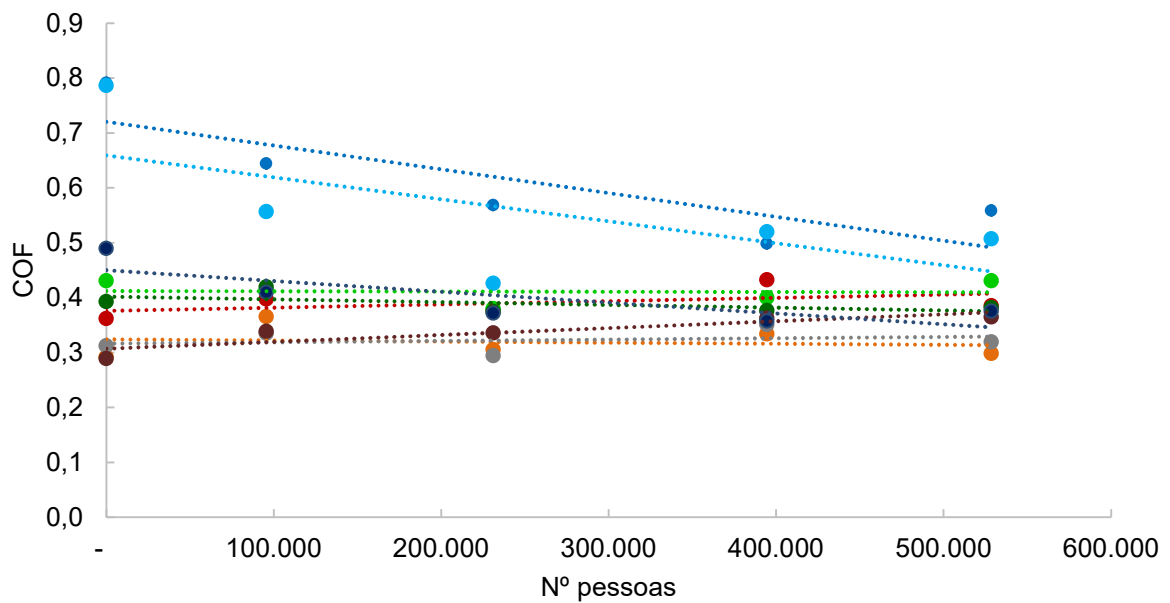
4.1.5 Análise de COF

A seguir, serão apresentados os resultados do coeficiente de atrito, medido com o dispositivo DS e representado pela sigla COF, ao longo do trânsito de pessoas. É importante ressaltar que este ensaio apresenta uma variação consideravelmente ampla devido à natureza do próprio método; portanto, é esperada uma notável variação entre as amostras de uma mesma superfície e, conseqüentemente, um maior desvio padrão.

A Figura 47 ilustra o coeficiente de atrito das superfícies ao longo do trânsito de pessoas. É evidente que as superfícies que inicialmente apresentam valores mais elevados de COF, como as que possuem cobertura, cobertura+relevo e, especialmente, a superfície granilhada, experimentaram uma redução acentuada do coeficiente de atrito. Por outro lado, as demais superfícies não demonstraram uma alteração significativa. Os resultados individuais de cada corpo de prova estão detalhados no Anexo J.

Figura 47 – Comportamento do COF dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo

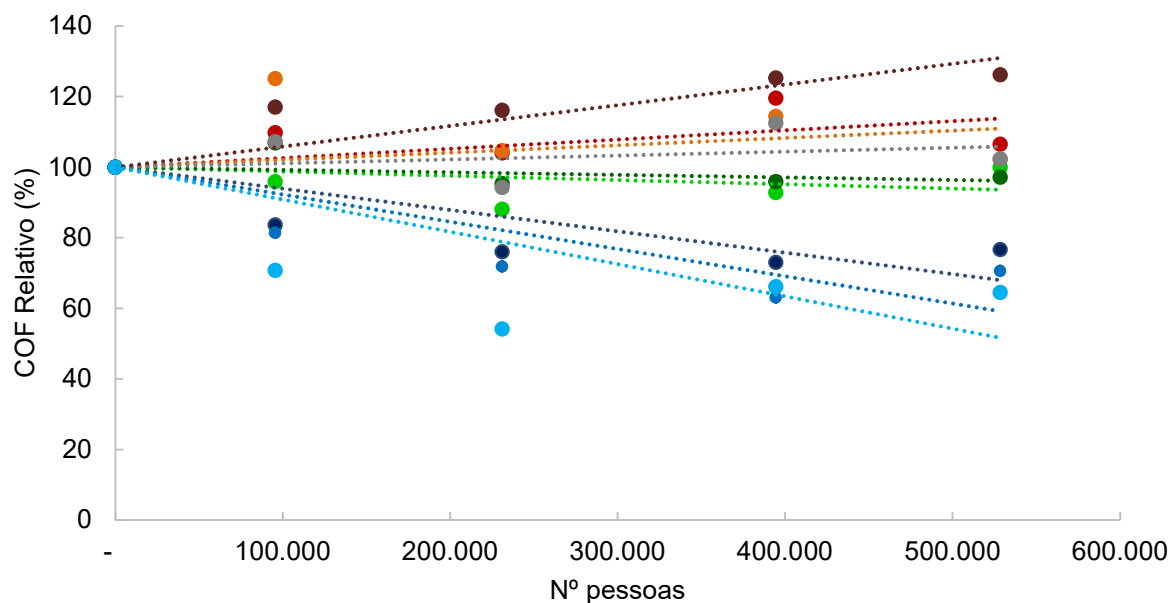


Fonte: Autora (2024).

A Figura 48 confirma, como mencionado anteriormente, que as superfícies com cobertura, cobertura+relevo e granilhada experimentam uma redução no COF, chegando a cerca de 20% após o trânsito de 550.000 pessoas. Por outro lado, a superfície acetinada exibe um aumento gradual do COF até a última análise em 550.000 pessoas, com um incremento de aproximadamente 20%.

Figura 48 – Comportamento do COF relativo dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

- placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

De acordo com Muñoz (2019), a resistência ao escorregamento de uma superfície depende tanto da topografia da superfície como da resistência ao desgaste do material que a constitui, assim como o observado nos testes apresentados.

4.1.6 Análise de DCOF

A seguir, serão apresentados os resultados do coeficiente de atrito, medidos com o dispositivo BOT, conhecido pela sigla DCOF, ao longo do trânsito de pessoas. Assim como o COF, a variabilidade intrínseca do método é bastante acentuada. Portanto, é importante notar que o desvio padrão tende a ser significativo não apenas devido à variabilidade entre as amostras, mas também devido à incerteza inerente ao ensaio.

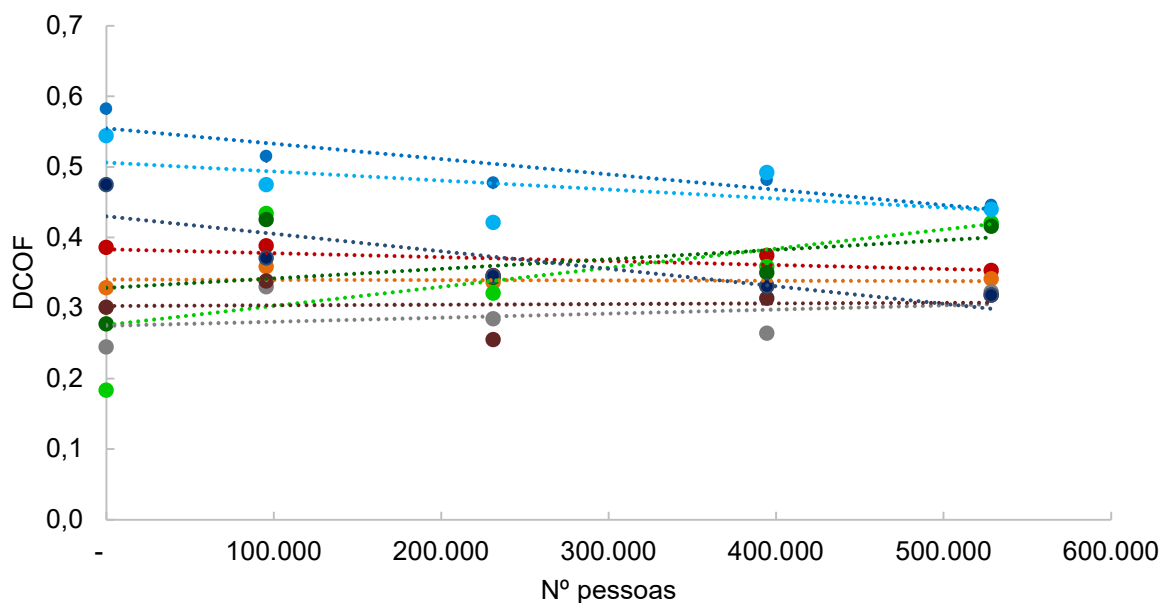
A Figura 49 destaca o comportamento do DCOF, revelando uma tendência semelhante àquela observada no COF. Superfícies com cobertura, cobertura+relevo

e granilhada apresentaram uma redução do DCOF. Em contraste, as superfícies esmaltada polida e cerâmica brilhante inicialmente experimentaram um aumento do DCOF na primeira medição realizada após o trânsito de 100.000 pessoas. Notavelmente, as demais superfícies não sofreram grandes alterações, mesmo após o trânsito de 500.000 pessoas.

Os resultados individuais de cada corpo de prova estão detalhados no Anexo K.

Figura 49 – Comportamento do DCOF dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

A Figura 50 ilustra a evolução relativa do DCOF de todas as superfícies avaliadas. Conforme mencionado anteriormente, os produtos que são inicialmente mais lisos, como as superfícies esmaltada polida, não esmaltada polida e brilhante, apresentam um aumento no DCOF.

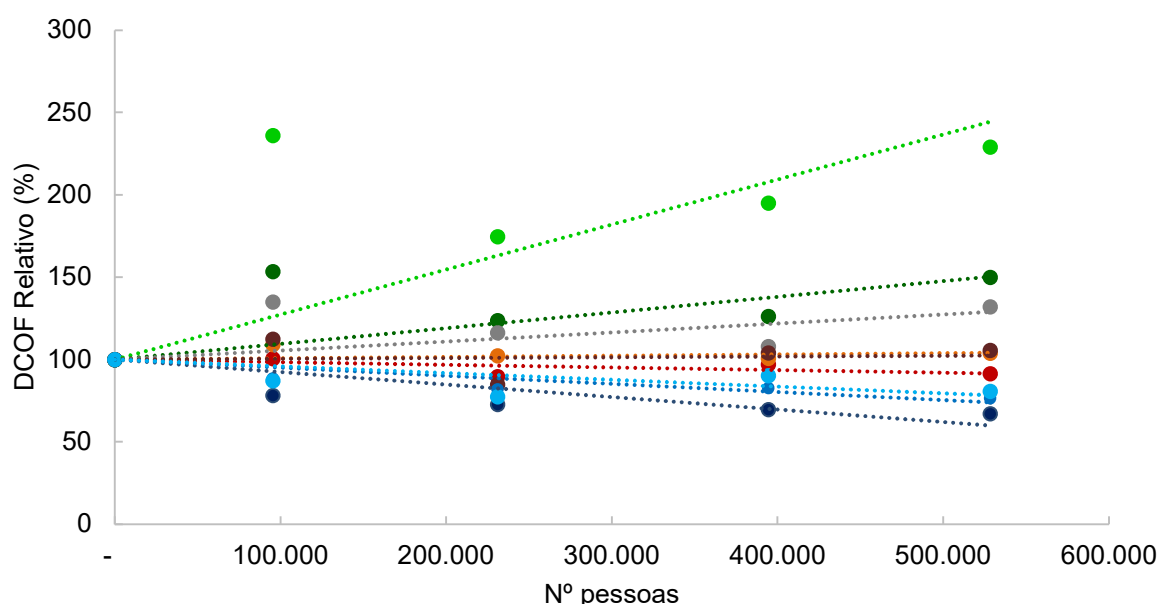
No entanto, é importante considerar que esse tipo de teste pode enfrentar um problema conhecido como *stick-slip*, conforme descrito por Franceschini (2014) e Demarch (2023), fenômeno denominado 'soldagem a frio', também conhecido como

stick-slip na área de Tribologia. Isso ocorre quando há aderência entre duas superfícies com rugosidade reduzida que se deslocam lentamente em contato.

As superfícies com cobertura, com cobertura+relevo e granilhada apresentaram redução do DCOF entre 20 a 30%.

Figura 50 – Comportamento do DCOF relativo dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

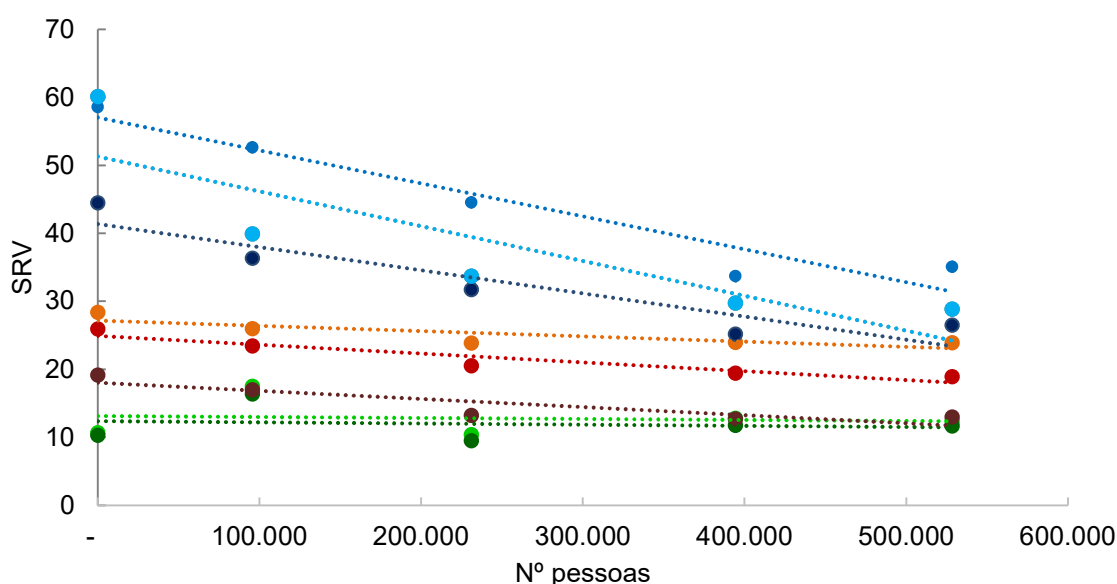
4.1.7 Análise de SRV

A seguir, será apresentado o comportamento do valor de resistência ao escorregamento (*Slip Resistant Value* – SRV) das superfícies analisadas após o trânsito de pessoas. Diferentemente do COF e DCOF, este teste exibe maior repetibilidade e reprodutibilidade, conforme descrito no trabalho desenvolvido por Demarch *et al.* (2020), tornando os resultados mais representativos do que realmente ocorreu com a amostra em termos de resistência ao escorregamento.

A Figura 51 representa o comportamento do SRV com o trânsito de pessoas em todas as superfícies analisadas, nesse teste os desvios padrão foram menores em comparação aos registrados nos gráficos de COF e DCOF. Os resultados individuais de cada corpo de prova estão detalhados no Anexo L.

Figura 51 – Comportamento do SRV dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

As superfícies com cobertura, cobertura+relevo e granilhada, que inicialmente apresentam valores mais elevados de SRV, experimentaram uma redução do seu valor.

A superfície acetinada apresentou uma pequena redução do valor de SRV até 400.000 pessoas de trânsito; no entanto, essa diminuição é bastante discreta em comparação com as superfícies anteriormente mencionadas.

As superfícies esmaltada polida, não esmaltada polida e brilhante mostraram inicialmente um leve aumento do SRV após o trânsito de 100.000 pessoas. Contudo, nas medições subsequentes a 250.000 pessoas, observou-se uma

diminuição do SRV para essas superfícies, estabilizando-se nas demais medições realizadas com 400.000 e 550.000 pessoas.

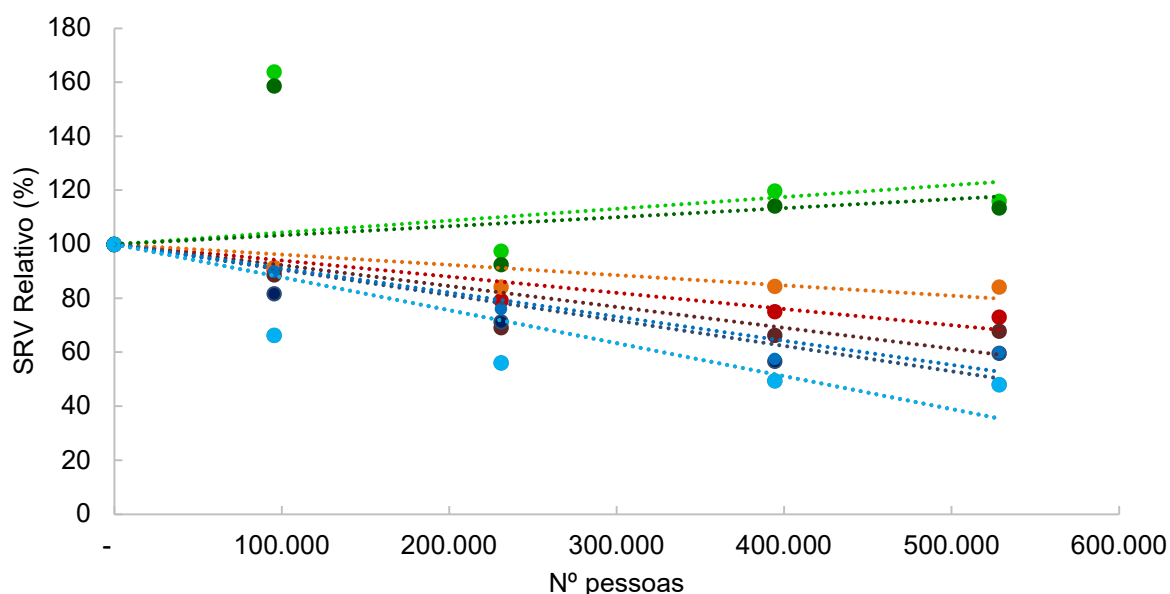
Por fim, as demais superfícies permaneceram com o SRV praticamente inalterado ao longo dos testes.

Na Figura 52, que representa o comportamento percentual do SRV, observa-se o mesmo fenômeno mencionado no DCOF, no qual superfícies lisas podem experimentar o fenômeno de *stick-slip*. Notavelmente, ocorreu um aumento acentuado do SRV nas superfícies polidas e brilhantes.

Por outro lado, as superfícies com cobertura, cobertura+relevo e granilhada apresentaram uma redução do SRV entre 30 a 50%. Esses valores consideráveis podem comprometer a segurança do usuário ao longo da vida útil do produto.

Figura 52 – Comportamento do SRV dos revestimentos avaliados – condição real de uso:

- placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

De acordo com Derler (2005), Strautins (2008), Bowman, (2010) e Engels (2016), o trânsito de pessoas num piso instalado que passa por processos de

desgaste na sua superfície, normalmente resulta em uma diminuição progressiva na sua resistência ao deslizamento. Essa diminuição, que geralmente é bastante pronunciado no início, ocorre com o tempo até atingir um valor praticamente constante. Esse comportamento foi observado no teste nas superfícies rugosas.

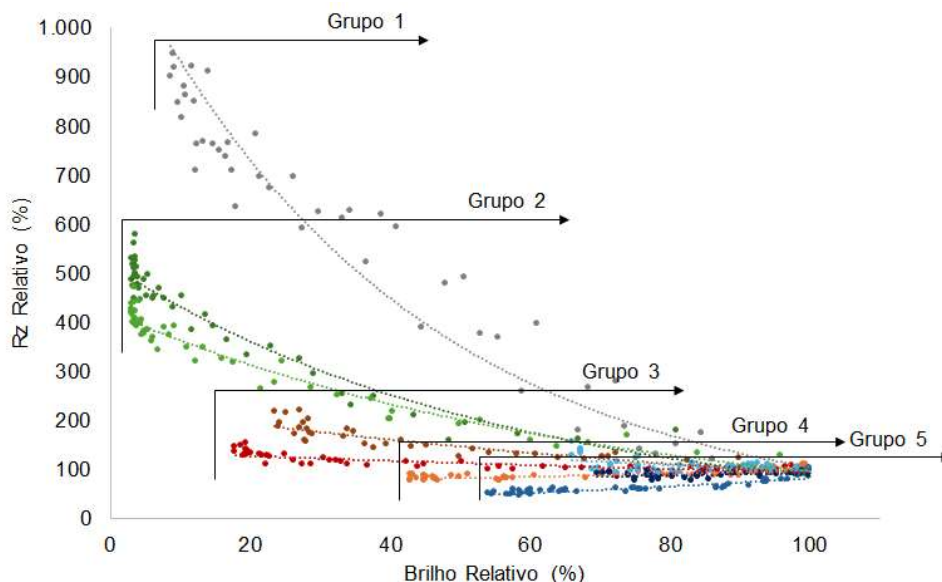
4.2 RELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS

A seguir, são apresentados gráficos que relacionam os valores relativos de brilho e Rz ao longo dos testes de desgaste ISO e UNE. O objetivo é investigar a possibilidade de identificar algum padrão de agrupamento entre todas as superfícies testadas em termos de desempenho de brilho e desempenho de Rz.

A Figura 53 e Figura 54 ilustram as relações entre brilho e Rz dos desgastes provocados pelo método UNE e ISO, respectivamente.

Figura 53 – Relação entre brilho e Rz relativos – método UNE:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo

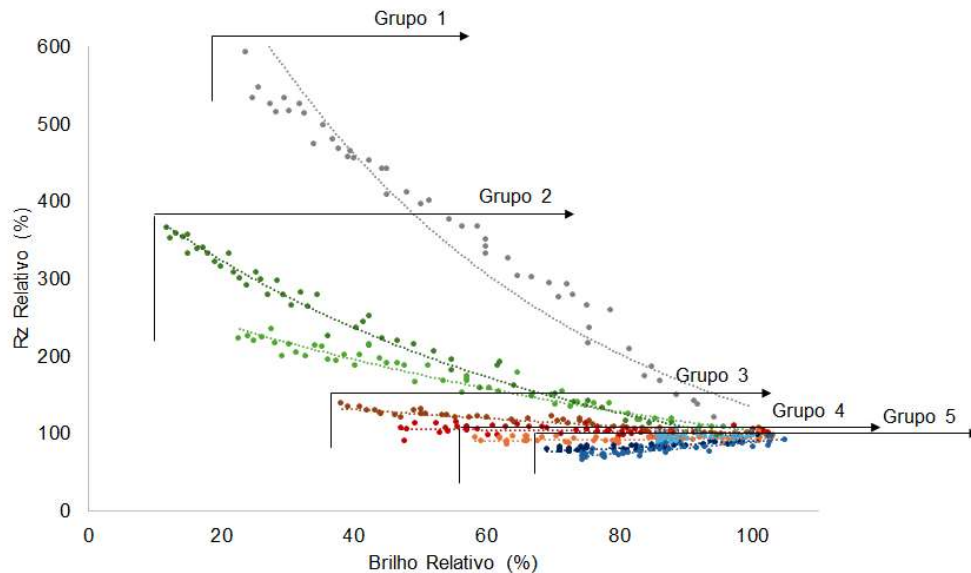


Fonte: Autora (2024).

Figura 54 – Relação entre brilho e Rz relativos – método ISO:

•placa cerâmica brilhante, •porcelanato esmaltado polido, •porcelanato não esmaltado polido, •porcelanato esmaltado acetinado, •porcelanato não esmaltado

natural decorado, •porcelanato não esmaltado natural, •porcelanato esmaltado granilhado, •porcelanato esmaltado cobertura, •porcelanato esmaltado cobertura+relevo



Fonte: Autora (2024).

As superfícies analisadas foram categorizadas em cinco classes distintas, baseadas em suas respostas ao desgaste e características técnicas iniciais, como brilho e rugosidade, e como indicado na Figura 53 e Figura 54:

- Grupo 1: Caracteriza-se por uma superfície de brilho elevado, superior a 80 UB, e baixa rugosidade, com Rz menor que 2 μm . A camada superficial de esmalte é composta por uma camada vítrea; nesse grupo se inclui a placa cerâmica brilhante. Durante os testes de desgaste, esta superfície apresentou diminuição de brilho e aumento de Rz;
- Grupo 2: Este grupo inclui superfícies com brilho alto, na faixa de 60 a 70 UB, e baixa rugosidade, com Rz inferior a 5 μm , caracterizando-se também por uma porosidade superficial significativa e uma remoção de material mais facilitada, justamente devido a essa característica. Nesta categoria estão o porcelanato esmaltado polido e o porcelanato não esmaltado polido, que demonstraram redução no brilho e aumento na rugosidade ao longo dos testes;
- Grupo 3: Com brilho entre 10 e 15 UB e rugosidade entre 5 e 10 μm , este grupo inclui o porcelanato esmaltado acetinado e o porcelanato não esmaltado natural

decorado. Estas superfícies experimentaram uma redução na rugosidade e um aumento no brilho durante os testes em condições reais de uso;

- Grupo 4: Representado por superfícies com brilho em torno de 7 UB e rugosidade aproximada de 20 μm , inclui o porcelanato não esmaltado natural, apresentando redução do brilho e da rugosidade no decorrer dos testes;
- Grupo 5: Este grupo abrange superfícies com brilho abaixo de 5 UB e rugosidade acima de 20 μm , incluindo o porcelanato esmaltado com cobertura, o porcelanato esmaltado com cobertura+relevo e o porcelanato esmaltado granilhado, caracterizando-se por propriedades de baixo brilho e alta rugosidade.

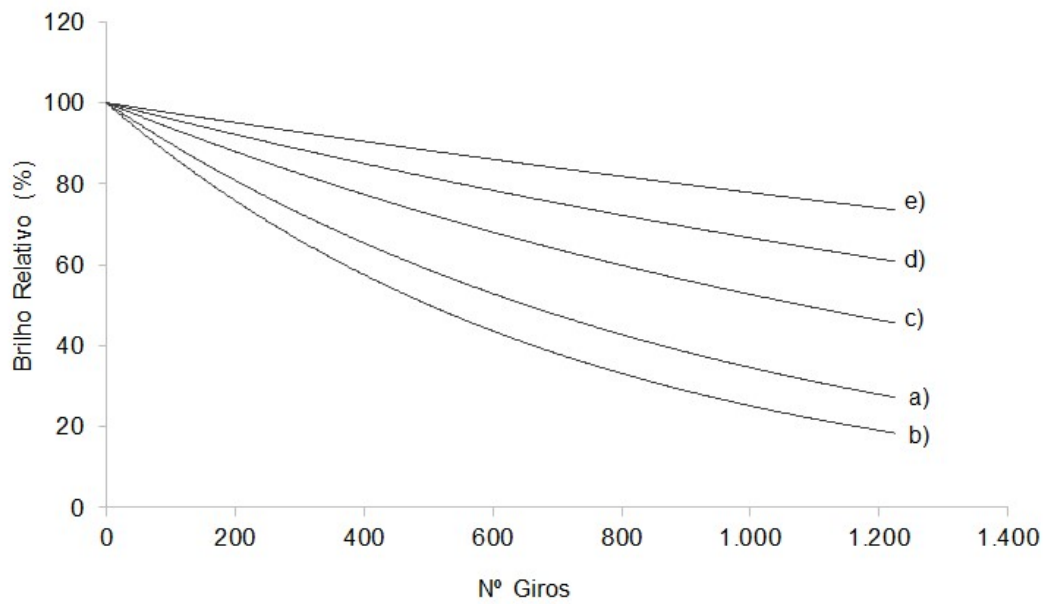
4.3 GRUPOS DE ANÁLISE

Os gráficos subsequentes ilustram a progressão das características, como a rugosidade, o brilho e a área desgastada, para cada grupo categorizado. Estes são apresentados tanto para os ensaios realizados em laboratório quanto para as condições reais de uso.

4.3.1 Evolução do brilho por grupos

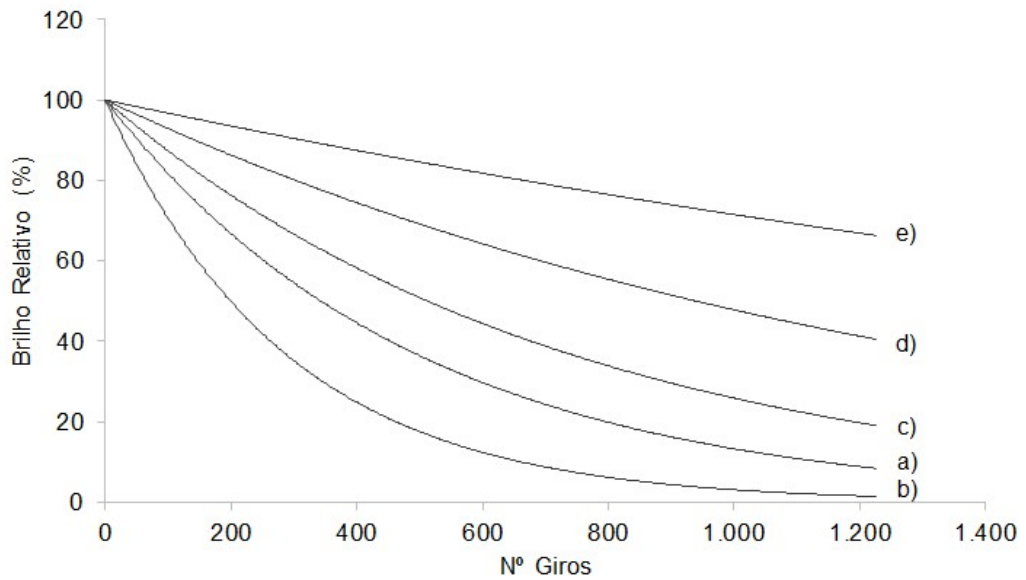
A Figura 55, Figura 56 e Figura 57 exibem a evolução do brilho relativo resultante dos desgastes causados pelos testes laboratoriais conforme as normas ISO e UNE, além dos testes realizados em condição real de uso, respectivamente. Estas figuras detalham as alterações no brilho das superfícies analisadas, permitindo uma avaliação comparativa do impacto dos diferentes métodos de teste sobre o brilho relativo.

Figura 55 – Evolução do brilho relativo por grupo – método ISO: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



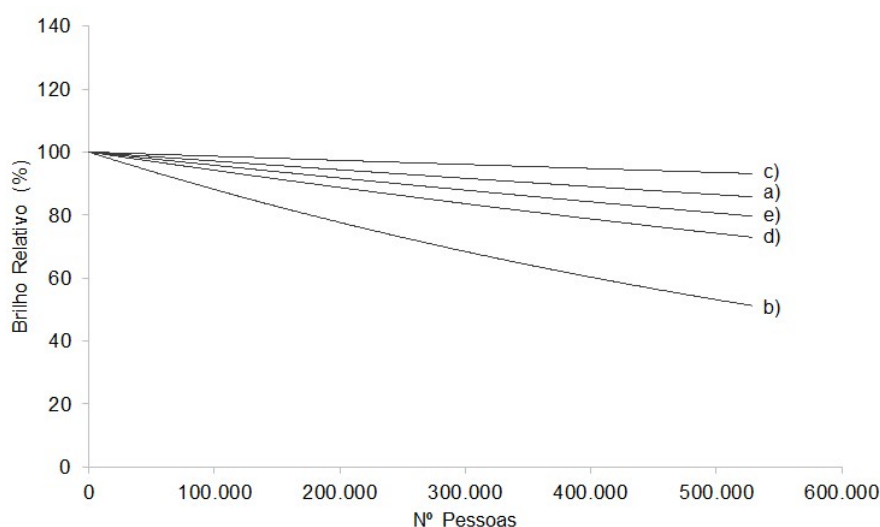
Fonte: Autora (2024).

Figura 56 – Evolução do brilho relativo por grupo – método UNE: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



Fonte: Autora (2024).

Figura 57 – Evolução do brilho relativo por grupo – condição real de uso: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



Fonte: Autora (2024).

As superfícies pertencentes ao grupo 2 mostraram uma significativa diminuição do brilho, tanto nos ensaios laboratoriais quanto nos testes em condição real de uso. Durante os ensaios laboratoriais, observou-se um padrão exponencial na alteração do brilho, particularmente nos testes que seguiram a norma UNE, indicando que o desgaste provocado por essa metodologia é mais severo em comparação à norma ISO. Em contraste, nos testes com protótipos, a redução do brilho demonstrou um padrão quase linear, com uma redução de cerca de 50% no brilho após um tráfego de mais de 500.000 pessoas, sem evidenciar ainda um comportamento exponencial na tendência de desgaste.

A superfície do grupo 1, embora apresente um brilho inicial intenso, demonstrou um desempenho de desgaste consideravelmente melhor em comparação ao grupo 2. As superfícies do grupo 2 exibem uma alta porosidade superficial, que é resultado do processo de polimento empregado para obter o brilho característico. Essa porosidade constitui, na realidade, defeitos superficiais que se tornam pontos de fragilidade, locais onde preferencialmente ocorrem microfissuras que levam à remoção de material.

Apesar de as superfícies de porcelanato possuírem maior cristalinidade em comparação às superfícies vítreas do grupo 1, a presença desses defeitos exerce uma

influência mais pronunciada no desgaste do que a própria natureza cristalina ou vítrea das superfícies.

Para o grupo 3, observou-se uma alteração mais acentuada do brilho nos testes conforme o método UNE, indicando um desgaste significativo sob essas condições específicas. Em contrapartida, nos testes em condições reais, as mudanças no brilho foram minimamente perceptíveis.

Nos ensaios laboratoriais, o grupo 4 exibiu um padrão de redução de brilho semelhante ao dos outros grupos, com uma queda mais acentuada no teste seguindo a norma UNE. Em condições reais, o grupo 4 mostrou uma perda de brilho superior à observada no grupo 3, o que pode estar associado ao seu maior brilho inicial.

Quanto ao grupo 5, houve pouca variação no brilho nos testes laboratoriais. No entanto, em condição real de uso, notou-se uma mudança mais marcante no brilho. É importante mencionar que as superfícies do grupo 5 já partem de um brilho inicial extremamente baixo, quase nulo. Portanto, mesmo que a alteração percentual do brilho seja significativa, essa mudança pode não ser perceptível visualmente.

A Tabela 22 mostra os coeficientes “k” da equação exponencial de evolução do brilho relativo. Quanto maior o valor de “k” em módulo, mais intensa é a redução do brilho.

Tabela 22 – Coeficiente “k” da equação de comportamento de brilho por grupo

Grupos	ISO		UNE		Real	
	k (giros ⁻¹)	R ²	k (giros ⁻¹)	R ²	k (pessoas ⁻¹)	R ²
Grupo 1	-1,06.10 ⁻³	0,99	-2,02.10 ⁻³	0,99	-2,91.10 ⁻⁷	0,90
Grupo 2	-1,38.10 ⁻³	0,92	-3,48.10 ⁻³	0,95	-1,26.10 ⁻⁶	0,60
Grupo 3	-6,41.10 ⁻⁴	0,97	-1,35.10 ⁻³	0,92	-1,34.10 ⁻⁷	0,10
Grupo 4	-4,06.10 ⁻⁴	0,98	-7,38.10 ⁻⁴	0,97	-5,97.10 ⁻⁷	0,28
Grupo 5	-2,51.10 ⁻⁴	0,75	-3,86.10 ⁻⁴	0,82	-4,30.10 ⁻⁷	0,19

Fonte: Autora (2024).

Os valores do coeficiente de determinação para os ensaios laboratoriais, seguindo tanto a norma ISO quanto a UNE, sugerem uma correlação forte ou muito forte entre a tendência observada e os pontos experimentais. Contudo, nos testes realizados com protótipos em condições reais, os valores de R² para os grupos 3, 4 e

5 indicam coeficientes fracos, refletindo uma dispersão considerável dos pontos experimentais

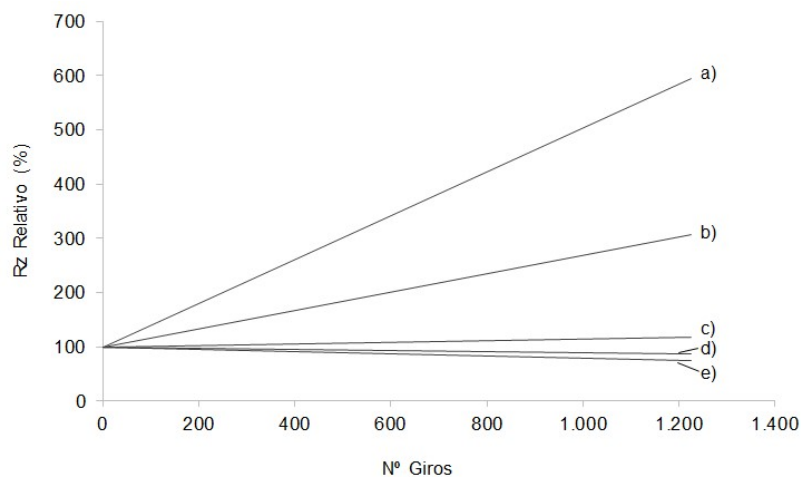
Essa diferença pode ser atribuída às variações nas medições de brilho, especialmente em superfícies com baixos índices iniciais dessa característica, que tendem a impactar mais significativamente os resultados. Em contraste, variações menores em superfícies com alto brilho inicial têm um efeito menos pronunciado nos resultados. Isso é evidenciado pelos valores mais elevados de R^2 nos grupos 1 e 2, que consistem em superfícies com alto brilho inicial, indicando uma correlação mais consistente entre os dados experimentais e as tendências.

No estudo conduzido por Lot (2021), foram observadas alterações na aparência das superfícies, incluindo mudanças de cor, variações no brilho e o aparecimento de marcas escuras e riscos. Contrariamente nesse estudo, não se notaram diferenças na cor das superfícies examinadas, mesmo nas de tonalidades mais escuras. No entanto, em superfícies com acabamento brilhante, constatou-se a presença de riscos e modificações notáveis no brilho.

4.3.2 Evolução do Rz por grupos

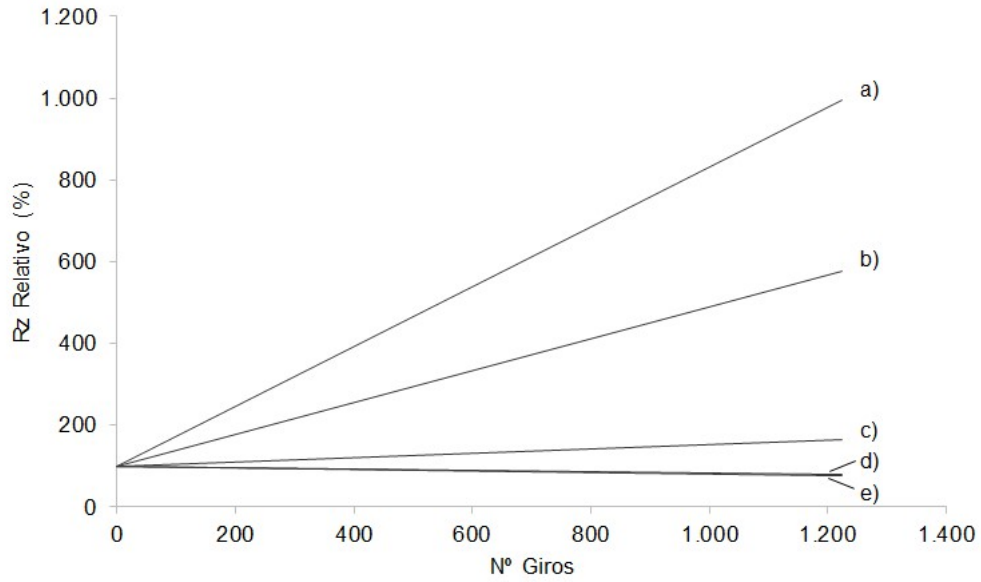
A Figura 58, Figura 59 e Figura 60, exibem a evolução da rugosidade por meio do parâmetro Rz em termos relativos.

Figura 58 – Evolução do Rz relativo por grupo – método ISO: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



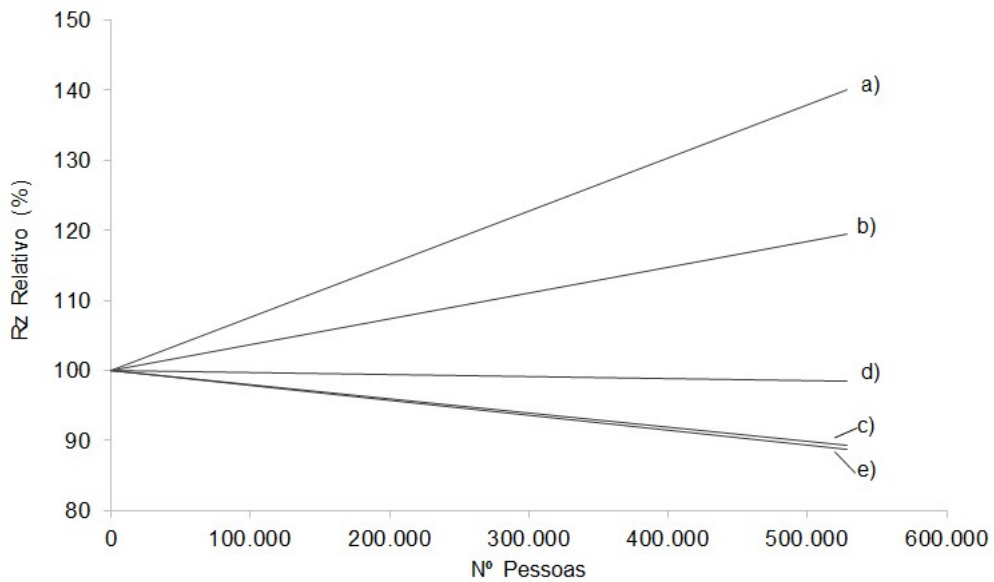
Fonte: Autora (2024).

Figura 59 – Evolução do Rz relativo por grupo – método UNE: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



Fonte: Autora (2024).

Figura 60 – Evolução do Rz relativo por grupo – condição real de uso: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.

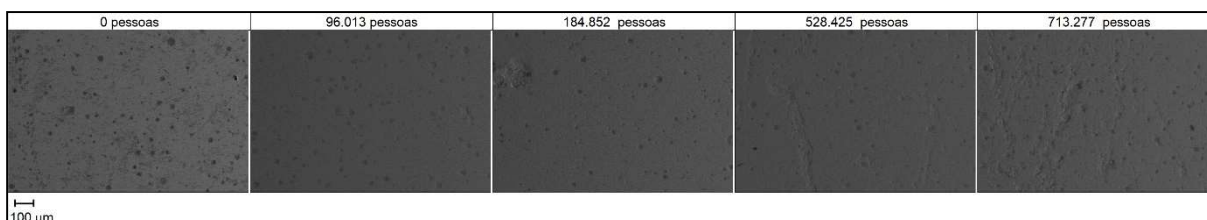


Fonte: Autora (2024).

A superfície do grupo 1 exibiu a maior variação de rugosidade em todos os testes, tanto em condições laboratoriais quanto reais, com o desgaste sendo particularmente acentuado nos ensaios conduzidos segundo a norma UNE.

Essa tendência de alteração na rugosidade acompanha as observações relativas ao brilho. Nas superfícies dos grupos 1 e 2, verificou-se um aumento da rugosidade, indicando que o processo de desgaste tornou as superfícies mais ásperas. Isso é corroborado pelas micrografias da Figura 61, onde se identificam claramente as áreas de desgaste material, evidenciadas por marcas superficiais semelhantes a arranhões.

Figura 61 – Análise de MEV da superfície do grupo 2



Fonte: Autora (2024).

As imagens de micrografia das demais superfícies estão disponíveis no Anexo M.

De acordo com Derler (2005), em algumas situações, superfícies inicialmente lisas podem sofrer um processo de aumento da rugosidade de forma gradual, devido ao arrasto de partículas de sujeira transportadas pelas solas dos sapatos, embora este processo seja relativamente lento em comparação com o alisamento de superfícies ásperas.

Com o tempo e o aumento do trânsito, a ação repetitiva das cargas mecânicas sobre a superfície pode levar à propagação dessas microfissuras, iniciando o processo de formação de uma trinca. Uma vez que a trinca se inicia na região porosa, onde a integridade estrutural já é comprometida, ela pode se estender e se aprofundar, resultando em um defeito mais significativo. No estudo desenvolvido por Muñoz (2019) também foi verificado o aparecimento de arranhões e lascas nas micrografias à medida que a superfície foi desgastada.

A superfície do grupo 3 demonstrou comportamento divergente entre os testes laboratoriais e os realizados em condição real de uso. Nos testes laboratoriais, observou-se um aumento na rugosidade, enquanto que, em condição real de uso,

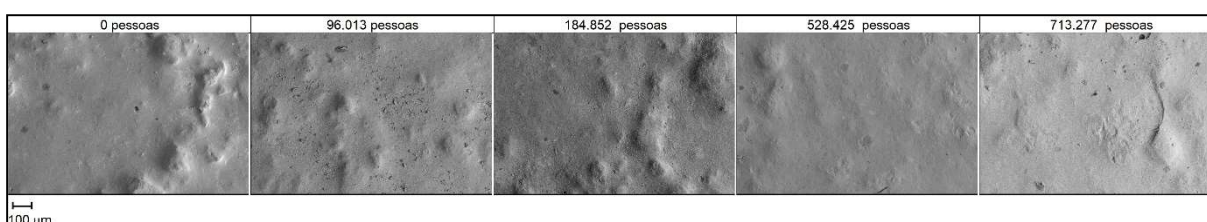
houve uma diminuição da mesma. Esse contraste sugere que os testes de laboratório podem não ser completamente eficientes em replicar as condições e o comportamento real das superfícies.

Os grupos 4 e 5 mostraram uma diminuição na rugosidade ao longo dos testes de desgaste em todas as condições avaliadas. O grupo 5, em particular, merece atenção especial, pois é composto por superfícies originalmente mais rugosas, com essa característica intensificada para aumentar a segurança na circulação de pessoas. Portanto, a análise da redução da rugosidade nesse grupo é de significativa importância e será detalhadamente explorada nas seções subsequentes.

A Figura 62 exibe micrografias da superfície do grupo 5 com inicialmente maior rugosidade. Observa-se que essas superfícies possuíam elementos que contribuíam para uma textura mais áspera desde a sua concepção.

Ao longo do trânsito de pessoas, essas irregularidades passaram por um processo de aplainamento, ou seja, a altura das rugosidades diminuiu progressivamente. Em contraste com os demais grupos, não se observa a formação de áreas onde houve o arrancamento de material nessas superfícies, destacando um mecanismo de desgaste diferenciado.

Figura 62 – Análise de MEV da superfície do grupo 5



Fonte: Autora (2024).

No estudo realizado por Kim (2016), as técnicas de microscopia, especificamente a microscopia eletrônica de varredura desempenharam um papel importante na compreensão do desenvolvimento do desgaste dos pisos. Elas permitiram a visualização detalhada das mudanças superficiais que ocorrem nos pisos devido ao desgaste.

A Tabela 23 apresenta o coeficiente angular da equação linear que descreve a tendência do comportamento da rugosidade. Um coeficiente angular negativo sinaliza uma diminuição na rugosidade, enquanto um coeficiente positivo

aponta para um aumento da mesma. Esta distinção ajuda a entender as mudanças na textura das superfícies ao longo dos testes.

Tabela 23 – Coeficiente angular “a” da equação de comportamento de Rz por grupo

Grupos	ISO		UNE		Real	
	a (giros ⁻¹)	R ²	a (giros ⁻¹)	R ²	a (pessoas ⁻¹)	R ²
Grupo 1	4,04.10 ⁻³	0,98	7,31.10 ⁻³	0,93	7,57.10 ⁻⁷	0,97
Grupo 2	1,69.10 ⁻³	0,66	3,90.10 ⁻³	0,73	3,69.10 ⁻⁷	0,70
Grupo 3	1,52.10 ⁻⁴	0,36	5,14.10 ⁻⁴	0,61	-2,00.10 ⁻⁷	0,36
Grupo 4	-1,05.10 ⁻⁴	0,11	-1,91.10 ⁻⁴	0,60	-2,80.10 ⁻⁸	0,61
Grupo 5	-2,11.10 ⁻⁴	0,19	-1,78.10 ⁻⁴	0,10	-2,14.10 ⁻⁷	0,60

Fonte: Autora (2024).

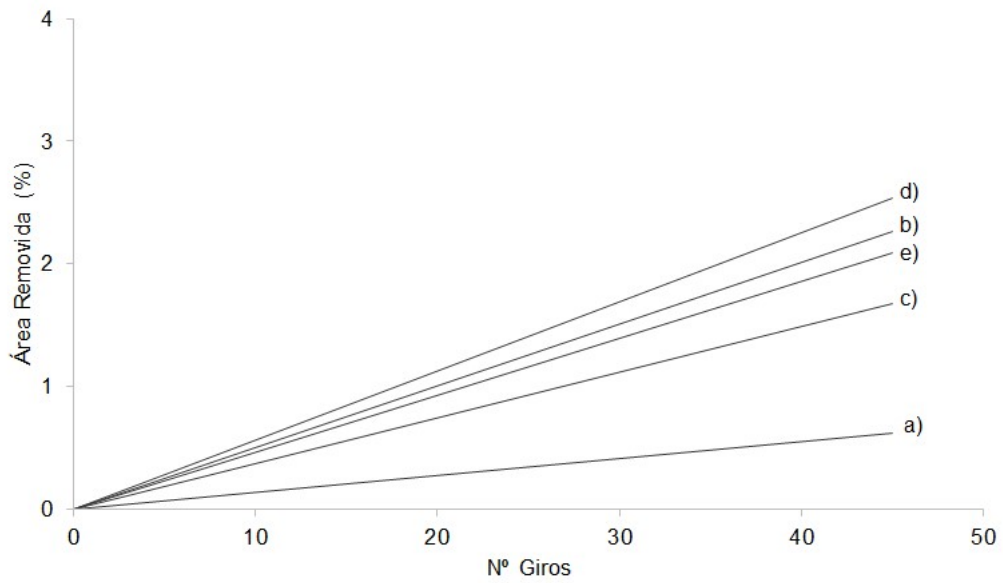
Os coeficientes de determinação R² para os grupos 1 e 2 são considerados robustos, evidenciando uma forte correlação. Entretanto, para os outros grupos, os coeficientes de correlação obtidos foram menores, refletindo desafios na determinação precisa dos valores de Rz.

Porém, nos estudos desenvolvidos por Muñoz (2019), foi demonstrado que a variação da resistência ao deslizamento com o desgaste superficial depende significativamente da topografia inicial do pavimento. Amostras com perfis planos e valores iniciais elevados de resistência ao deslizamento sofreram maiores perdas nos estágios iniciais, ao contrário do observado nesse trabalho em que a alteração foi linear no que se refere ao Rz.

4.3.3 Evolução da área de desgaste por grupos

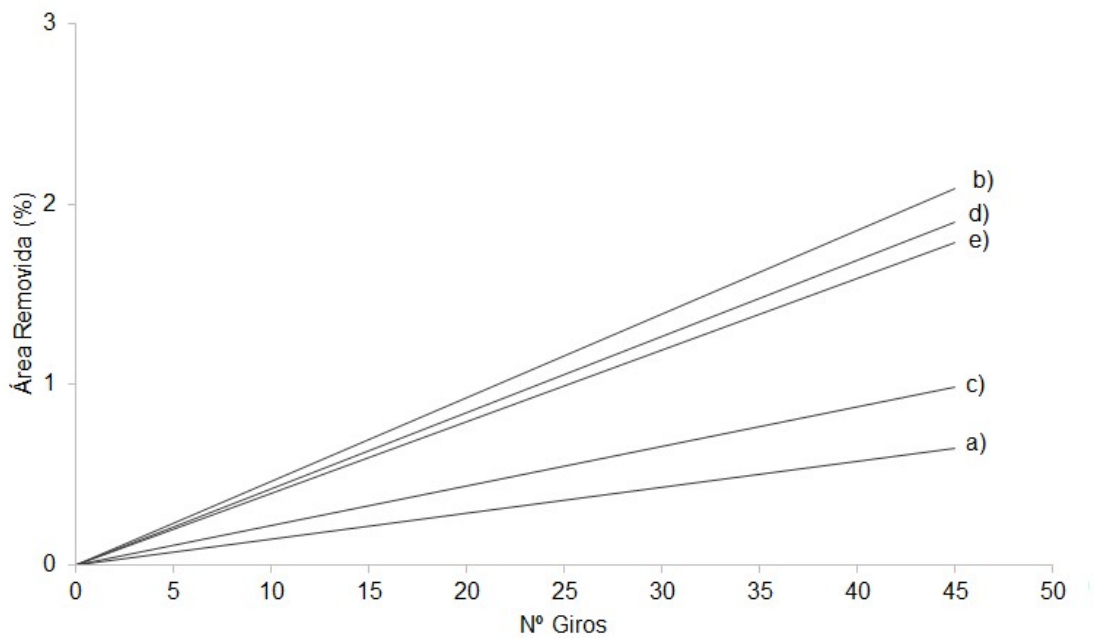
A Figura 63, Figura 64 e Figura 65 ilustram a evolução da área de desgaste para os grupos de superfícies, resultante dos ensaios de desgaste laboratoriais conforme a norma ISO, UNE, e dos testes em condição real de uso, respectivamente. Estas figuras demonstram como a área de desgaste se desenvolveu sob diferentes condições de teste.

Figura 63 – Evolução da área de desgaste por grupo – método ISO: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



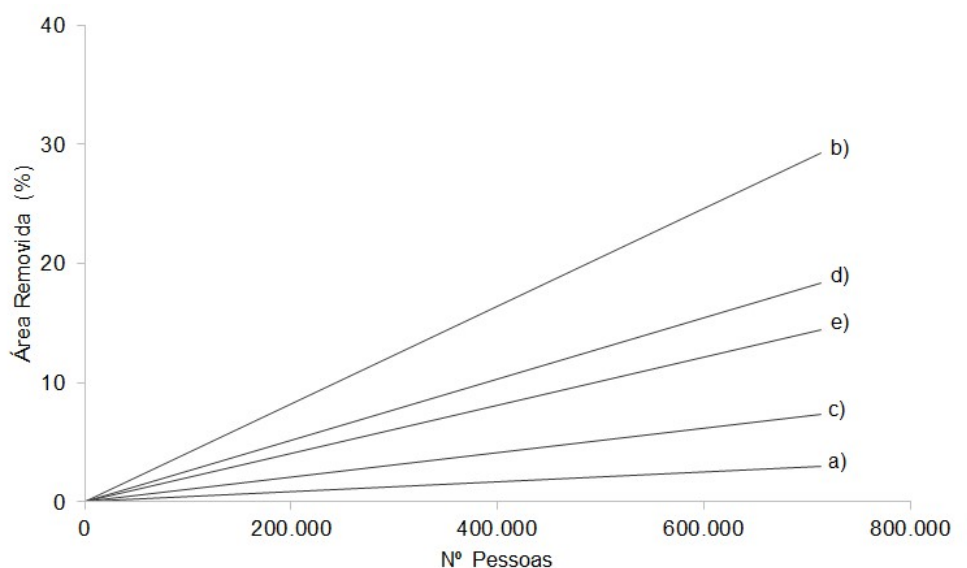
Fonte: Autora (2024).

Figura 64 – Evolução da área de desgaste por grupo – método UNE: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



Fonte: Autora (2024).

Figura 65 – Evolução da área de desgaste por grupo – condição real de uso: a) grupo 1, b) grupo 2, c) grupo 3, d) grupo 4, e) grupo 5.



Fonte: Autora (2024).

A superfície do grupo 1 registrou a menor quantidade de áreas com material removido em todas as condições de teste. Isso sugere que, apesar de ser composta primariamente por uma fase vítrea, a escassez de defeitos na superfície contribui significativamente para diminuir sua suscetibilidade ao desgaste.

As superfícies do grupo 2 exibiram o pior desempenho nos testes conduzidos conforme a norma UNE e em condições reais. Como mencionado anteriormente, essas superfícies caracterizam-se por uma porosidade superficial elevada. Estes poros representam defeitos na superfície, tornando-a mais propensa a fissuras que desencadeiam o processo de desgaste por arrancamento de material.

A superfície do grupo 3 mostrou ser a segunda com melhor desempenho, logo após a do grupo 1. Em seguida, classifica-se a superfície do grupo 5 em termos de resistência ao desgaste considerando área removida.

É importante ressaltar que a análise se concentra apenas na área de remoção de material, sem a capacidade de determinar a profundidade do desgaste. Isso significa que, em determinadas situações, a profundidade das áreas de desgaste pode ser maior, sugerindo uma remoção de material mais extensa, mesmo que a área afetada seja menor. Tal variável não foi abordada neste teste.

A Tabela 24 apresenta os valores do coeficiente angular “a” para a equação linear de tendência de cada grupo avaliado, indicando a taxa de variação na área de

desgaste. Todos os coeficientes angulares são positivos, refletindo o fato de que a área de desgaste tende a aumentar ao longo dos testes.

Tabela 24 – Coeficiente angular “a” da equação de área desgastada por grupo

Grupos	ISO		UNE		Real	
	a (giros ⁻¹)	R ²	a (giros ⁻¹)	R ²	a (pessoas ⁻¹)	R ²
Grupo 1	1,36.10 ⁻⁴	0,29	1,44.10 ⁻⁴	0,72	4,19.10 ⁻⁸	0,86
Grupo 2	5,04.10 ⁻⁴	0,64	4,63.10 ⁻⁴	0,71	4,11 .10 ⁻⁷	0,95
Grupo 3	3,73.10 ⁻⁴	0,79	2,20.10 ⁻⁴	0,77	1,02.10 ⁻⁷	0,53
Grupo 4	5,65.10 ⁻⁴	0,93	4,21.10 ⁻⁴	0,94	2,58.10 ⁻⁷	0,89
Grupo 5	4,65.10 ⁻⁴	0,55	3,98.10 ⁻⁴	0,46	2,03.10 ⁻⁷	0,50

Fonte: Autora (2024).

O coeficiente de correlação mostrou-se baixo em alguns dos testes, o que pode ser atribuído à metodologia de análise baseada em comparações visuais de micrografias. Este método aumenta a probabilidade de imprecisão na determinação dos resultados.

4.4 RELAÇÃO GIROS X N° PESSOAS

Nesta seção, são exibidos gráficos elaborados a partir das equações de tendência previamente mencionadas, que ilustram as variações no brilho, na rugosidade e na área removida. Estes gráficos proporcionam uma análise comparativa entre o número de pessoas e o número de giros em ensaios laboratoriais, necessários para provocar uma alteração específica na superfície.

O gráfico “a” ilustra a evolução do brilho relativo, o gráfico “b” demonstra a evolução de Rz relativo, e o gráfico “c” exhibe a evolução da área removida. No eixo vertical esquerdo de cada gráfico está indicado o número de giros necessário para provocar mudanças nas características específicas, seja no brilho, na rugosidade ou na área removida. Por outro lado, o eixo vertical direito mostra o número de pessoas requerido para induzir essas mesmas alterações.

Os gráficos "d", "e" e "f" exibem no eixo horizontal o número de pessoas e no eixo vertical o número de giros de abrasão. As linhas nesses gráficos relacionam a quantidade de giros de abrasão requeridos para simular o desgaste equivalente

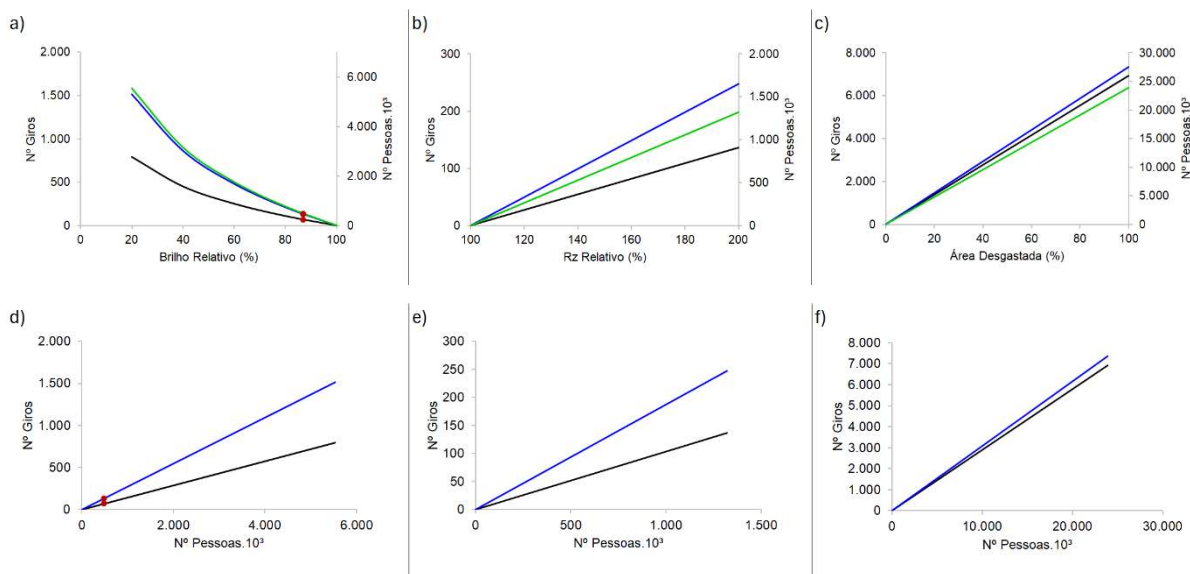
provocado pelo trânsito de um determinado número de pessoas, de acordo com os métodos ISO ou UNE, para cada característica avaliada. Sendo o gráfico “d” correspondente a variação de brilho, o gráfico “e” referente a variação de Rz e o gráfico “f” referente a variação da área desgastada.

Os pontos vermelhos sobre as linhas, indicam quando ocorre a redução de 13% do brilho original indicando uma descaracterização da superfície, conforme estudo de Zaccaron *et al.* (2024). Importante salientar que esse estudo avaliou apenas superfícies de elevado brilho, portanto é aplicável às superfícies do grupo 1 e grupo 2 desse estudo.

Outro ponto importante a se considerar é que o indicativo de 100% da área desgastada não significa que toda a superfície foi removida, mas que existem sinais de remoção de material espalhados por toda a superfície. É essencial entender que o método utilizado não avalia a profundidade do desgaste; portanto, a representação de 100% está relacionada à ocorrência de desgaste ao longo de toda a área examinada, e não à completa eliminação do material na superfície.

A Figura 66 representa o comparativo do número de giros e número de pessoas para a superfície do grupo 1.

Figura 66 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 1: — Real, — UNE, — ISO



Fonte: Autora (2024).

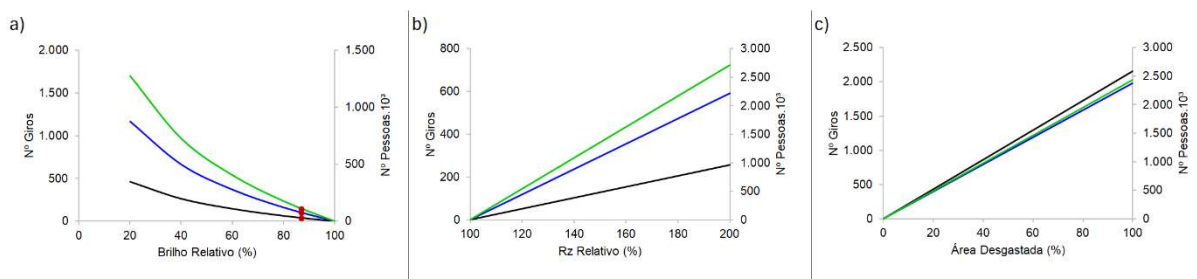
Em todas as características avaliadas, observa-se que os testes laboratoriais induzem alterações superficiais que, em condições reais, somente ocorreriam sob um trânsito extremamente intenso de pessoas. As linhas pretas que indicam o teste UNE mostra que é necessário um número menor de ciclos do que o teste ISO para reproduzir o trânsito de um mesmo número de pessoas, tanto para a característica do brilho, quando para o Rz. Quanto a área de desgaste, o comportamento é similar.

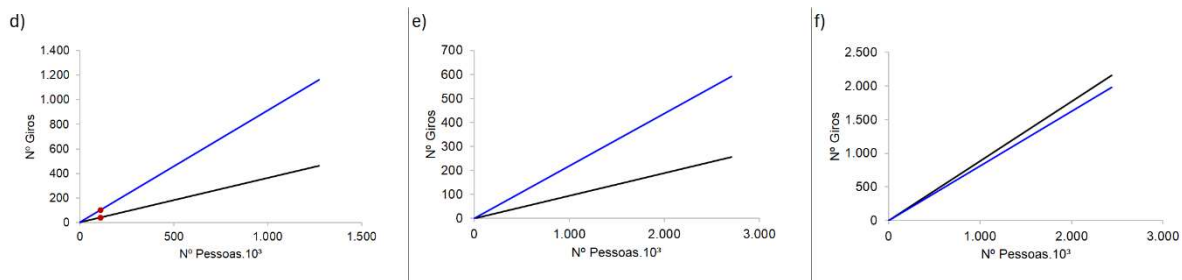
Um aspecto que pode ser notado no gráfico é que a característica de rugosidade parece ser mais facilmente alterada do que as demais. Outro ponto a se destacar é que nessa superfície o brilho tende a reduzir, enquanto que a rugosidade tende a aumentar.

Analisando-se o gráfico sobre a remoção de material, é possível notar que somente após o trânsito de 25 milhões de pessoas é que a superfície estará inteiramente afetada pelo desgaste. Se considerar que o desgaste nesta superfície é caracterizado por riscos, isso implica que apenas após uma quantidade tão significativa de passagem de pessoas é que a superfície estará totalmente marcada por arranhões. Este comportamento indica que, em comparação com os demais grupos que serão discutidos posteriormente, esta superfície apresenta o melhor desempenho em termos de área afetada.

A Figura 67 mostra a relação entre número de giros e número de pessoas para as superfícies do grupo 2.

Figura 67 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 2: — Real, — UNE, — ISO



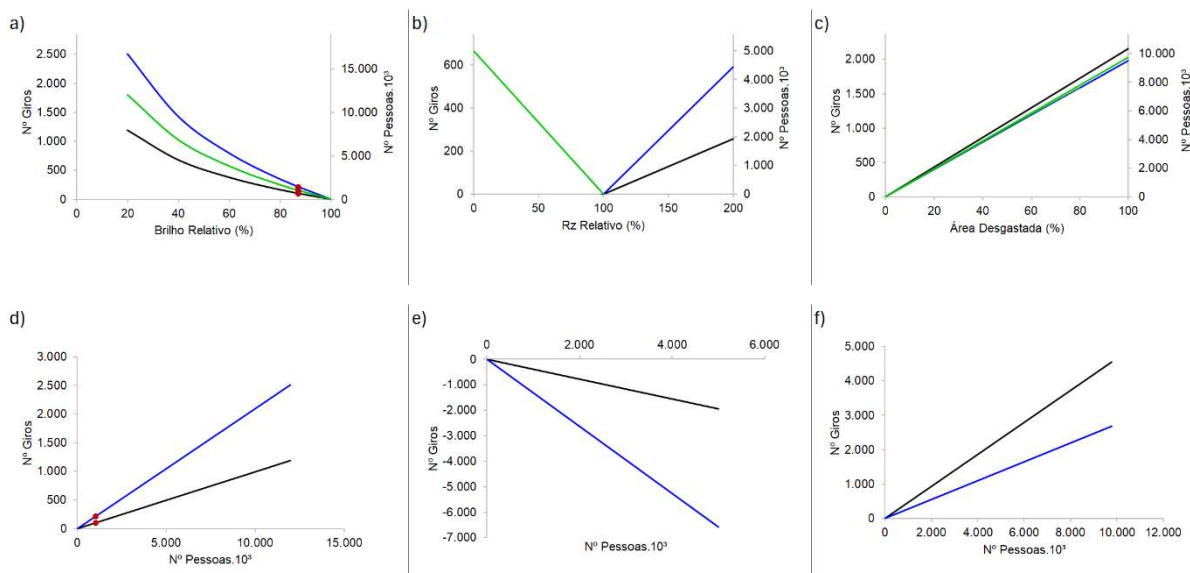


Fonte: Autora (2024).

Comparativamente à superfície do grupo 1, percebe-se um desempenho bastante inferior desse grupo, onde um número muito inferior de pessoas será necessário para reproduzir o mesmo desgaste. Um indicador interessante é a área de remoção de material, com cerca de 2,2 milhões de pessoas e 2 mil giros, toda a superfície tende a estar comprometida por riscos.

A Figura 68 ilustra a relação entre o número de giros e o número de pessoas para as superfícies do grupo 3.

Figura 68 – Relação entre Nº Ciclos e Nº Pessoas - Grupo 3: — Real, — UNE, — ISO



Fonte: Autora (2024).

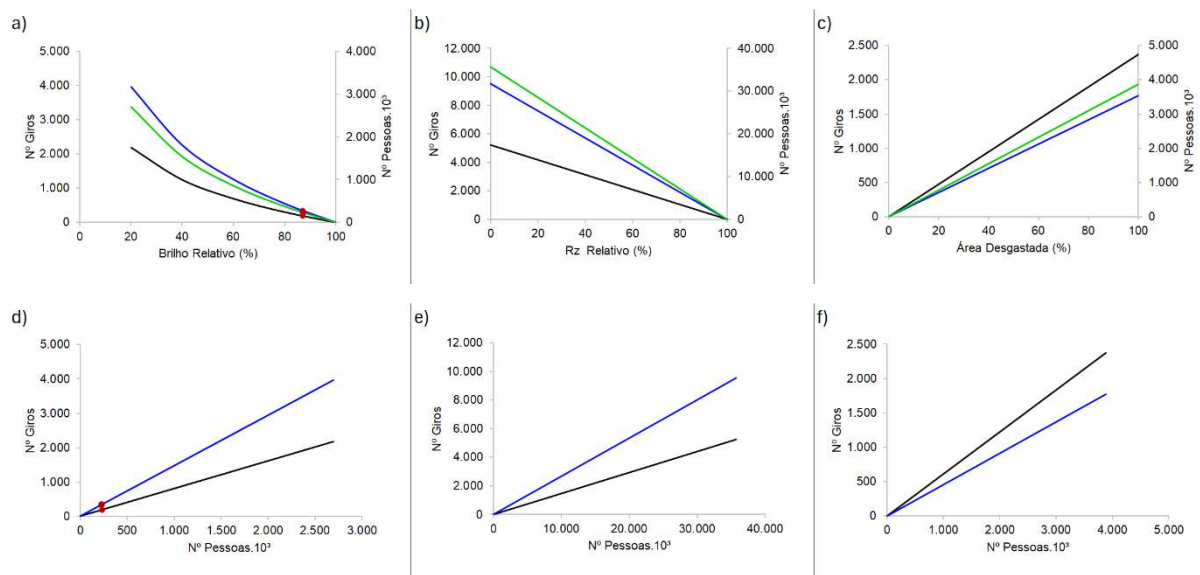
Um comportamento interessante é observado em relação à rugosidade: enquanto nos testes de laboratório a rugosidade aumenta, nos testes em condições

reais a rugosidade diminui, o que consiste em um problema, já que a variação de rugosidade nunca poderá ser reproduzida em laboratório.

Quanto à variação de brilho e de área desgastada, o desempenho dessa superfície é muito superior ao do grupo 2.

A Figura 69 mostra a relação entre o número de pessoas e o número de ciclos das superfícies do grupo 4. Essa superfície apresenta redução de Rz e redução de brilho.

Figura 69 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 4: — Real, — UNE, — ISO

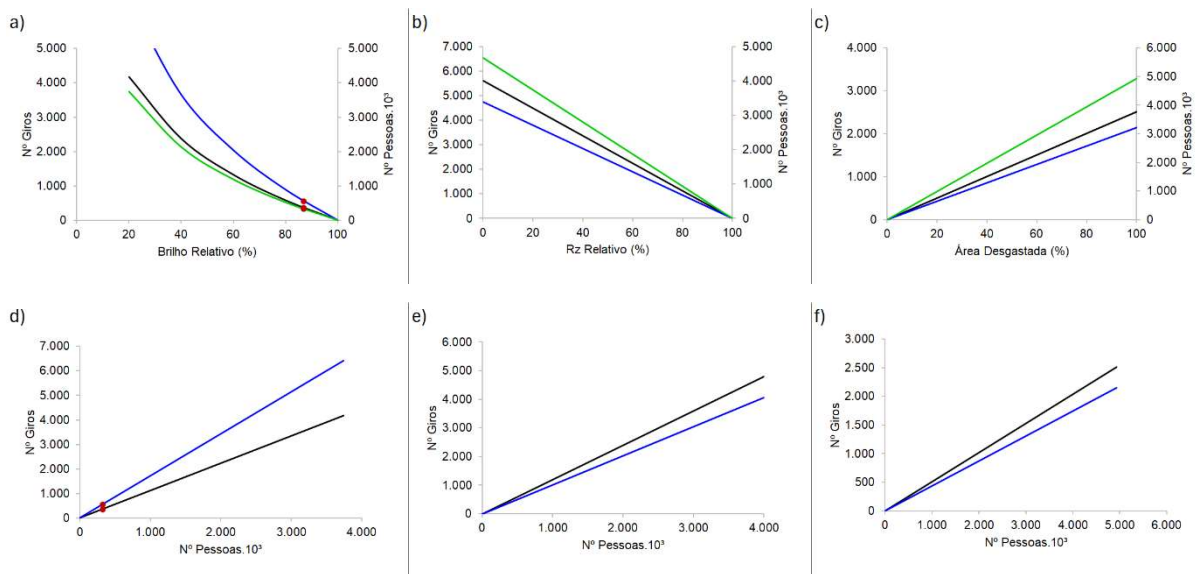


Fonte: Autora (2024).

A Figura 70 destaca o comportamento do grupo 5, ressaltando a importância de considerar as variações na rugosidade (Rz), já que estas superfícies são definidas por sua elevada rugosidade inicial. Para alcançar uma redução de 20% em Rz por exemplo, estima-se que seria necessário um tráfego de cerca de 1 milhão de pessoas. Essa quantidade de tráfego equivale, aproximadamente, a 1.800 giros de teste pelo método UNE e 1.500 giros pelo método ISO.

Dado que essas superfícies possuem um brilho inicial próximo de zero, as alterações no brilho não são consideradas tão relevantes para a avaliação. Mesmo uma mudança percentual significativa no brilho terá um impacto visual mínimo e, em muitos casos, pode permanecer imperceptível a olho nu.

Figura 70 – Relação entre N° Ciclos e N° Pessoas - Grupo 5: — Real, — UNE, — ISO



Fonte: Autora (2024).

No estudo de Engels (2016), o ensaio de abrasão superficial, de acordo com a ISO 10545, é muito agressivo, pois poucos ciclos já alteram de forma intensa a superfície de teste, ao contrário do que ocorre em condições reais de uso, fato comprovado por esse estudo.

4.4.1 Análise de brilho

No estudo de Zaccaron *et al.* (2024), observou-se que uma diminuição de cerca de 13% no brilho de superfícies altamente brilhantes é visivelmente perceptível ao olho humano. Utilizando a equação que quantifica a redução do brilho para diferentes tipos de superfície, foi possível calcular o número preciso de ciclos de abrasão necessários para alcançar essa redução de brilho, o que descaracterizaria a superfície.

Adicionalmente, calculou-se o número de pessoas requerido para causar uma perda de brilho que afeta visualmente as superfícies, por meio das equações utilizadas para a construção dos gráficos anteriormente apresentados. A Tabela 25 apresenta esses dados para todos os grupos estudados, porém os grupos 1 e 2 são o foco de análise devido ao seu brilho inicial mais elevado; alterações de brilho em

grupos com brilho moderado a baixo como os grupos 3, 4 e 5 são mais difíceis de serem detectadas visualmente ainda que as mudanças percentuais sejam grandes.

Tabela 25 – N° pessoas e giros para perda de 13% de brilho

Grupos	UNE	ISO	Real
Grupo 1	69	131	479.058
Grupo 2	40	101	110.123
Grupo 3	103	217	1.037.720
Grupo 4	189	343	233.309
Grupo 5	361	556	323.639

Fonte: Autora (2024).

No grupo 1 são necessários 69 giros pelo método UNE e 131 pelo ISO para alcançar a perda de brilho, enquanto em condições reais, são necessárias 479.058 passagens de pessoas para obter o mesmo efeito.

Para o grupo 2, são necessários 40 giros pelo método UNE e 101 pelo ISO para atingir a mesma perda de brilho, enquanto em condições reais são necessárias 110.123 passagens de pessoas.

Esses resultados demonstram uma diferença significativa entre as condições de teste laboratoriais e reais, sugerindo que os métodos laboratoriais podem superestimar a taxa de desgaste quando comparados às condições reais de uso.

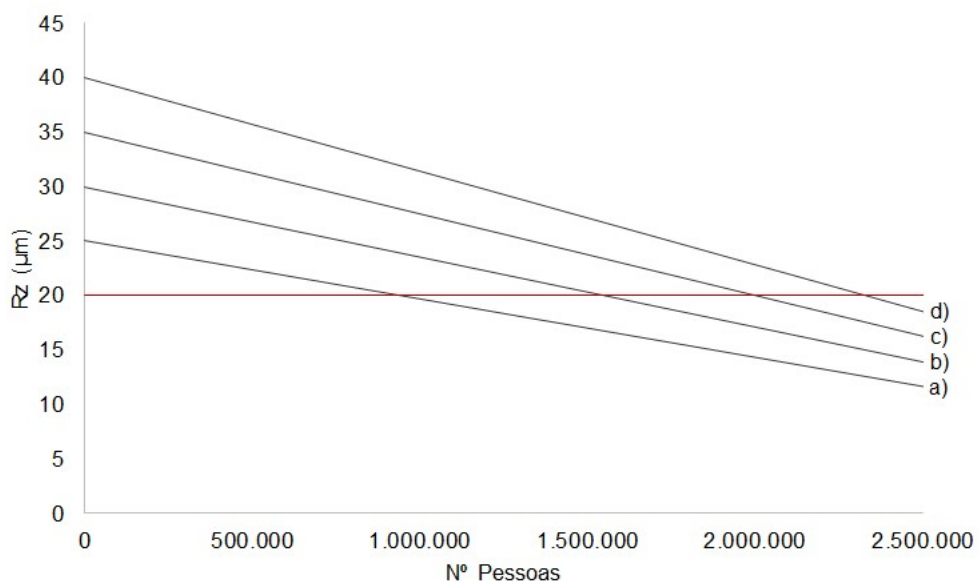
Em ambos os grupos se comprova que a condição de giros em laboratório é de extrema rigidez. Além disso, os resultados confirmam a superioridade do desempenho do grupo 1 em relação ao grupo 2. Essa superioridade pode ser atribuída à menor incidência de defeitos superficiais nas amostras do grupo 1. Em contrapartida, as superfícies do grupo 2 exibem uma quantidade significativa de defeitos, como poros, que comprometem a sua integridade e desempenho. A presença desses poros é um fator crítico que contribui para a degradação mais acelerada dessas superfícies sob as condições de teste.

4.4.2 Análise de rugosidade

A Figura 70 exibe uma simulação do desempenho do Rz, baseada na tendência de evolução da Rz observada no grupo 5. De acordo com as diretrizes do *UK Slip Resistance Group* (2016), superfícies com Rz acima de 20 μm têm um baixo potencial de escorregamento e, portanto, são consideradas mais seguras. Para construção do gráfico, foi utilizada a equação do gráfico b) do grupo 5, anteriormente apresentados.

Por essa razão, o gráfico enfatiza o marco de 20 μm como um padrão crítico, indicando que abaixo deste nível, a segurança no trânsito de pessoas pode ser considerada comprometida.

Figura 71 – Evolução de Rz para superfícies rugosas: a) 25 μm , b) 30 μm , c) 35 μm , d) 40 μm



Fonte: Autora (2024).

Para uma superfície com Rz inicial de 25 μm , o desgaste resultante do tráfego de pessoas reduzirá o Rz para 20 μm após o trânsito de aproximadamente 935.000 pessoas.

Uma superfície com Rz inicial de 30 μm suporta até o tráfego de 1.500.000 pessoas antes de atingir um Rz de 20 μm . Já uma superfície com 35 μm de Rz inicial resiste ao tráfego de 2.000.000 de pessoas, e uma com 40 μm de Rz inicial suporta

até 2.335.000 pessoas. Assim, fica evidente que quanto maior o Rz inicial, maior é a durabilidade do produto em termos de segurança contra escorregamento.

Bowman (2010) sugere que os padrões atuais podem não prever adequadamente a resistência ao deslizamento a longo prazo, defendendo o desenvolvimento de protocolos de testes mais confiáveis que considerem as condições de desgaste do mundo real.

No estudo desenvolvido por Bowman (2018), ele enfatiza a importância do condicionamento de desgaste acelerado, na avaliação da durabilidade e do desempenho a longo prazo dos materiais de pisos, destacando as limitações dos métodos de teste atuais e a necessidade de padronização internacional.

Bowman (2016) ressalta que o processo de desgaste e as características da superfície desgastada são cruciais para determinar se um produto oferece desempenho adequado ao longo de seu ciclo de vida. Este ponto é particularmente relevante, pois muitos resultados de resistência ao deslizamento conhecidos desde a fabricação são considerados de curta duração, o que leva à desconfiança em muitos dos resultados de testes atuais.

Em outro trabalho desenvolvido por Bowman (2018), ele defende a adoção em toda a indústria de práticas que garantam que os pisos permaneçam antiderrapantes durante toda a sua vida útil, alinhando-se com as responsabilidades sociais de segurança.

Nesse contexto, essa relação expressa no gráfico pode servir como um indicador para a especificação e avaliação da durabilidade de superfícies cerâmicas, abrangendo tanto as características visuais quanto as propriedades de resistência ao escorregamento das superfícies.

4.4.3 Análise das Classes de PEI

Com base nos resultados apresentados, é evidente que o teste laboratorial de desgaste para revestimentos cerâmicos é consideravelmente mais rigoroso do que as condições reais de uso.

Entretanto, a classificação de PEI estabelecida na norma ISO 10545 continua sendo amplamente adotada globalmente como um indicador da resistência ao desgaste de um produto. A Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28 tem como objetivo

detalhar a correspondência entre cada classe de PEI e o número de pessoas, levando em consideração a variação de brilho, a rugosidade e a área desgastada.

Tabela 26 – Nº pessoas equivalente a cada classe de abrasão - Brilho

Superfícies	PEI 1	PEI 2	PEI 3	PEI 4	PEI 5
	100 giros	150 giros	600 giros	1.500 giros	12.000 giros
Grupo 1	365.432	548.148	2.192.592	5.481.479	43.851.831
Grupo 2	109.255	163.883	655.532	1.638.831	13.110.644
Grupo 3	477.959	716.938	2.867.752	7.169.381	57.355.046
Grupo 4	68.056	102.084	408.335	1.020.838	8.166.703
Grupo 5	58.255	87.383	349.532	873.830	6.990.637

Fonte: Autora (2024).

Tabela 27 – Nº pessoas equivalente a cada classe de abrasão - Rz

Superfícies	PEI 1	PEI 2	PEI 3	PEI 4	PEI 5
	100 giros	150 giros	600 giros	1.500 giros	12.000 giros
Grupo 1	534.175	801.263	3.205.051	8.012.628	64.101.024
Grupo 2	457.460	686.191	2.744.762	6.861.906	54.895.245
Grupo 3	-	-	-	-	-
Grupo 4	374.553	561.830	2.247.319	5.618.298	44.946.386
Grupo 5	98.512	147.767	591.070	1.477.674	11.821.390

Fonte: Autora (2024).

Tabela 28 – Nº pessoas equivalente a cada classe de abrasão – Área desgastada

Superfícies	PEI 1	PEI 2	PEI 3	PEI 4	PEI 5
	100 giros	150 giros	600 giros	1.500 giros	12.000 giros
Grupo 1	324.828	487.242	1.948.968	4.872.419	38.979.351
Grupo 2	122.780	184.170	736.679	1.841.699	14.733.588
Grupo 3	363.848	545.771	2.183.086	5.457.715	43.661.719
Grupo 4	219.045	328.568	1.314.273	3.285.681	26.285.451
Grupo 5	229.021	343.532	1.374.126	3.435.316	27.482.525

Fonte: Autora (2024).

As tabelas revelam que o número de ciclos empregados para definir a classe de PEI é excessivamente elevado, visto que para todos os grupos analisados,

a classe PEI 4 corresponde ao tráfego de milhões de pessoas, enquanto a classe PEI 5 representa o tráfego de dezenas de milhões. Esses dados evidenciam uma desconexão entre as classes de PEI estipuladas pela norma e as condições reais de uso de revestimentos cerâmicos.

De acordo com Correa e Bernardin (2014), o método PEI normatizado pela ISO 10545 não leva em conta fatores que são facilmente perceptíveis para o usuário, como a perda de brilho das superfícies cerâmicas. Esses aspectos são importantes para a percepção estética e funcional do produto pelo consumidor, mas não são avaliados pelo método PEI. A tabela apresentada avalia exatamente esses aspectos que o método não contempla.

4.4.4 Equações de correlação

A equação 9 é a equação genérica que representa a relação entre o número de pessoas e o número de giros. Essa equação é linear:

$$n_G = a \cdot n_P + b$$

Eq. 9

Onde:

n_G = número de giros;

n_P = número de pessoas;

a = coeficiente angular da reta;

b = coeficiente linear da reta.

O coeficiente linear da reta “b” será igual a zero, e o coeficiente angular “a” que é indicado pela inclinação das linhas nos gráficos “d”, “e” e “f” anteriormente apresentados, reflete a proporção entre o número de giros e o número equivalente de pessoas que transitam sobre a superfície.

A Tabela 29 apresenta as equações que descrevem a relação entre o número de pessoas e o número de giros necessários para reproduzir variações específicas no brilho, na rugosidade e na área de desgaste das amostras testadas conforme a metodologia ISO. Já a Tabela 30 fornece informações equivalentes, mas para as amostras submetidas aos testes de desgaste utilizando a metodologia UNE.

Tabela 29 – Equação de relação: Número de giros x Número de pessoas – método ISO

Grupos	Brilho	Rz	Área
Grupo 1	$n_G = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 1,87 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 3,08 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 2	$n_G = 9,15 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 2,19 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_{PG} = 8,87 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 3	$n_G = 2,09 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = -3,90 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 4,66 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 4	$n_G = 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot n_P$	$n_G = 2,67 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 6,12 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 5	$n_G = 1,72 \cdot 10^{-3} \cdot n_P$	$n_G = 1,20 \cdot 10^{-3} \cdot n_P$	$n_G = 5,10 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$

Fonte: Autora (2024).

Tabela 30 – Equação de relação: Número de giros x Número de pessoas – método UNE

Grupos	Brilho	Rz	Área
Grupo 1	$n_G = 1,44 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 2,90 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 2	$n_G = 3,63 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 9,47 \cdot 10^{-5} \cdot n_P$	$n_{PG} = 8,14 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 3	$n_G = 9,92 \cdot 10^{-5} \cdot n_P$	$n_G = -1,32 \cdot 10^{-3} \cdot n_P$	$n_G = 2,75 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 4	$n_G = 8,09 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 1,47 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$	$n_G = 4,57 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$
Grupo 5	$n_G = 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot n_P$	$n_G = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot n_P$	$n_G = 4,37 \cdot 10^{-4} \cdot n_P$

Fonte: Autora (2024).

Tanto nas equações da Tabela 29 como na Tabela 30, observa-se uma variação considerável nos coeficientes angulares entre diferentes características e grupos, refletindo distintas taxas de conversão de giros em número de pessoas.

Especificamente, a equação relacionada a Rz para o Grupo 3 demonstra um valor negativo, o que sugere uma relação inversa. Isso implica que, para este grupo e característica, o desgaste causado pelo tráfego de pessoas não se correlaciona diretamente com o número de giros nos testes aplicados pelos métodos UNE e ISO.

As equações detalhadas nas tabelas apresentam dados cruciais para direcionar o desenvolvimento de novos produtos, materiais/insumos ou metodologias produtivas. Ao integrar essas equações com informações específicas sobre o tipo de área de aplicação do revestimento cerâmico, seja de alto tráfego, como em espaços

públicos, ou de baixo tráfego, como em ambientes residenciais, é possível antecipar o desempenho técnico do produto ou insumo em questão.

Ao simular o número de pessoas que transitarão sobre a superfície do produto em ambientes controlados de laboratório, é possível avaliar o desgaste, a rugosidade e a perda de brilho sob condições específicas.

Esta previsibilidade permite a simulação em laboratório das condições reais de uso, incluindo o volume estimado de trânsito sobre a superfície, para avaliar a adequação do produto em termos de rugosidade, Rz, e à perda de brilho. Assim, é possível ajustar o desenvolvimento do produto para atender às demandas específicas.

A previsibilidade fornecida pelas equações mencionadas é um avanço científico, oferecendo uma metodologia quantitativa para prever o comportamento de produtos sob diferentes condições de tráfego. Esta metodologia permite que pesquisadores e desenvolvedores de produtos estimem de forma mais precisa a durabilidade e a estética de um produto antes de sua introdução no mercado.

A capacidade de prever o desempenho de um produto com base no tráfego esperado é particularmente valiosa para otimizar a seleção de materiais, o design e os processos de fabricação. Isso garante que o produto final seja durável o suficiente para suportar as condições reais de uso, minimizando assim o risco de falhas prematuras e aumentando a satisfação do cliente.

Essa abordagem também contribui para o desenvolvimento sustentável, permitindo que os produtos sejam projetados com uma vida útil mais longa e menor necessidade de substituição.

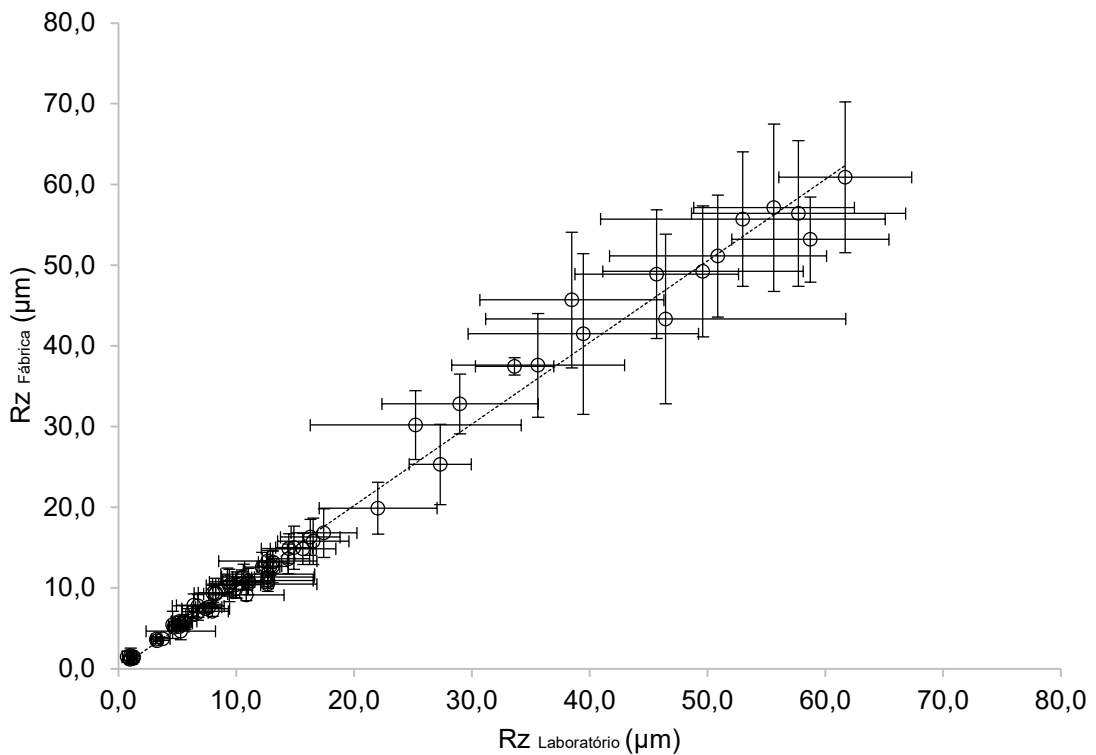
A ineditismo dessas equações de previsibilidade destaca o potencial para avanços significativos no desenvolvimento de produtos cerâmicos. Ao fornecer um modelo para prever o impacto do tráfego humano sobre diferentes superfícies, essas equações facilitam a inovação e a melhoria de produtos, insumos e técnicas de produção, alinhando-se com as necessidades e expectativas do mercado consumidor.

Essa capacidade preditiva pode levar a uma vantagem competitiva no mercado, à medida que as empresas conseguem lançar produtos mais duráveis, eficientes e alinhados com as demandas do consumidor final.

4.5 IMPLANTAÇÃO DE CONTROLES FABRIS

A Figura 72 representa o gráfico de relação dos resultados de Rz obtidos em laboratório e fábrica. Os pontos experimentais ficaram muito próximos à linha de tendência, o que demonstra a condição de equidade entre as medições.

Figura 72 – Relação entre Rz medido em laboratório e fábrica



Fonte: Autora (2024).

A equação 10 que representa a correlação entre as medições realizadas no laboratório e na fábrica é a seguinte:

$$Rz_{fábrica} = 1,0109 \cdot Rz_{laboratório}$$

Eq. 10

O valor do R^2 nesse caso foi de 0,99, um valor também bastante elevado que mostra que a equação é válida. Portanto, pode-se afirmar que os valores obtidos pela fábrica são iguais aos obtidos no laboratório, validando, portanto, a metodologia de medição.

4.5.1 Variabilidade de medição

O desvio padrão das medidas de parâmetros de rugosidade realizadas são consideravelmente grandes. Também se observou que quanto maior o valor de Rz, ou seja, quanto mais rugosa é a superfície, também maior é o desvio padrão das medidas.

Para realizar uma análise mais detalhada da variabilidade das medições, a Figura 73 mostra o coeficiente de variação das medições que é dado pela equação 11:

$$Cv = \frac{S}{X} \cdot 100$$

Eq. 11

Onde:

Cv: coeficiente de variação

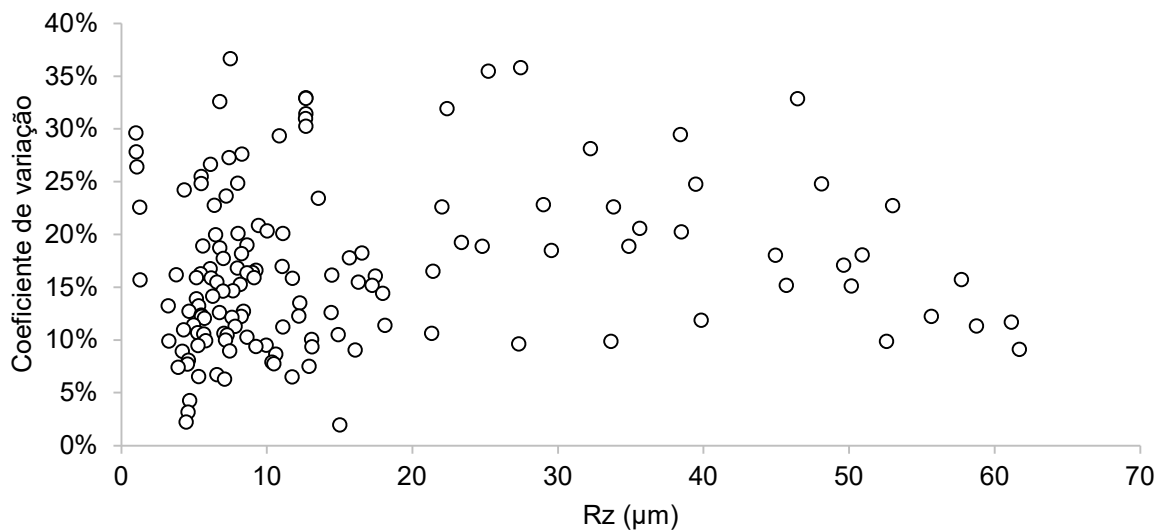
S: desvio padrão

X: média

O coeficiente de variação fornece a variação dos dados obtidos em relação à média. Quanto menor for o seu valor, mais homogêneos serão os dados. O coeficiente de variação é considerado baixo (apontando um conjunto de dados bem homogêneos) quando for menor ou igual a 25%.

O gráfico representa no eixo horizontal os valores de Rz, e no eixo vertical, o coeficiente de variação. Nesse gráfico são expressas apenas as medidas realizadas no laboratório.

Figura 73 – Coeficiente de variação das medidas de Rz



Fonte: Autora (2024).

O gráfico mostra que percentualmente as variações não estão relacionadas ao quanto a superfície é rugosa, já que se têm superfícies com Rz inferior a 10 μm, porém com coeficiente de variação próximo a 40%, enquanto há superfícies com Rz próximo a 60 μm mas com coeficiente de variação inferior a 10%.

Obviamente em números absolutos, a variação de 10% quando o Rz for de 60 μm, irá corresponder a 6 μm, valor maior do que a superfície que apresenta Rz igual a 10 μm, com variação de 40%, que corresponde a 4 μm. No entanto essa análise serve para exemplificar que não somente superfícies muito rugosas, como as granilhadas apresentam heterogeneidade de textura. Pois superfícies tidas como lisas também não podem ser consideradas perfeitamente homogêneas.

Outro ponto interessante a se destacar, é que um grande valor de desvio padrão ou coeficiente de variação pode ser um empecilho no momento de determinar se o produto atende ou não a um requisito. Para redução do desvio padrão das medidas tem-se três opções:

- Elevar a precisão do equipamento de medição: essa alternativa pode não ser a mais eficiente pois o equipamento possui precisão de 0,02 μm, que já pode ser considerada bastante elevada;
- Aumentar a homogeneidade das superfícies: elevar a homogeneidade de textura das superfícies é uma das soluções para reduzir o desvio padrão das medições, entretanto com o nível de conhecimento obtido até o momento no

que diz respeito a controle de parâmetros de rugosidade no processo produtivo, essa alternativa pode ser de difícil implementação;

- Aumentar o número de pontos amostrais para as medições: Uma alternativa para redução do desvio padrão das medidas é aumentar o espaço amostral, ou seja, aumentar o número de pontos de medição em cada peça analisada. Atualmente, no procedimento criado, o número de pontos de medição aumenta conforme a área da peça aumenta. Entretanto o número de pontos experimentais parece não ser suficiente para que se tenha um desvio padrão adequado. No momento essa alternativa parece ser a mais fácil de ser implementada, porém ela está condicionada ao aumento do tempo necessário para realizar o ensaio.

4.5.2 Definição dos padrões de Rz

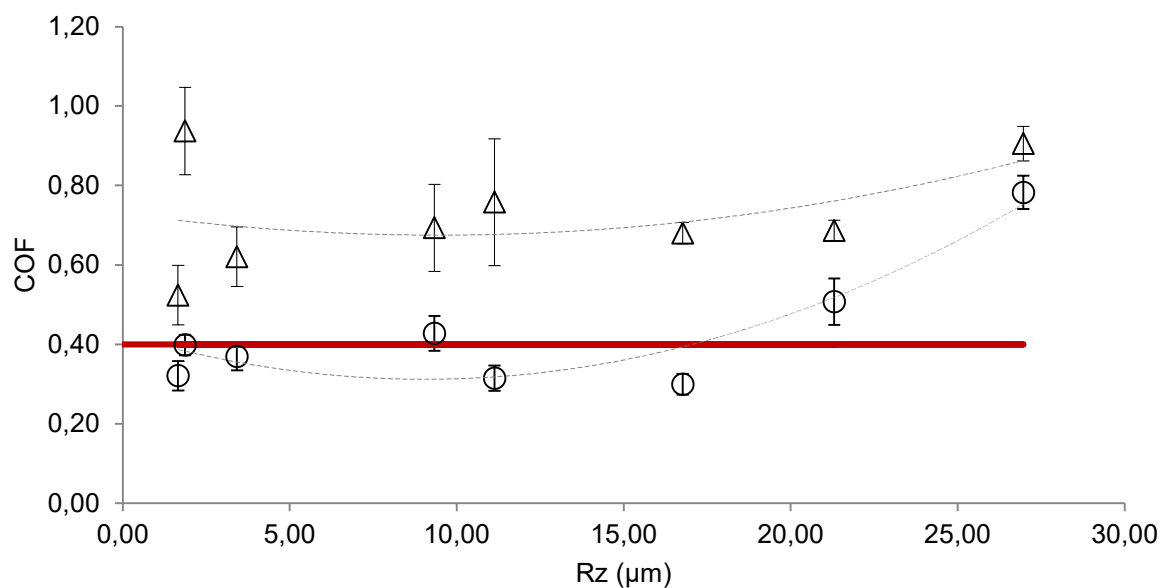
As Figura 74, Figura 75 e Figura 76 mostram a influência do parâmetro de rugosidade Rz no COF, DCOF e SRV para cada método avaliado. Nestas figuras, as superfícies mais lisas apresentam, como esperado, valores Rz mais baixos.

As linhas vermelhas indicam o valor mínimo de segurança para os métodos Tortus, BOT e pêndulo em condições úmidas, que são considerados seguros de acordo com as respectivas normas. Os valores de COF, DCOF e SRV para os métodos Tortus, BOT e Pêndulo são iguais a 0,40, 0,42 e 36, respectivamente.

As barras de erro indicam o desvio padrão dos resultados dos testes, e os gráficos mostram que existe um grande desvio no COF, DCOF e SRV determinado em condições secas indicadas pelos triângulos, principalmente para superfícies que apresentam baixo Rz. Não é possível estabelecer uma tendência clara de como o parâmetro de rugosidade Rz influencia o COF, DCOF e SRV testado a seco.

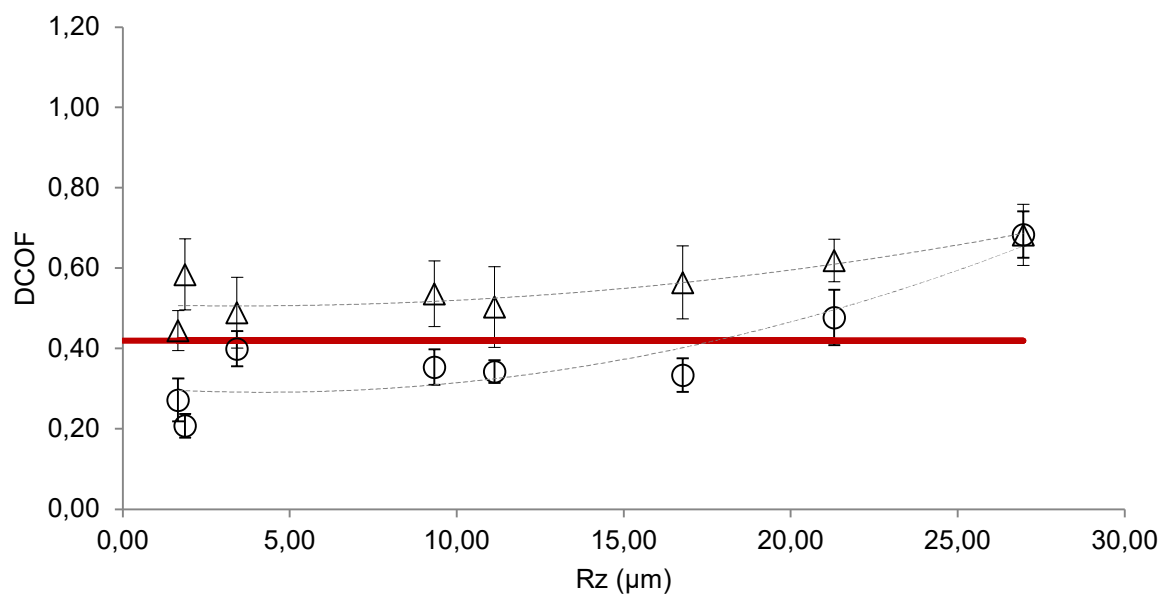
Sabe-se que quanto maior o valor do parâmetro Rz, menor o potencial de escorregamento. Para o COF, DCOF e SRV determinados em condições úmidas indicada pelos círculos, é possível observar uma tendência: quanto maior o valor de Rz, maior o COF, DCOF e SRV, o que concorda com trabalho desenvolvido por Chang *et al.* (2010), que mostraram que quanto maior o valor do parâmetro rugosidade, maior o atrito medido.

Figura 74 – Relação Rz e Coeficiente de atrito DS: Δ condição seca; \circ condição úmida



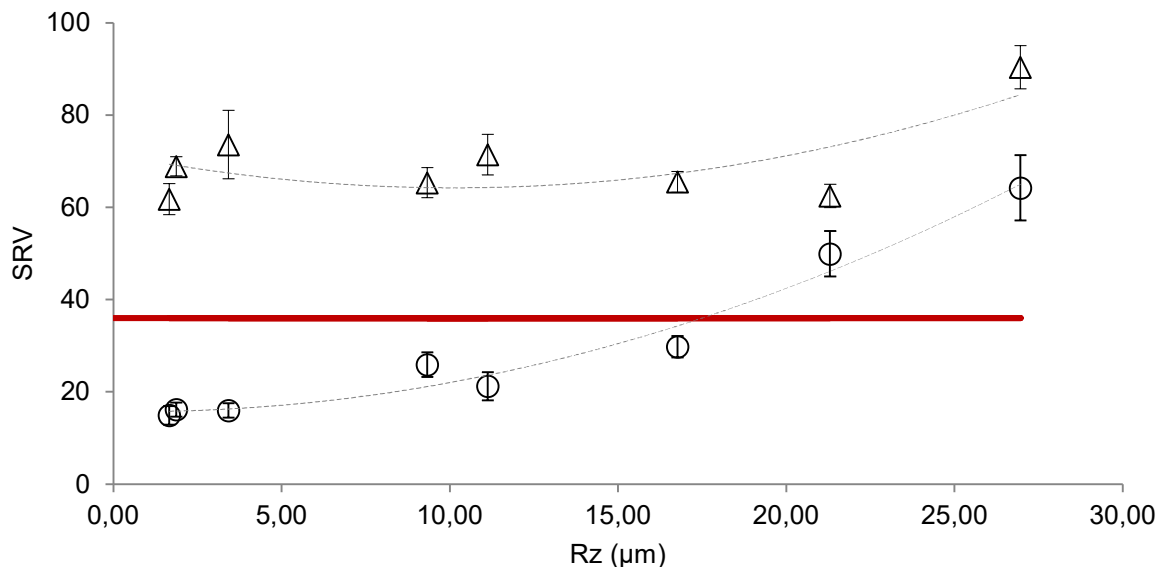
Fonte: Demarch *et al.* (2021).

Figura 75 – Relação Rz e Coeficiente de atrito BOT: Δ condição seca; \circ condição úmida



Fonte: Demarch *et al.*, (2021).

Figura 76 – Relação Rz e Coeficiente de atrito SRV: Δ condição seca; O condição úmida



Fonte: Demarch *et al.*, 2021

A Tabela 31 mostra a equação que representa a tendência observada no gráfico e o valor de R^2 .

Tabela 31 - Equação e R^2 da relação entre Rz e Atrito para condições úmidas.

Método	Equação	R^2
DS	$COF = 0,0001Rz^3 - 0,0031Rz^2 + 0,0240Rz + 0,3274$	0,92
BOT	$DCOF = 0,0001Rz^3 - 0,0036Rz^2 + 0,0408Rz + 0,2107$	0,90
Pêndulo	$SRV = 0,0006Rz^3 + 0,0462Rz^2 + 0,1876Rz + 15,2280$	0,98

Fonte: Demarch *et al.* (2021)

Os valores de R^2 mostram o quão bem os modelos (equações) adotados se ajustam aos dados experimentais. Nesse caso, a equação do método do pêndulo representa melhor o comportamento do SRV em relação ao Rz com um R^2 de 0,98. A escolha de um polinômio de terceiro grau para modelagem pode ser considerada satisfatória, visto que foram obtidos valores de R^2 iguais ou superiores a 0,90. Além disso, a população de 132 amostras de caba acabamento superficial fornece uma análise robusta.

As superfícies avaliadas exibem quase o mesmo comportamento na condição seca devido à dispersão dos dados. Karaca *et al.* (2013) também mostraram uma baixa correlação entre os resultados das medições em condições secas.

No entanto, pode-se inserir o valor de segurança (valor mínimo) para os métodos DS, BOT e pêndulo em condições úmidas, de acordo com as respectivas normas, que são iguais a 0,40, 0,42 e 36, respectivamente. No trabalho desenvolvido por Harris e Shaw (1987) foi observado que as medições de rugosidade mostram uma correlação com a resistência ao escorregamento em condições molhadas, sugerindo que tanto a rugosidade como o atrito dinâmico são indicadores importantes da resistência ao escorregamento. A Tabela 32 mostra o valor Rz calculado para cada método avaliado.

No estudo desenvolvido por Lot (2020) também é referenciado que o controle dos parâmetros de rugosidade pode ser utilizado para maximizar a resistência ao escorregamento de um produto.

Tabela 32 – Matriz de Correlação – Rz calculado a partir das equações da Tabela 31 considerando o valor mínimo de segurança para cada método avaliado

Método	Rz (μm)	Rz padrão (μm)
DS	21,3524	
BOT	21,5947	20,17 \pm 2,27
Pêndulo	17,5528	

Fonte: Demarch *et al.* (2021)

Portanto, o valor de 23 μm pode representar o valor previsto de Rz que garante que uma superfície testada pode ser considerada segura no teste de condição úmida, independentemente do método utilizado para a determinação do coeficiente de atrito.

A partir desse valor e usando as equações da Tabela 31, pode-se calcular os valores de coeficiente de atrito de 0,43, 0,44 e 49 para os métodos DS, BOT e pêndulo, respectivamente. Dessa forma o Rz padrão é 20,1666 \pm 2,2669 μm , o que está de acordo com as Diretrizes do *UK Slip Resistance Group*, que recomenda um valor maior que 20 μm para baixo potencial de escorregamento. Este valor foi

determinado por um método óptico, enquanto essa medição Rz foi realizada por um método de contato muito semelhante.

Portanto, considerando os dados experimentais e para segurança, usando $x + 2\sigma$ (95% de confiança), recomenda-se um valor Rz de 25 μm para representar o valor seguro para baixo potencial de escorregamento em substituição aos métodos investigados.

A equação 13 apresenta o cálculo do número de pessoas que uma superfície com 25 μm resistiria até atingir o valor limite de 20 μm :

$$\frac{Rz_{limite}}{Rz_{inicial}} = a \cdot x + b$$
$$\frac{20}{25} = -2,14 \cdot 10^{-7} \cdot x + 1$$
$$x = 934.143 \text{ pessoas}$$

Eq. 12

Onde:

Rz_{limite} = padrão de Rz *UK Slip Resistance Group*;

$Rz_{inicial}$ = padrão de Rz estabelecido;

$\frac{Rz_{limite}}{Rz_{inicial}}$ = Rz relativo (%);

x = número de pessoas;

a = coeficiente angular da reta;

b = coeficiente linear;

Seguindo a equação de desempenho de Rz para as superfícies rugosas, uma superfície com o valor de Rz de 25 μm suportaria o trânsito de 934.143 pessoas com bom desempenho de resistência ao escorregamento.

5 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou diversas observações importantes em relação ao desgaste de superfícies cerâmicas, quanto à perda de massa das superfícies, observou-se que segue um comportamento linear, o que facilita a previsão do desgaste ao longo do tempo.

A perda de brilho apresenta um padrão exponencial, embora uma aproximação linear também se ajuste bem aos dados experimentais até 1250 giros. Com maior número de giros e com maior trânsito de pessoas, o padrão exponencial de comportamento do brilho se tornaria mais visível.

Durante os testes de desgaste, observa-se alteração no valor de Rz. Superfícies inicialmente lisas tendem a apresentar um aumento no Rz à medida que se tornam mais rugosas. Por outro lado, superfícies que inicialmente são rugosas geralmente se tornam mais lisas, resultando numa diminuição do Rz.

A análise quantitativa da área de material removido, por meio de micrografias, revelou uma relação linear entre o volume de material removido e o fluxo de tráfego de pessoas. Além disso, há uma correlação linear direta entre o número de ciclos de abrasão e a quantidade de material removido.

Quando realizada a comparação entre os testes laboratoriais e os realizados em condições reais se verifica que os testes laboratoriais, tanto pela norma UNE quanto pela norma ISO, não replicam fielmente as condições reais de uso. Eles tendem a ser extremamente agressivos, com um único giro de abrasão podendo equivaler ao trânsito de centenas de pessoas, dependendo do tipo de superfície.

Os resultados indicam que a presença de porosidades é um fator importante para o desempenho do produto frente ao desgaste. As porosidades, que são basicamente defeitos na superfície, tornam o material mais suscetível ao arrancamento de partículas, resultando em um desgaste menos favorável. Portanto, materiais com porosidades superficiais tendem a apresentar um desgaste mais acentuado.

Em termos de resistência ao tráfego, superfícies brilhantes sem porosidade superficial podem suportar o trânsito de até 479 mil pessoas sem sofrer alterações significativas na aparência. Por outro lado, superfícies brilhantes e porosas podem suportar o trânsito de no máximo 110 mil pessoas antes de apresentarem alterações

visuais perceptíveis. Essas descobertas ressaltam a importância de considerar a porosidade superficial na avaliação da durabilidade e resistência ao desgaste de revestimentos cerâmicos.

Este estudo apresenta uma abordagem inovadora ao estabelecer correlações entre o número de giros em testes de abrasão superficial, conforme especificado pelas normas ISO e UNE, e o equivalente em número de pessoas que transitam sobre a superfície, impactando no desgaste do produto. Por meio da ferramenta gráfica desenvolvida, é possível se ter uma ideia de quantos giros ou quantas pessoas transitando sobre a superfície resultarão em variações específicas de brilho ou rugosidade. Essa metodologia proporciona uma compreensão mais clara do desgaste real dos revestimentos cerâmicos em condições de uso práticas, oferecendo uma base sólida para a avaliação da durabilidade desses materiais.

Por meio das equações e gráficos foi possível avaliar por quanto tempo uma superfície rugosa manterá um bom desempenho frente a sua resistência ao escorregamento. Para uma superfície com Rz inicial de 25 μm , o desgaste resultante do tráfego de pessoas reduzirá o Rz para 20 μm após o trânsito de aproximadamente 935.000 pessoas. Uma superfície com Rz inicial de 30 μm suporta até o tráfego de 1.500.000 pessoas antes de atingir um Rz de 20 μm , ou seja, quanto maior o Rz inicial, maior é a durabilidade do produto em termos de segurança contra escorregamento.

A implantação de controles fabris demonstrou uma significativa correlação entre as medições de rugosidade feitas em laboratório e fábrica, com um coeficiente de correlação próximo a 1, indicando consistência entre os ambientes de teste. Apesar de um desvio padrão mais elevado para superfícies mais rugosas, o estudo sugere que a variabilidade nas medições não está diretamente relacionada à rugosidade da superfície. Para mitigar o desvio padrão elevado e melhorar a precisão das medições, a pesquisa sugere aumentar o número de pontos de medição.

Quanto à segurança de escorregamento um valor Rz de 23 μm garante que uma superfície testada pode atender ao requisito da norma no teste de condição úmida, independentemente do método utilizado para determinar o coeficiente de atrito. Portanto, considerando os dados experimentais obtidos neste trabalho, pode-se recomendar um valor Rz de 25 μm ($x + 2\sigma$, 95% de confiança) para representar o valor seguro para baixo potencial de escorregamento em substituição aos métodos investigados.

A pesquisa introduz equações preditivas inovadoras para avaliar o impacto do tráfego humano em superfícies, estabelecendo um precedente na engenharia de materiais e no desenvolvimento de produtos. Essas equações possibilitam uma análise quantitativa da durabilidade dos produtos, possibilitando a otimização da seleção de materiais e os processos de fabricação, alinhando-se às demandas e expectativas do mercado e do consumidor.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Explorar a aplicação de diferentes modelos matemáticos para analisar o comportamento do brilho, Rz e da área desgastada.
- Investigar técnicas alternativas para a medição de Rz e área desgastada, visando diminuir o desvio padrão e aumentar a precisão das análises.
- Desenvolver um sistema automático de medição integrado à linha de produção para quantificar o Rz de forma precisa e contínua.

REFERÊNCIAS

- ALDRICH, J. H. Correlations Genuine and Spurious in Pearson and Yule. **Statistical Science**, 10, 4: 364-376. 1995
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM, C1895-19, **Standard Test Method for Determination of Mohs Scratch Hardness of Ceramic Tile**. 2020.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE A137. 1- **American National Standard Specifications for Ceramic Tile**. Clemson (2012), p. 55
- ARCHARD, J. F. in 'ASME Wear Control Handbook' (eds M. B. Peterson and W. O. Winer), **American Society of Mechanical Engineers**, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. **Placas cerâmicas Para Revestimento – Ensaio e métodos de ensaio – Determinação de Dureza segundo escala Mohs**. Anexo V. abr 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16919 **Placas cerâmicas - Determinação do coeficiente de atrito**. ISBN 978-65-5659-702-7, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13006. **Placas cerâmicas — Definições, classificação, características e marcação**. ISBN 978-65-5659-703-4. dez/2020
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916. **Placas cerâmicas — Determinação do coeficiente de atrito**. ISBN 978-65-5659-702-7. dez/2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10545-8. **Placas cerâmicas Parte 6: Determinação da resistência à abrasão profunda para placas não esmaltadas.** ISBN 978-85-07- 07247-8. 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10545-7. Parte 7: **Determinação da resistência à abrasão superficial para placas esmaltadas.** ISBN 978-85-07-07248-5. 2017

BARBA, Antonio, BELTRÁN, Vicente, FELIU, Carlos, GARCIA, Javier, GINÉS, Fernando, SÁNCHEZ, Enrique, SANZ, Vicente. **Materias Primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas.** Castellon, ITC, 1997, 291 p..

BARNETT, Ralph Lipsey. “Slip and Fall” Theory—Extreme Order Statistics. **International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 135-158, jan. 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2002.11076521>

BELL, Jennifer L.; COLLINS, James W.; WOLF, Laurie; GRÖNQVIST, Raoul; CHIOU, Sharon; CHANG, Wen-Ruey; SOROCK, Gary S.; COURTNEY, Theodore K.; LOMBARDI, David A.; EVANOFF, Bradley. Evaluation of a comprehensive slip, trip and fall prevention programme for hospital employees. **Ergonomics**, [S.L.], v. 51, n. 12, p. 1906-1925, dez. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130802248092>

BOSCHI, A.O. Panorama atual da indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial.** São Paulo, v.13, n.3, p.22-24, 2008.

BOWMAN, R. Slip resistance testing. Zones of uncertainty. 11th World. **Congress on Ceramic Tile Quality.** Castellón, Espanha, 2010.

BOWMAN, R. Development of Slip Resistance Metrics for Tile Selection. In: **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico,** Castellón, Espanha, 2016.

BOWMAN, R. Slip Resistance Testing - Zones of Uncertainty. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha, 2018.

BOWMAN, R. Optimised Combinations of Ceramic Flooring and Footwaer for Work Environments. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha, 2018.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma introdução. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589p.

CHANG, Wen-Ruey; MATZ, Simon; GRÖNQVIST, Raoul; HIRVONEN, Mikko. Linear regression models of floor surface parameters on friction between Neolite and quarry tiles. **Applied Ergonomics**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 27-33, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2009.03.006>.

CLARKE, J. D.; HALLAS, K.; LEWIS, R.; THORPE, S.; HUNWIN, G.; CARRÉ, M. J.. Understanding the Friction Measured by Standardised Test Methodologies Used to Assess Shoe-Surface Slip Risk. **Journal Of Testing And Evaluation**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 20120334, 11 ago. 2014. ASTM International. <http://dx.doi.org/10.1520/jte20120334>.

CORREA, F. S. de; BERNARDIN, A. M. STUDY OF WEAR RESISTANCE OF PORCELAIN GLAZED TILES BY THE PEI METHOD: EFFECT OF GLAZE TYPE AND CORUNDUM ADDITION. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha, 2014.

DANCEY, Christine; REIDY, John. **Estatística Sem Matemática para Psicologia**. 7. ed.: Penso, 2018. 624 p.

DANTAS, Rubens Alves. Engenharia de Avaliações. Uma Introdução à Metodologia Científica. 3. ed. -: Pini, 2012.

DEMARCH, Aline; WATERKEMPER, Angela; PASINI, Djeisa; RUZZA, Sergio; MONTEDO, Oscar R.K.; ANGIOLETTTO, Elídio. Effects of roughness parameters on slip resistance for different methods used to determine the coefficient of friction for ceramic floor tiles. **Ceramics International**, [S.L.], v. , n. , p. 1-6, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.05.139>.

DEMARCH, Aline. **Análise da Relação entre Rugosidade Superficial e Resistência ao Escorregamento de Revestimentos Cerâmicos Submetidos ao Desgaste**. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2019.

DEMARCH, Aline; VIEIRA, Angela Waterkemper; PASINI, Djeisa; ROSSO, Laura; MENEGON, Juliana; RUZZA, Sergio; ANGIOLETTTO, Elidio; MONTEDO, Oscar Rubem Klegues; BERNARDIN, Adriano Michael. EVALUACIÓN DEL DESGASTE ABRASIVO DE LA SUPERFICIE DE BALDOSAS CERÁMICAS SEGÚN LAS NORMAS ISO 10545 Y UNE 138001. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha, p. 1-13, mar. 2024.

DEMARCH, ALINE; DEMARCH, A. ; Ribeiro, A. ; WATERKEMPER, A. ; RUZZA, S. ; BERNARDIN, A. M. ; ANGIOLETTTO, E. . Analysis Of The Slip Resistance Of Ceramic Surfaces By Different Methods. In: **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha, 2020.

DEMARCH, Aline; ROSSO, Laura Savi; MENEGON, Juliana de Oliveira; VIEIRA, Angela Waterkemper; ANGIOLETTTO, Elidio. Estudo da influência do solado do calçado na resistência ao escorregamento de diferentes superfícies cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 1-11, 2023. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2024.037>.

DERLER, S., KAUSCH, F., HUBER, R., Analysis of factors influencing the friction coefficients of shoe sole materials. *Saf. Sci.* 46, 822–832. 2008.

DERLER, S.; KAUSCH, F.; HUBER, R. Systematic patterns and random fluctuations in time series of coefficients of friction measured on floor surfaces. *Safety Science*, v. 43, p. 751-770, 2005.

DIETER, George E. **Mechanical Metallurgy**. New York: McGraw-Hill, 1988.

ENGELS, M. New Practice-Oriented Testing Possibilities Regarding the Durability of Slip Resistance and Cleanability. cfi/Ber. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha. 2016.

FRANCESCHINI, Joel. **Avaliação do fenômeno stick-slip em materiais de fricção com utilização de um tribômetro**. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GRÖNQVIST, R., Mechanisms of Friction and Assessment of Slip Resistance of New and Used Footwear Soles on Contaminated Metals, **Ergonomics**, Vol. 38, 1995, pp. 224–241.

HAIG, Brian D. “Spurious correlation”, in N. J. Salkind (ed.), **Encyclopedia of Measurement and Statistics**, Thousand Oaks, Sage. 2007

HAUPTMANN, J.; WIEDEMANN, G. **Laser microstructuring of polished floor tiles**. En: XIPENG XU (Ed.) Machining of natural stone materials. Uetikon-Zuerich: TTP, 2003, pp, 262-267.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, Modelo de Potencial de Deslizamento, Fonte: www.hse.gov.uk, Acesso em 06 de julho de 2021

HARRIS, G.W.; SHAW, S.R. **Slip resistance of floors: Users’ opinions, Tortus instrument readings, and roughness measurement**. *Journal of Occupational Accidents*, v. 9, p. 287-298, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO/TC 189
ISO/AWI 10545-22: **Ceramic tiles — Part 22: Determination of resistance to wear with a multi-attribute method.** 2021

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 10545:
Ceramic tiles — Part 7: Determination of resistance to surface abrasion for glazed tiles. 2021

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - **Ceramic tiles — Definitions, classification, characteristics and marki.** 2018

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 4288:1996.
Geometrical Product Specifications (GPS) -- **Surface texture: Profile method -- Rules and procedures for the assessment of surface texture.** 1996

KARACA, Zeki; GÜRCAN, Sevgi; GÖKÇE, Mehmedi Vehbi; SIVRIKAYA, Osman.
Assessment of the results of the pendulum friction tester (EN 14231) for natural building stones used as floor-coverings. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 47, p. 1182-1187, out. 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.011>

KIM, I., SMITH, R., and NAGATA, H., “Microscopic Observations of the Progressive Wear on Shoe Surfaces that Affect the Slip Resistance Characteristics,” **Int. J. Ind. Ergonom.**, Vol. 28, 2001, pp. 17–29.

KIM, In-Ju. Investigation of Floor Surface Finishes for Optimal Slip Resistance Performance. **Safety And Health At Work**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 17-24, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2017.05.005>.

KIM, In-Ju. Wear Observation of Shoe Surfaces: application for slip and fall safety assessments. **Tribology Transactions**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 407-417, 4 fev. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10402004.1014.980593>

KIM, In-Ju. A study on wear development of floor surfaces: impact on Pedestrian walkway slip-resistance performance. **Tribology International**, [S.L.], v. 95, p. 316-323, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.039>.

KIM, In-ju. Development of a new analyzing model for quantifying pedestrian slip resistance characteristics: Part I—Basic concepts and theories. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.395-401, maio 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2003.10.010>.

KIM, Jungsoo. Comparison of Three Different Slip Meters under Various Contaminated Conditions. **Safety And Health At Work**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.22-30, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.5491/shaw.2012.3.1.22>.

KOZAK, Marcin. What is strong correlation?. **Teaching Statistics**, 31: 85-86. 2009

LAYNE, L. A., LANDEN, D. D. A Descriptive Analysis of Nonfatal Occupational Injuries to Older Workers, Using a National Probability Sample of Hospital Emergency Departments, **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, 39, pp 855–865. 1997.

LECLERCQ, S; SAULNIER, H. Floor slip resistance changes in food sector workshops: prevailing role played by “fouling”. **Safety Science**, [S.L.], v. 40, n. 7-8, p. 659-673, out. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535\(01\)00065-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535(01)00065-0).

LOT, Ana Virgínia. **Resistência ao Escorregamento de Revestimentos Cerâmicos: Avaliação por Diferentes Métodos, Correlações com a Topografia e o Desgaste da Superfície Durante o Uso**. 2021. 232 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

LOT, Ana Virgínia; MENEGAZZO, Ana Paula Margarido; BRASILEIRO, Camila Tavares; MELCHIADES, Fábio Gomes; BOSCHI, Anselmo Ortega. Effect of pedestrian traffic on the slip resistance and visual appearance of ceramic floor

tiles. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 1-15, 21 abr. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14425>.

MANNING, Derek P; JONES, Carla; ROWLAND, Frederick James; ROFF, Martin. The Surface Roughness of a Rubber Soling Material Determines the Coefficient of Friction on Water-Lubricated Surfaces. **Journal Of Safety Research**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 275-283, dez. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-4375\(98\)00053-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-4375(98)00053-x).

MITCHELL, M. R.; LINK, R. E.; SARIISIK, A.; AKDAS, H.; SARIISIK, G.; COSKUN, G.. Slip Safety Analysis of Differently Surface Processed Dimension Marbles. **Journal Of Testing And Evaluation**, [S.L.], v. 39, n. 5, p. 103702, 2011. ASTM International. <http://dx.doi.org/10.1520/jte103702>.

MUÑOZ, A., Silva, G., Domínguez, R., Gilabert, J., López, M., & Segura, M.C. Analysis of the Life Span of Flooring Slip Resistance Performance. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerâmico**, Castellón, Espanha, 2019.

MUÑOZ, Adoración Lázaro. **Problemática del resbalamiento en Pavimentos cerâmicos**. 2019. 396 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Doctorado En Tecnologías Industriales y Materiales, Escuela de Doctorado de La Universitat Jaume I, Castellón, 2019.

NOVAES, Antonio Pedro de Oliveira; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2011. 118 p.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; ALARCON, Orestes Estevam. Desgaste por Abrasão de Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [s. l.], v. 16, p. 17-24, 2011.

PEDESTRIAN SLIP RISK ASSESSMENT - the end of the road for roughness? **Pedestrian Slip Risk Assessment**, [s. l.], p. 1-9, maio 2009.

PRACIDELLI, Sebastião. Estudo dos Esmaltes Cerâmicos e Engobes. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 13, p. 8-20, jan. 2008.

RABINOWICZ, E. Friction and Wear of Materials. 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.

RICOTTI, R.; DELUCCHI, M.; CERISOLA, G.. A comparison of results from portable and laboratory floor slipperiness testers. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.353-357, mar. 2009. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2008.07.004>.

RINCÓN, R.J.; BENET, M.P.; CABEZÓN, C.; PEDRA, J.M.; CARDA, J.B.; MARTÍNEZ, J. **Desarrollo de esmaltes vitrocerámicos con Propiedades antideslizantes para baldosas de gres porcelánico. Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerámico**. Castellón, Espanha, 2008.

SILVA, G. MUÑOZ, A. FELÍU, C. MONZÓ, M. BARBERÁ, J. SOLER, C. **Propuesta de um método normalizado para la determinación de la durabilidad frente al tránsito peatonal de pavimentos. Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerámico**. Castellón, Espanha, 2006.

SILVA; MUÑOZ; BELTRÁN; DOMÍNGUEZ; LÓPEZ; BAÑULS. Comparative Study of Methods for Simulating Wear in Actual Service Conditions. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerámico**, Castellón, 2020.

SMITHELLS. Friction and wear. **Smithells Metals Reference Book**, [S.L.], p. 25-1, 2004. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-075067509-3/50028-2>

STANDARDS AUSTRALIA. AS/NZS 3661.1:1993: **Slip resistance of pedestrian surfaces Requirements**.1993

STRAUTINS, C. J. Sustainable Slip Resistance: An Opportunity for Innovation. **Congreso Mundial de La Calidad Del Azulejo Y Del Pavimento Cerámico**, Castellón, Espanha, 2008.

STREY, Nathan Fantecelle. **Tribologia de Cerâmicos Dissimilares no Deslizamento em Água: Estudos de Caso: Si₃N₄-SiC, Si₃N₄-Al₂O₃, Si₃N₄-ZTA, Al₂O₃-SiC, ZrO₂-SiC, ZrO₂-Al₂O₃ e ZrO₂-ZTA. 2015. 202 f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

STROBEL, Caitlin Moore; MENEZES, Pradeep L.; LOVELL, Michael R.; BESCHORNER, Kurt E.. Analysis of the Contribution of Adhesion and Hysteresis to Shoe–Floor Lubricated Friction in the Boundary Lubrication Regime. **Tribology Letters**, [S.L.], v. 47, n. 3, p. 341-347, 5 jun. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11249-012-9989-5>.

SURFTEST SJ-210 - Surface Roughness Meter - Model SJ-210: **Instruction Manual Mitutoyo Corporation**, Kanagawa Japan (2009)

SURFTEST SJ-410 - Surface Roughness Meter - Model SJ-410: **Instruction Manual Mitutoyo Corporation**, Kanagawa Japan (2020)

TARI, Giuliano. **SlipSTD PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION (SlipSTD PAS)** Classification of hard floor coverings according to their contribution to reduce the risk of pedestrian slipping. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20602.54728>. 2021

UNE – NORMA ESPAÑOLA - 138001 **Resistencia al desgaste por tránsito peatonal de pavimentos cerámicos. Recomendaciones para la selección en función del uso previsto.**.. out 2008.

UK SLIP RESISTANCE GROUP - The UK Slip Resistance Group Guidelines, vol. 5, Published by the UK Slip **Resistance Group Issue** (October 2016), p. 36
www.ukslipresistance.org.uk

ZACCARON, Isaura Morona; ROSSO, Laura Savi; MENEGON, Juliana de Oliveira; DEMARCH, Aline; VIEIRA, Angela Waterkemper; MILAK, Pâmela. Avaliação do desgaste de porcelanatos esmaltados polidos. **Cerâmica Industrial**, [S.L.], v. 29, p. 1-7, 2024. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2024.039>.

ANEXOS

ANEXO A – ARTIGOS PUBLICADOS

Figura 77 – Artigo Publicado do periódico Ceramics International



Fonte: Autora (2024).

Figura 78 – Artigo Publicado do periódico Qualicer

CASTELLÓN (ESPAÑA)

QUALICER'24

EVALUATION OF THE ABRASIVE WEAR OF CERAMIC TILE SURFACES BY ISO 10545 AND UNE 138001 STANDARDS

Aline Demarch^{1,2}, Angela Waterkemper Vieira^{1,2}, Djeisa Pasini^{1,2}, Laura Rosso^{1,2}, Juliana Menegon^{1,2}, Sergio Ruzza², Elídio Angioletto¹, Oscar Rubem Klegues Montedo¹, Adriano Michael Bernardin¹

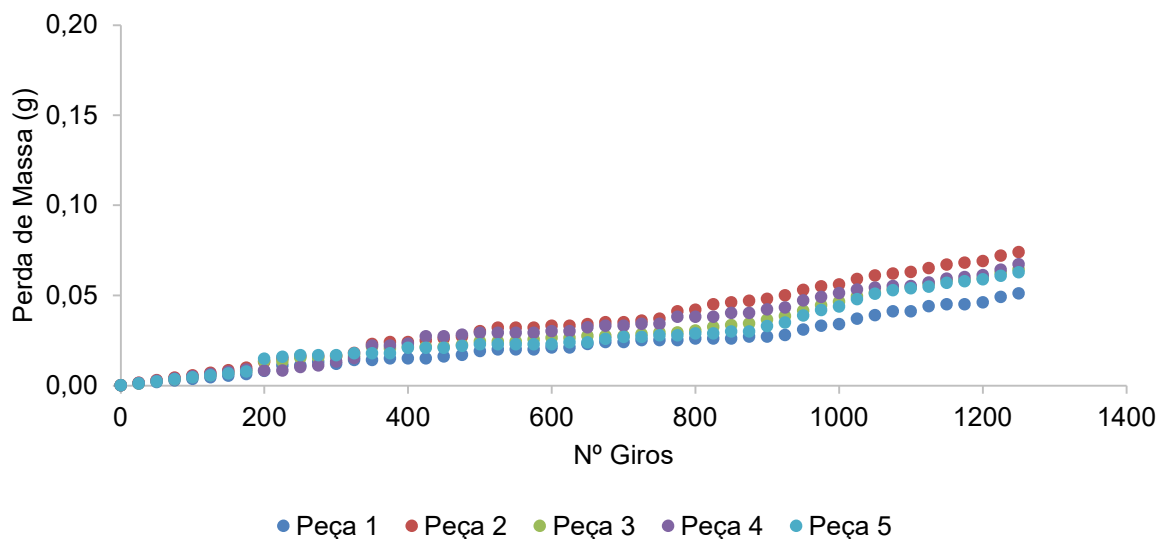
¹ Graduation Program of Materials Science and Engineering, PPGCEM, University of the Extreme South of Santa Catarina, UNESC, Criciúma, 88806-000, Santa Catarina, Brazil

² Eliane Ceramic Tiles, Cocal do Sul, 88845-000, Santa Catarina, Brazil

Fonte: Autora (2024).

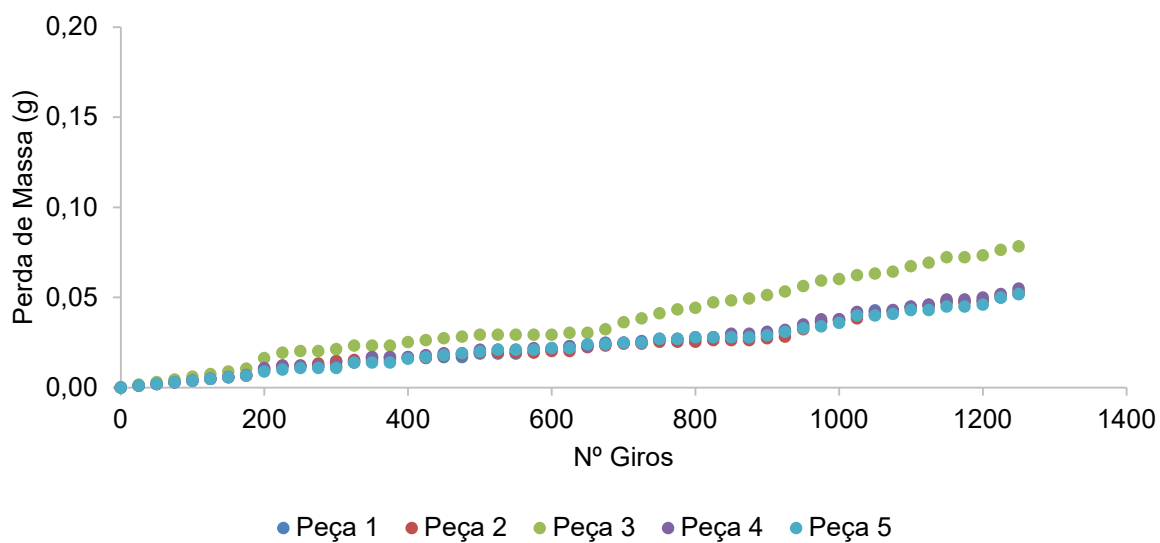
ANEXO B – GRÁFICOS DE PERDA DE MASSA INDIVIDUAIS – NORMA ISO

Figura 79 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – método ISO



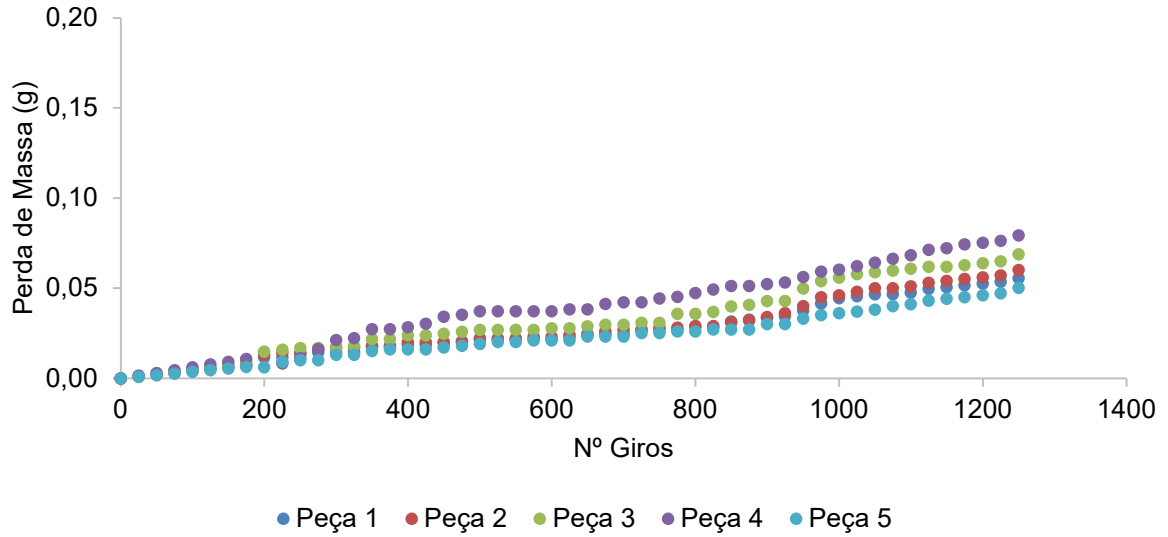
Fonte: Autora (2024).

Figura 80 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural - método ISO



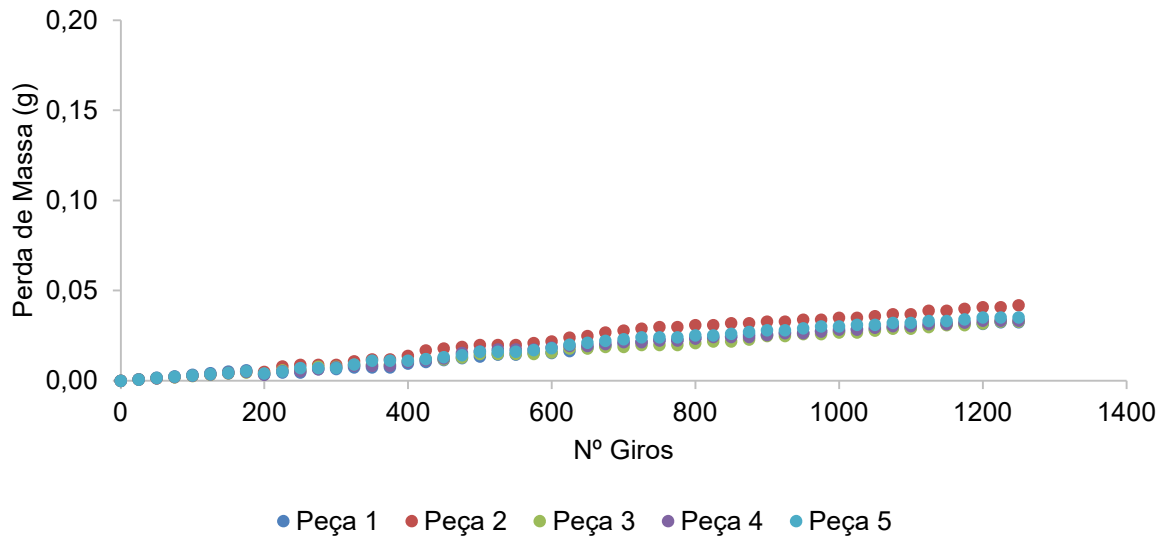
Fonte: Autora (2024).

Figura 81 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO



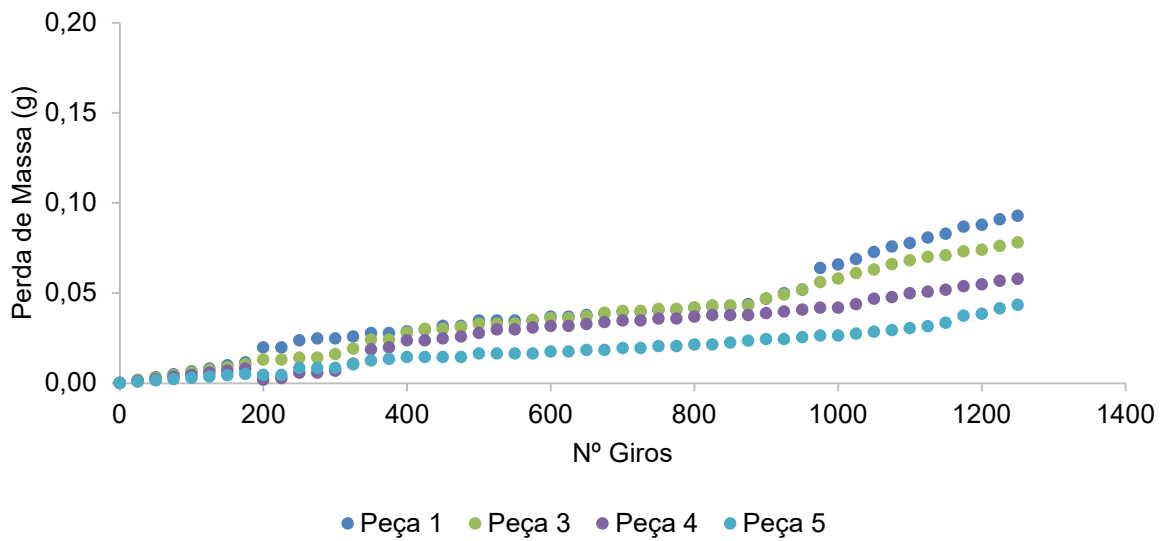
Fonte: Autora (2024).

Figura 82 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO



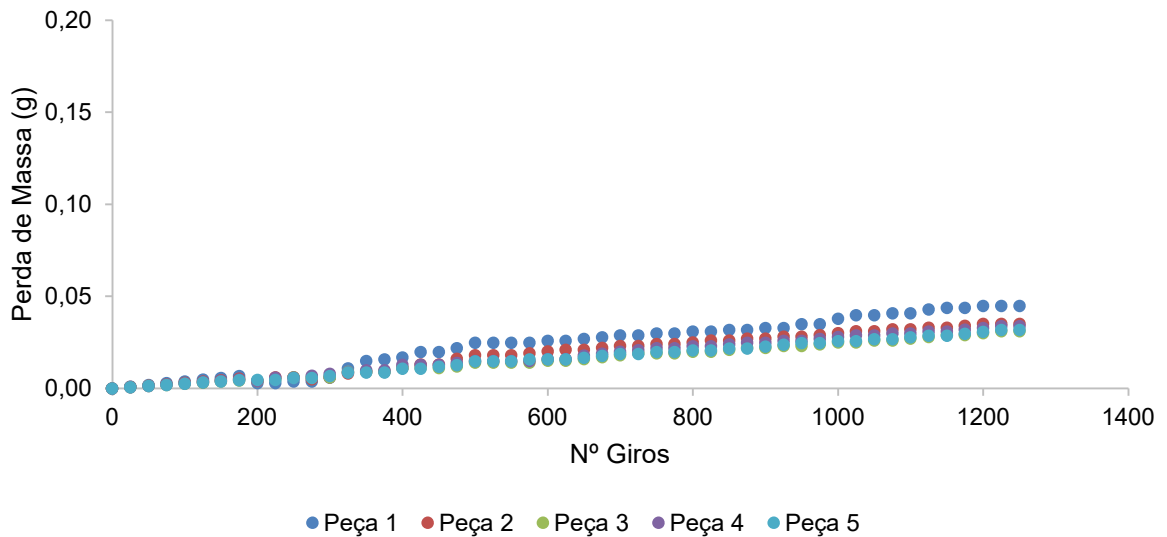
Fonte: Autora (2024).

Figura 83 – Perda de Massa Placa cerâmica brilhante - método ISO



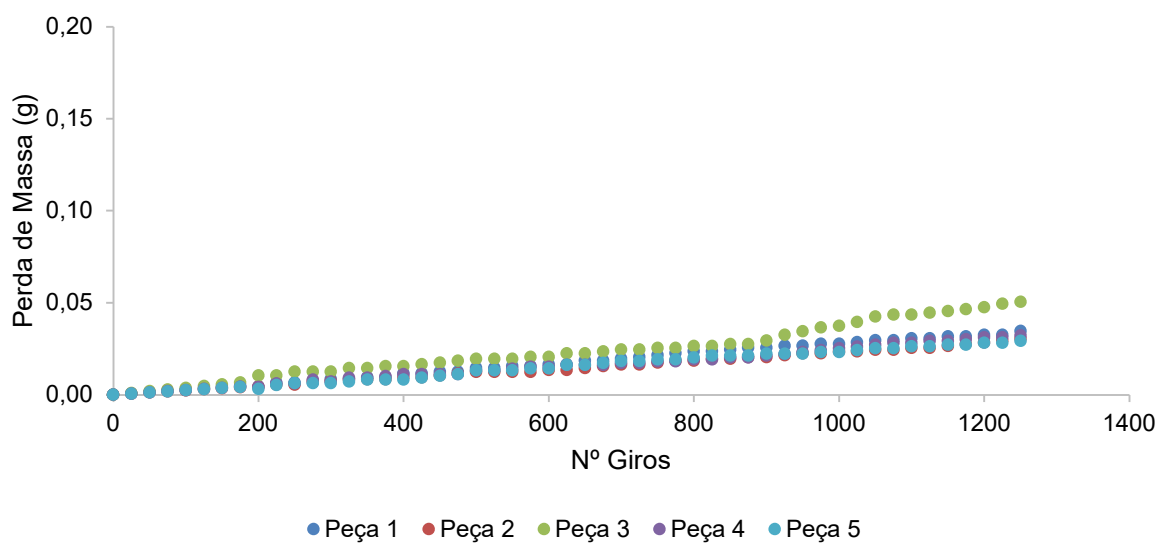
Fonte: Autora (2024).

Figura 84 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado Acetinado - método ISO



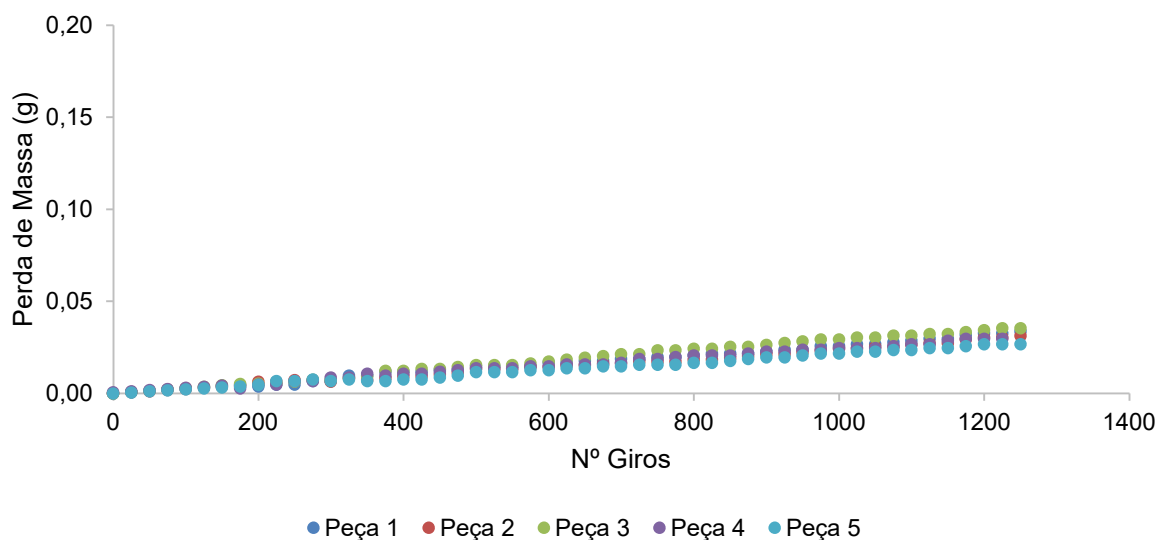
Fonte: Autora (2024).

Figura 85 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura - método ISO



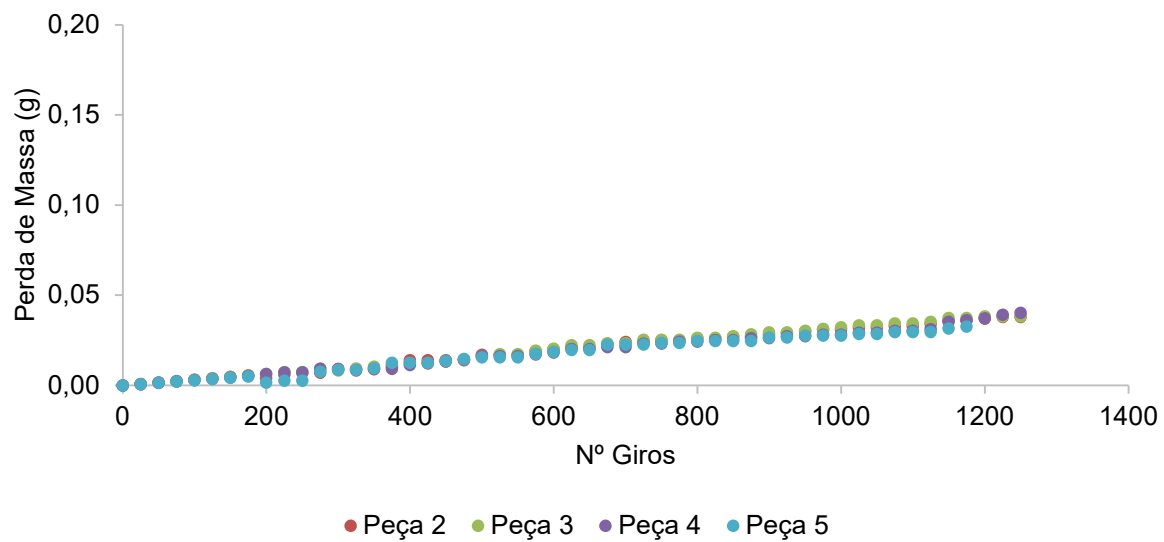
Fonte: Autora (2024).

Figura 86 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado granilhado - método ISO



Fonte: Autora (2024).

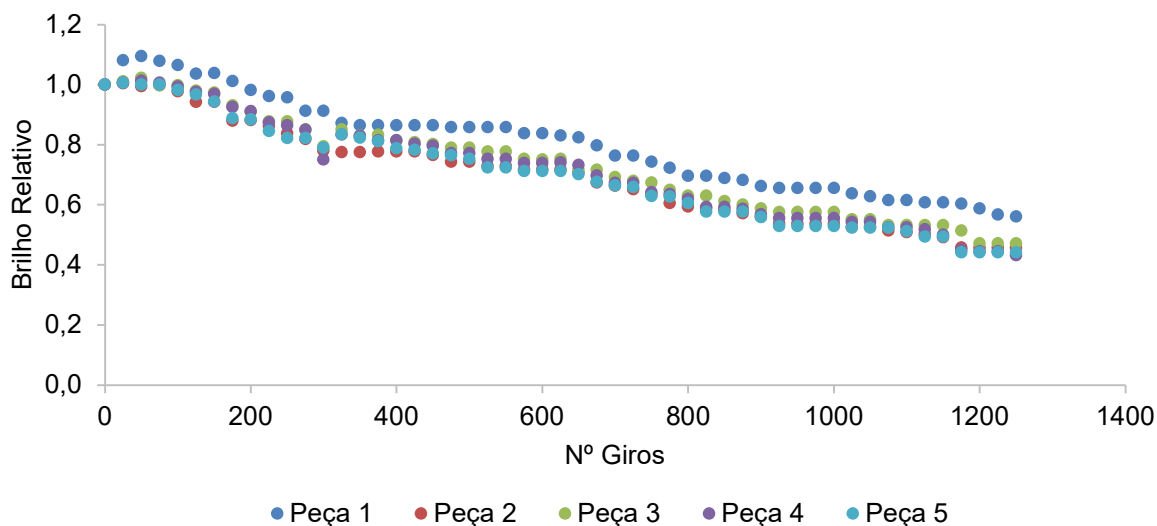
Figura 87 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método ISO



Fonte: Autora (2024).

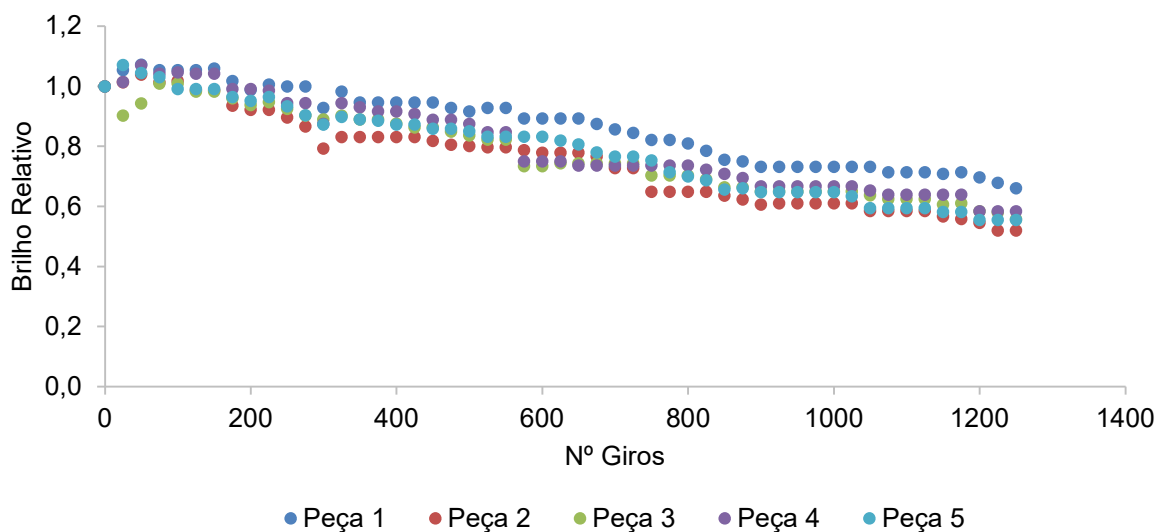
ANEXO C – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE BRILHO INDIVIDUAIS – NORMA ISO

Figura 88 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método ISO



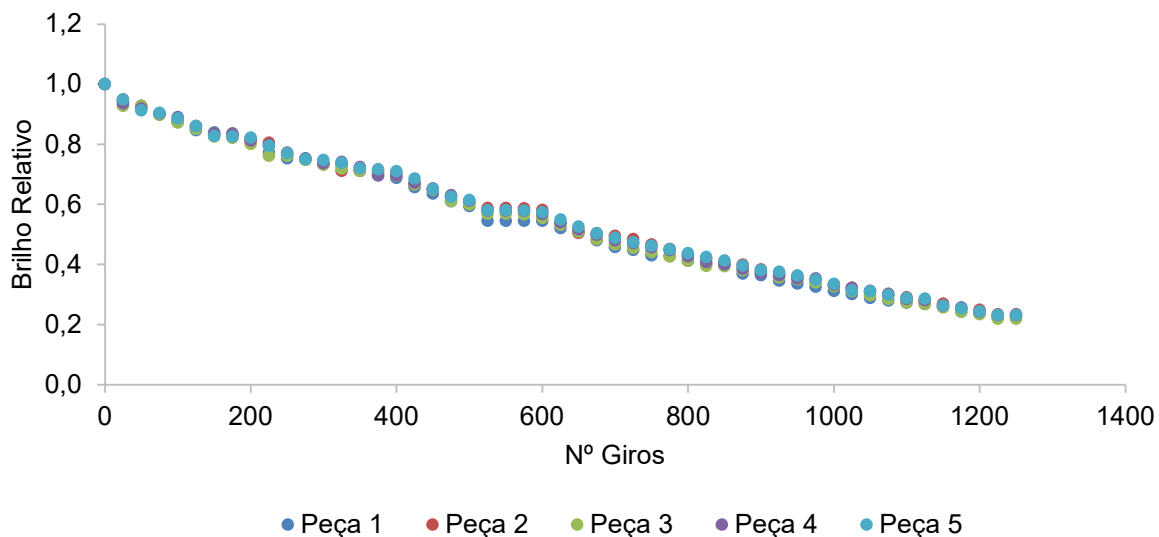
Fonte: Autora (2024).

Figura 89 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural - método ISO



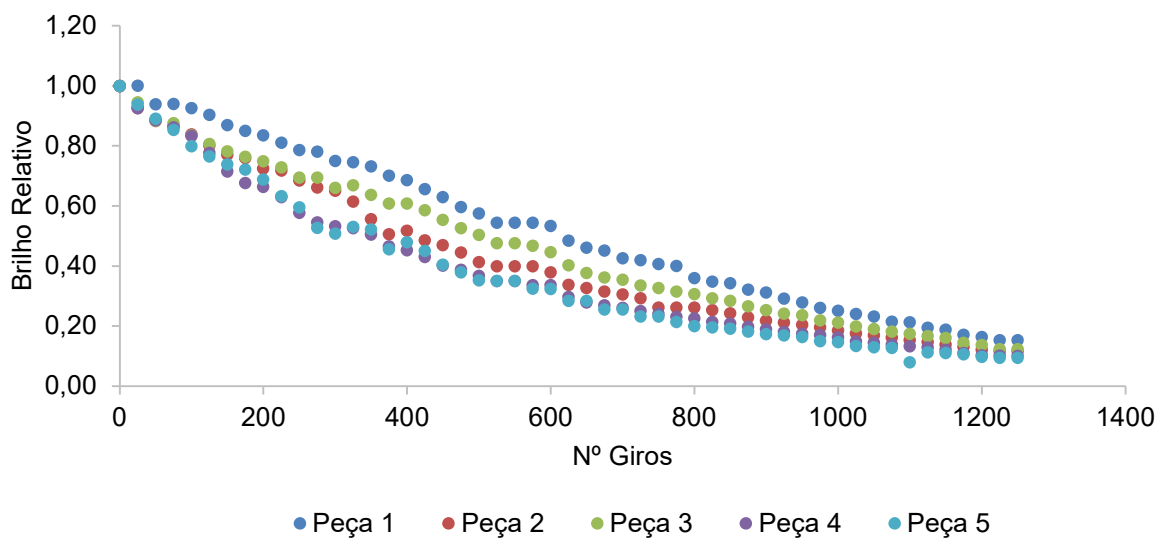
Fonte: Autora (2024).

Figura 90 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO



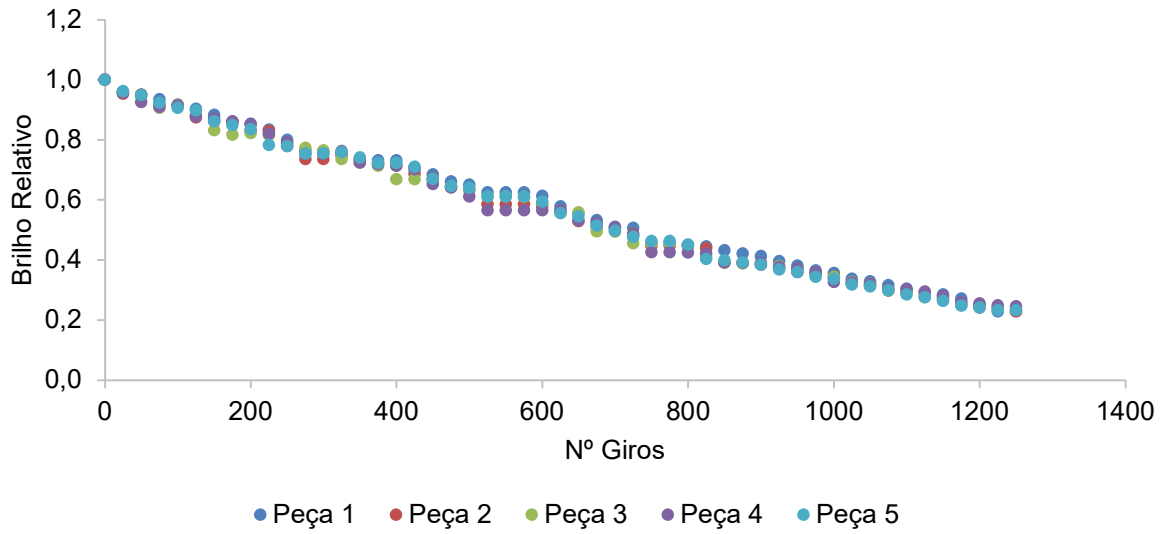
Fonte: Autora (2024).

Figura 91 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Polido - método ISO



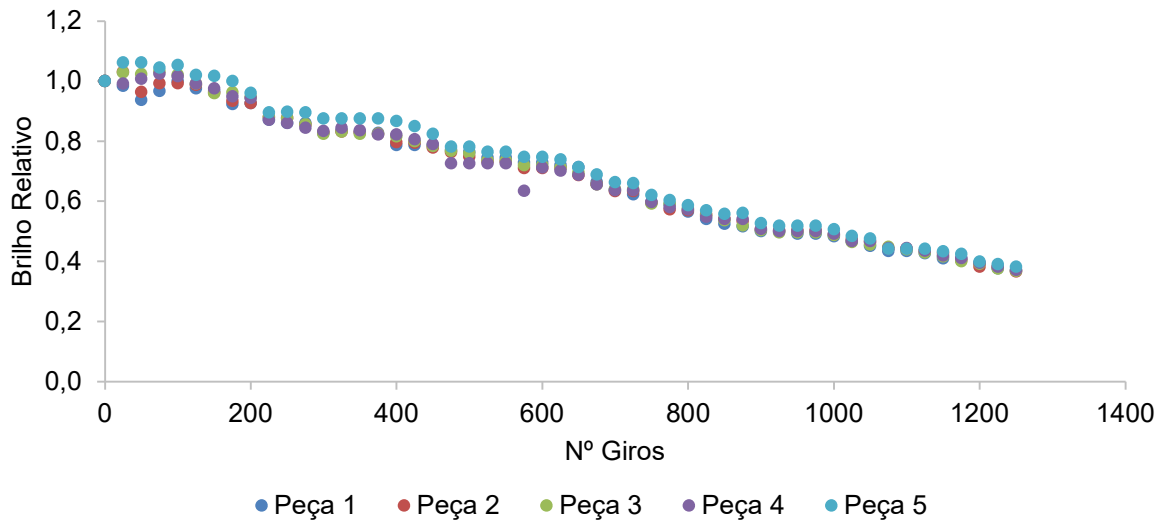
Fonte: Autora (2024).

Figura 92 – Perda de Brilho Placa cerâmica brilhante - método ISO



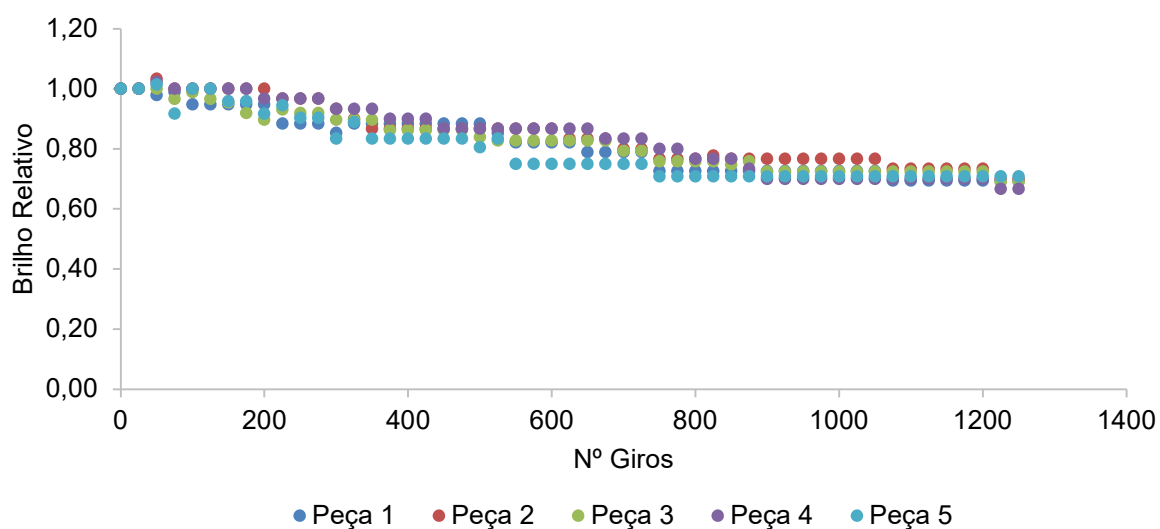
Fonte: Autora (2024).

Figura 93 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Acetinado - método ISO



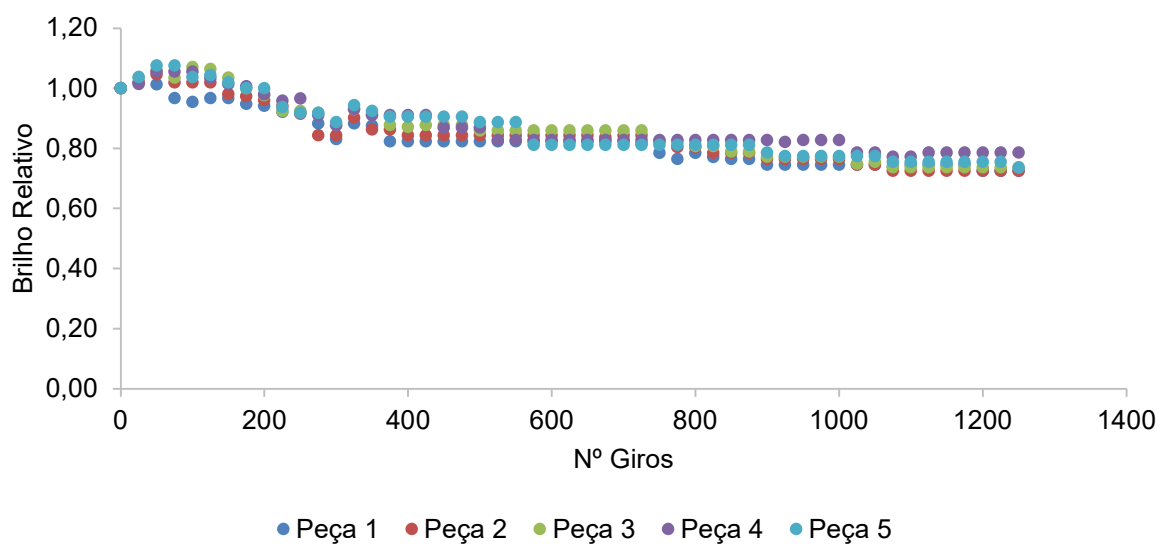
Fonte: Autora (2024).

Figura 94 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura - método ISO



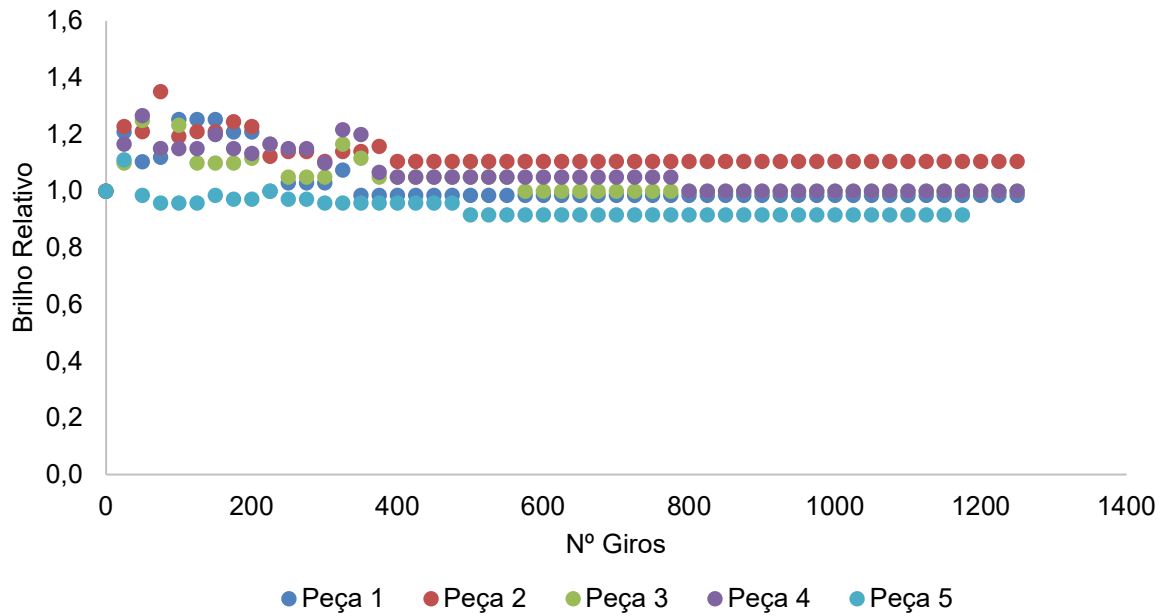
Fonte: Autora (2024).

Figura 95 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado granilhado - método ISO



Fonte: Autora (2024).

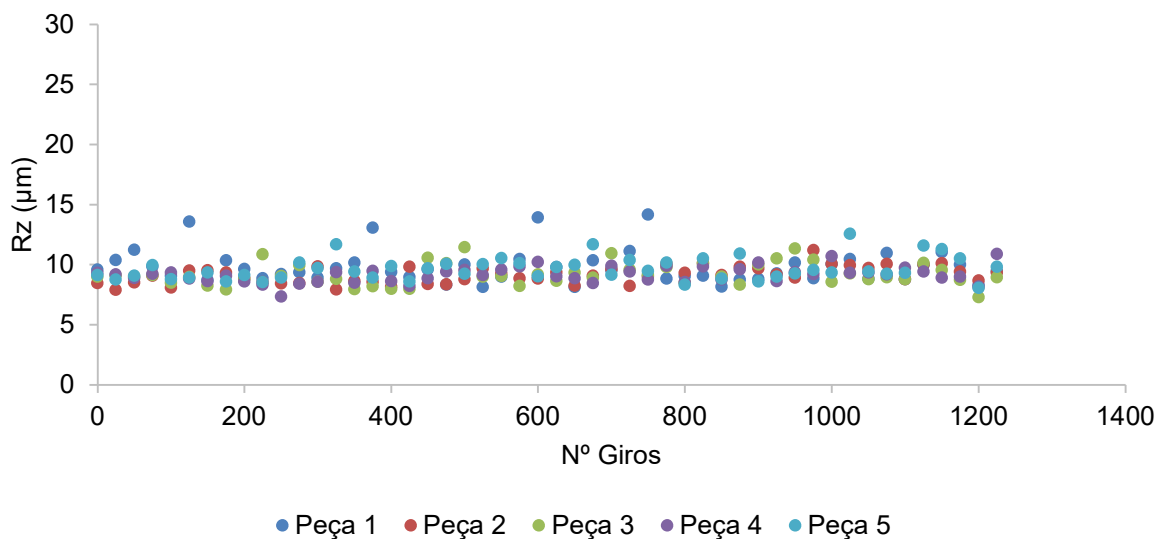
Figura 96 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método ISO



Fonte: Autora (2024).

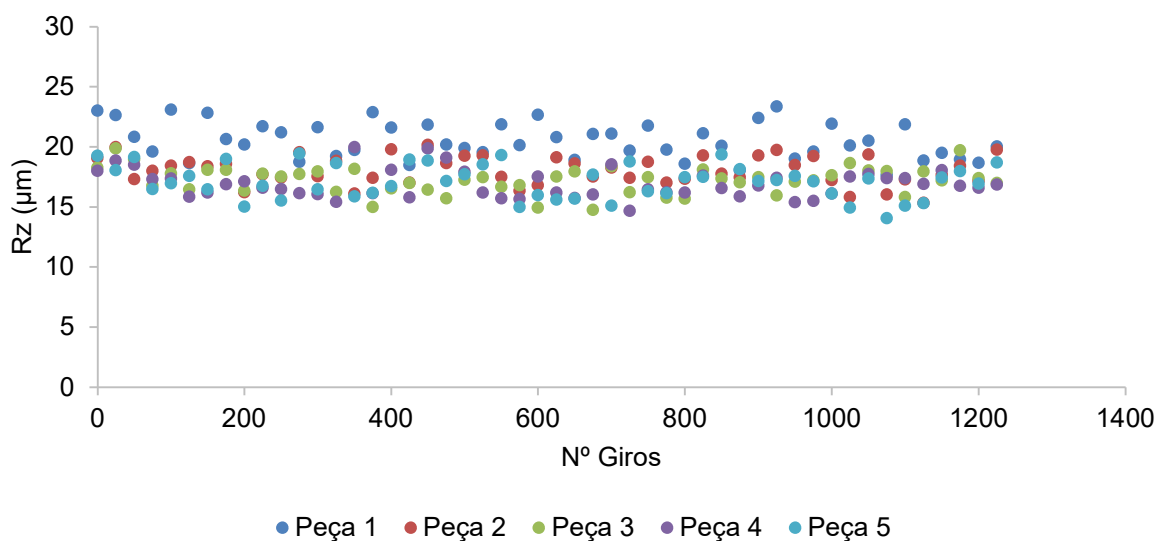
ANEXO D – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE RZ INDIVIDUAIS – NORMA ISO

Figura 97 – Comportamento Rz – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método ISO



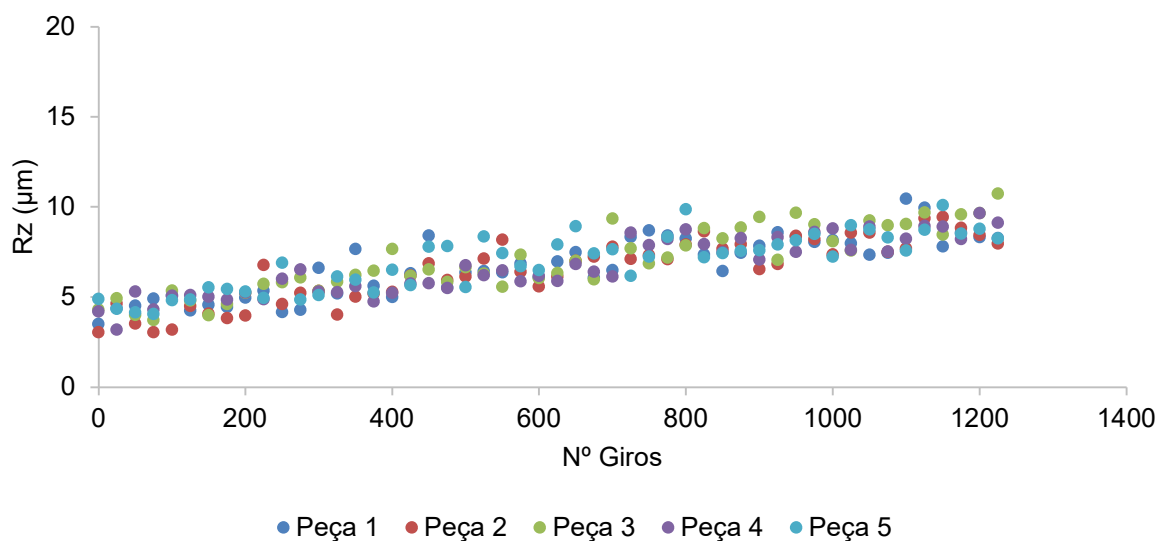
Fonte: Autora (2024).

Figura 98 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Natural - método ISO



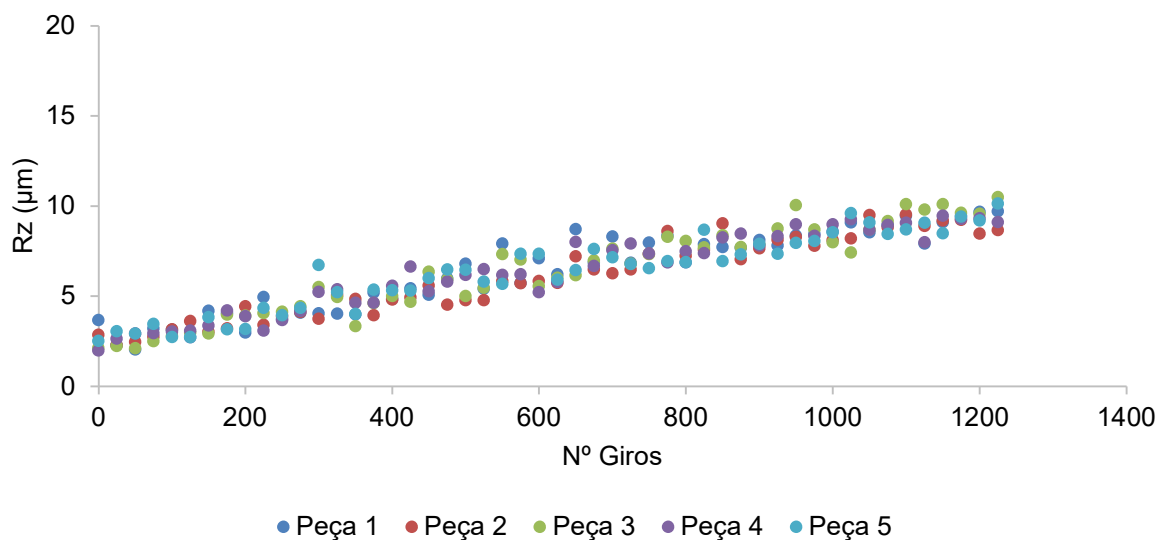
Fonte: Autora (2024).

Figura 99 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Polido - método ISO



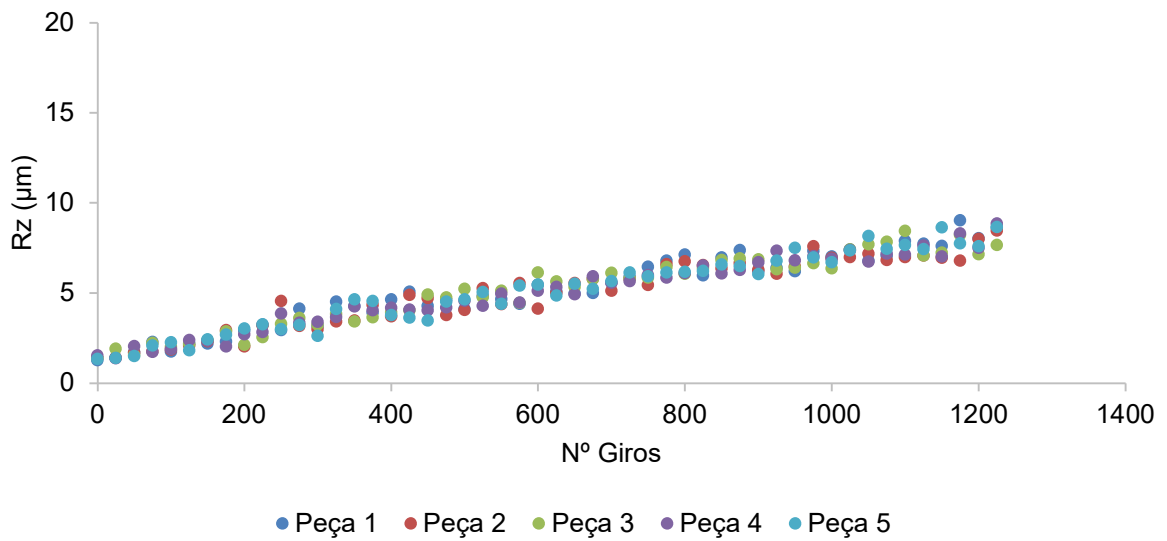
Fonte: Autora (2024).

Figura 100 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Polido - método ISO



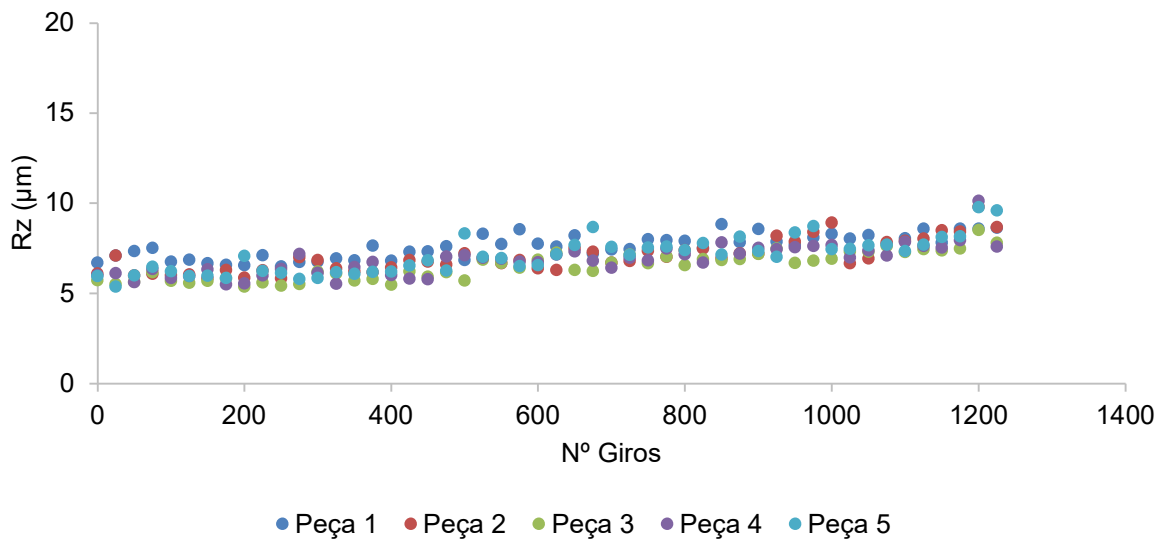
Fonte: Autora (2024).

Figura 101 – Comportamento RZ – Placa cerâmica brilhante - método ISO



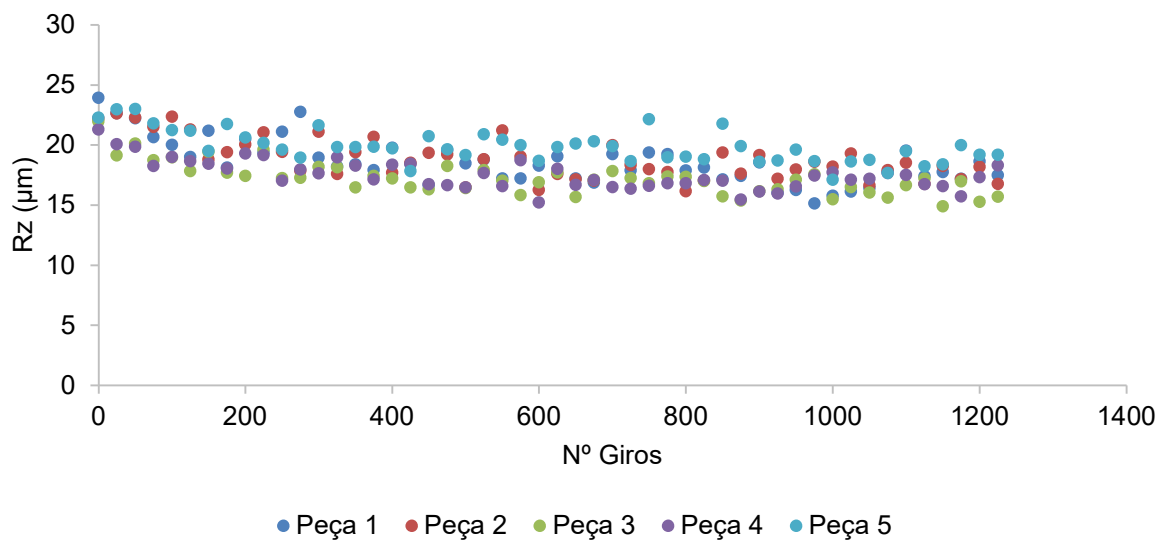
Fonte: Autora (2024).

Figura 102 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Acetinado - método ISO



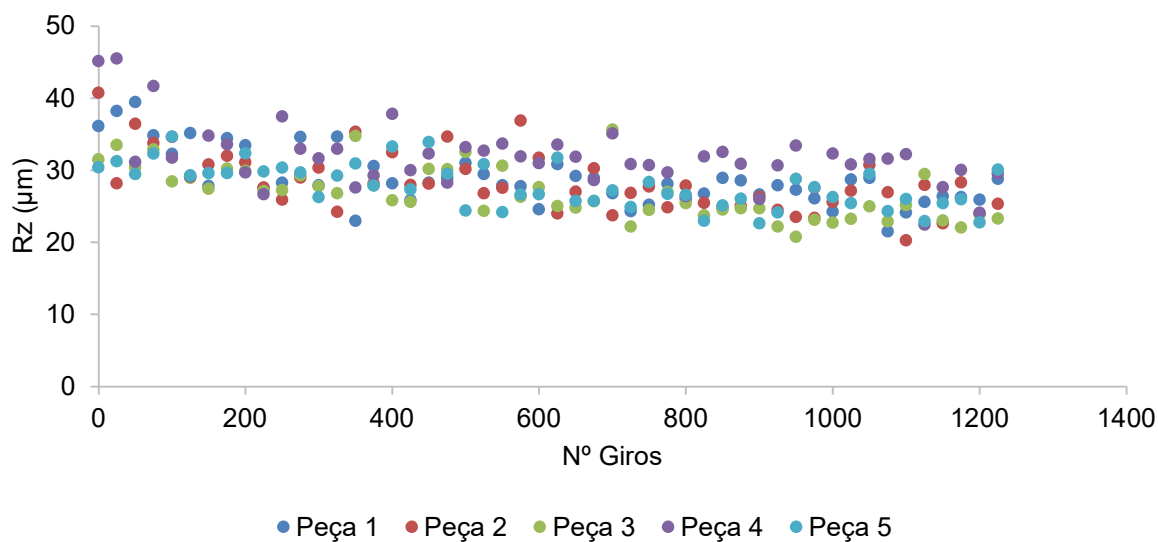
Fonte: Autora (2024).

Figura 103 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura - método ISO



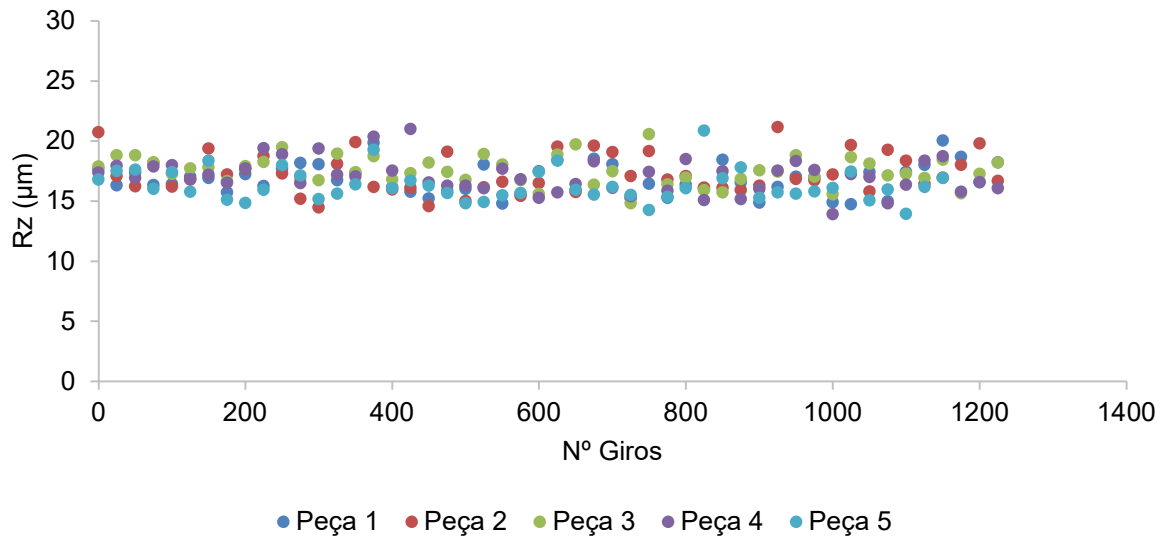
Fonte: Autora (2024).

Figura 104 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado granilhado - método ISO



Fonte: Autora (2024).

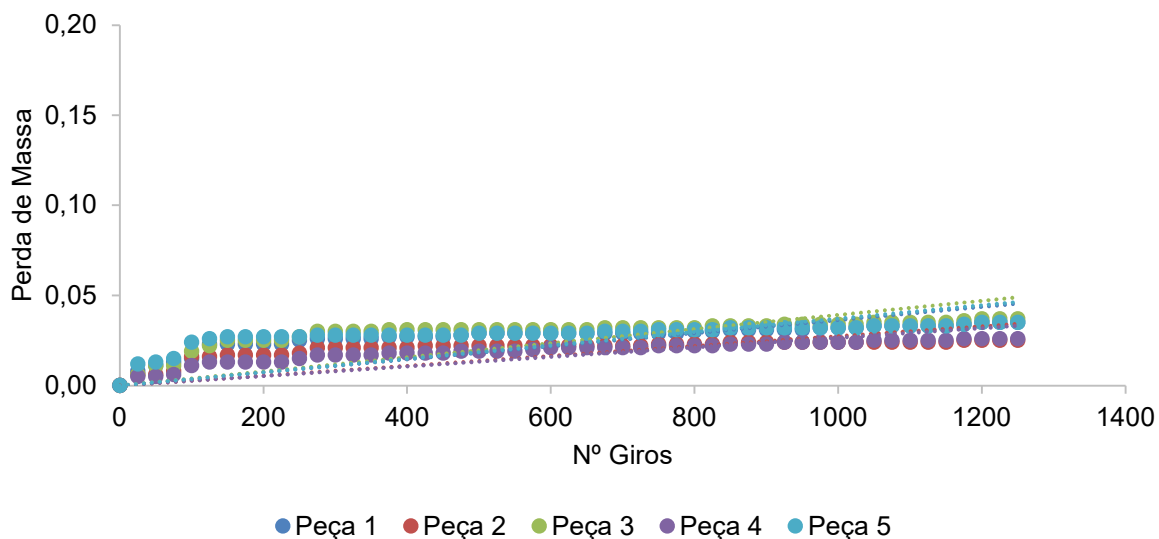
Figura 105 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método ISO



Fonte: Autora (2024).

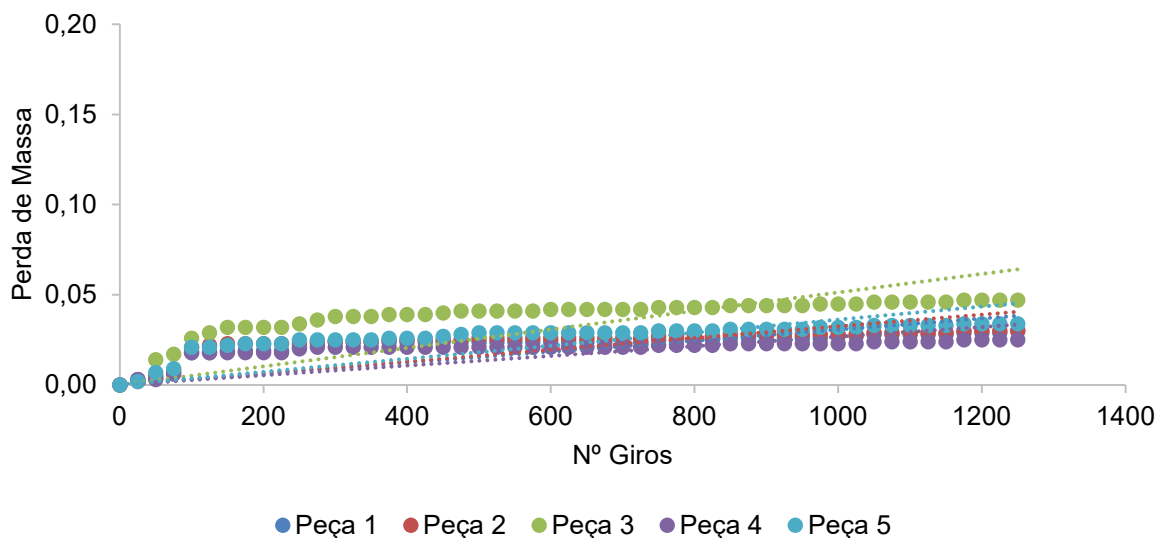
ANEXO E – GRÁFICOS DE PERDA DE MASSA INDIVIDUAIS – NORMA UNE

Figura 106 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – método UNE



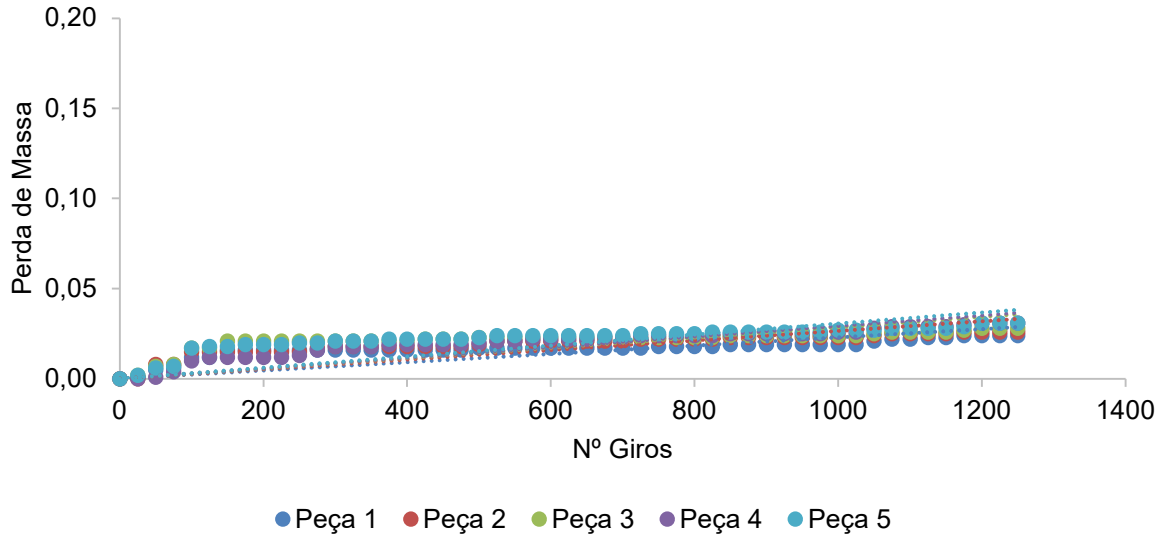
Fonte: Autora (2024).

Figura 107 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Natural - método UNE



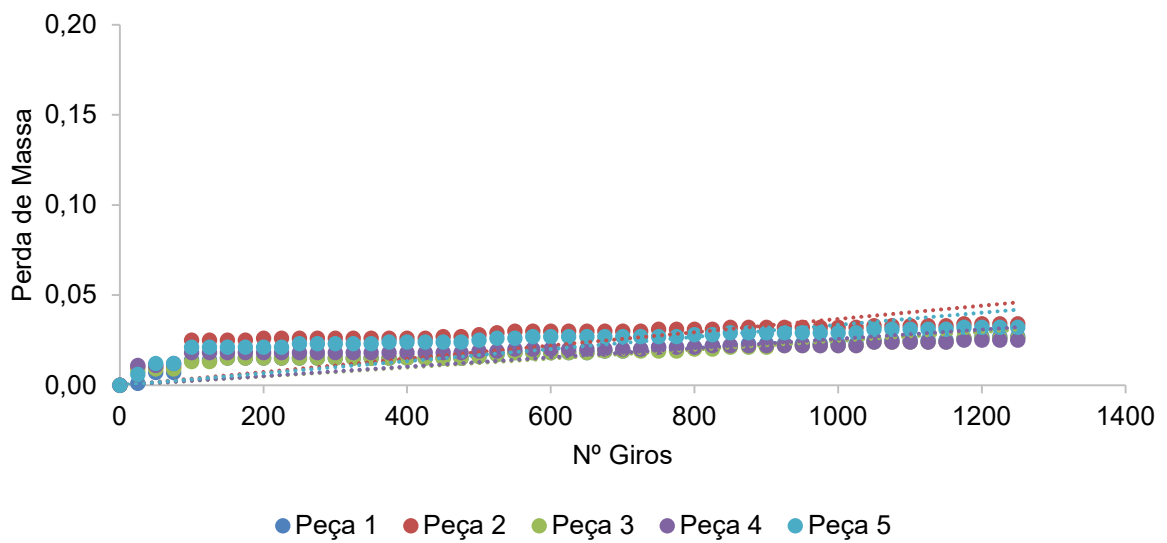
Fonte: Autora (2024).

Figura 108 – Perda de Massa Porcelanato Não Esmaltado Polido - método UNE



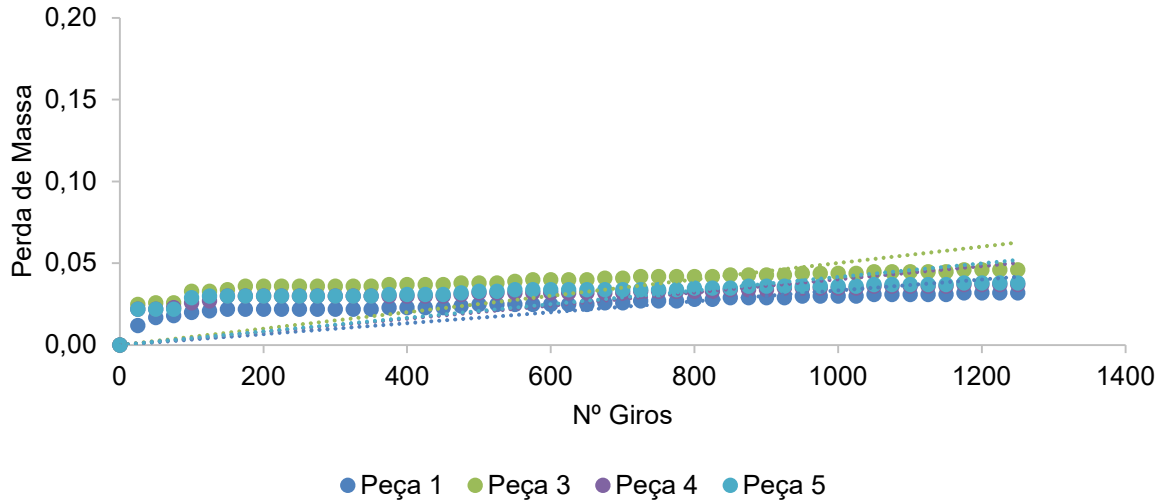
Fonte: Autora (2024).

Figura 109 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado Polido - método UNE



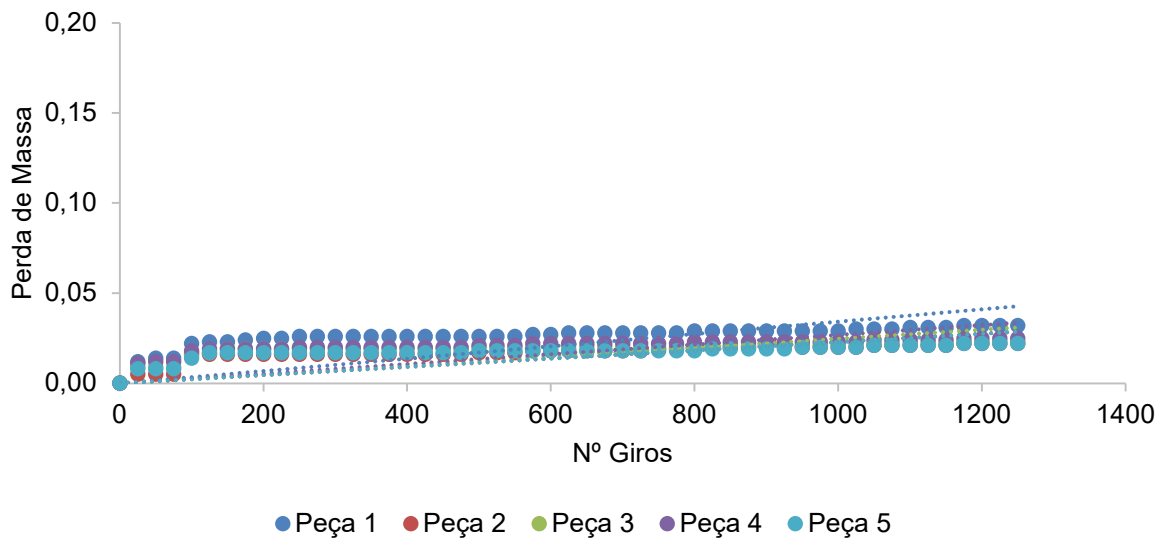
Fonte: Autora (2024).

Figura 110 – Perda de Massa Placa cerâmica brilhante - método UNE



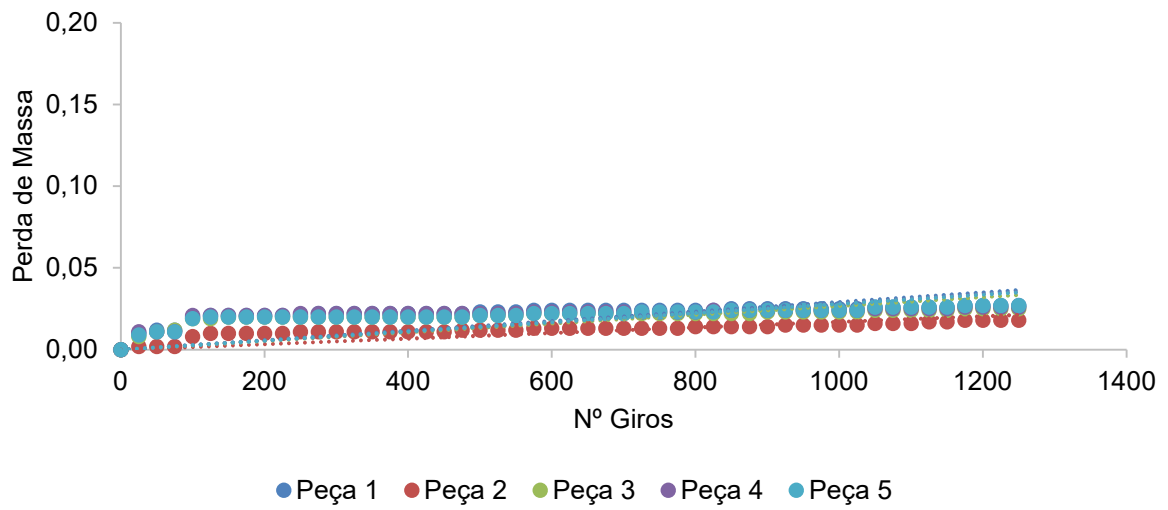
Fonte: Autora (2024).

Figura 111 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado Acetinado - método UNE



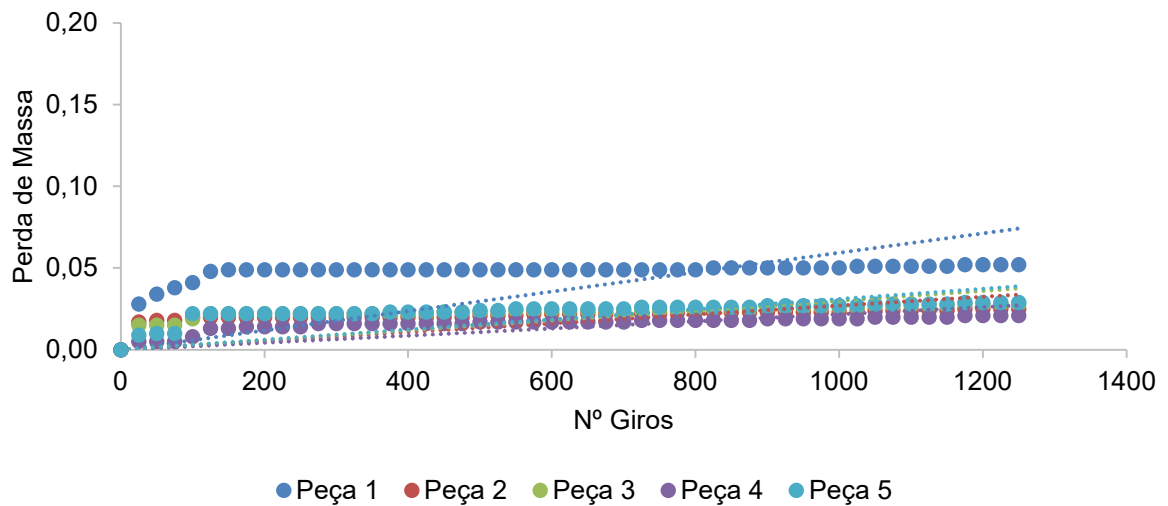
Fonte: Autora (2024).

Figura 112 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura - método UNE



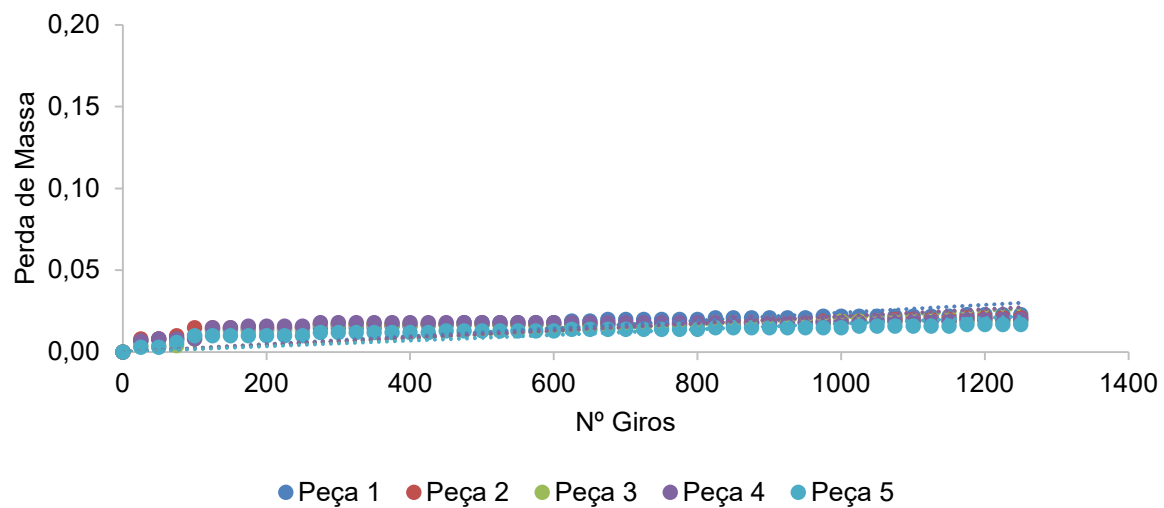
Fonte: Autora (2024).

Figura 113 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado granilhado - método UNE



Fonte: Autora (2024).

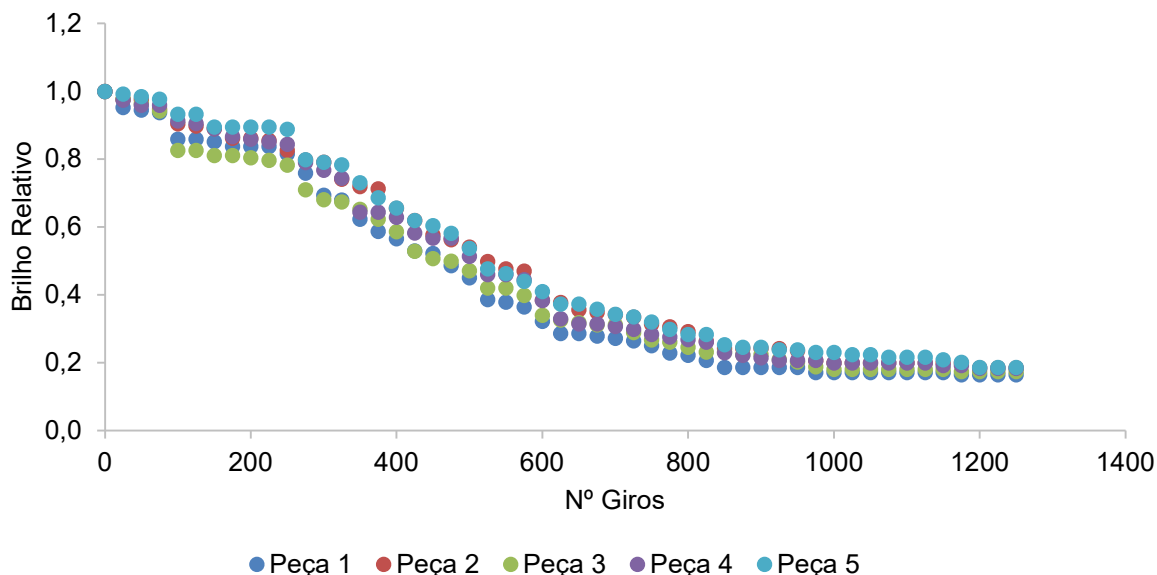
Figura 114 – Perda de Massa Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método UNE



Fonte: Autora (2024).

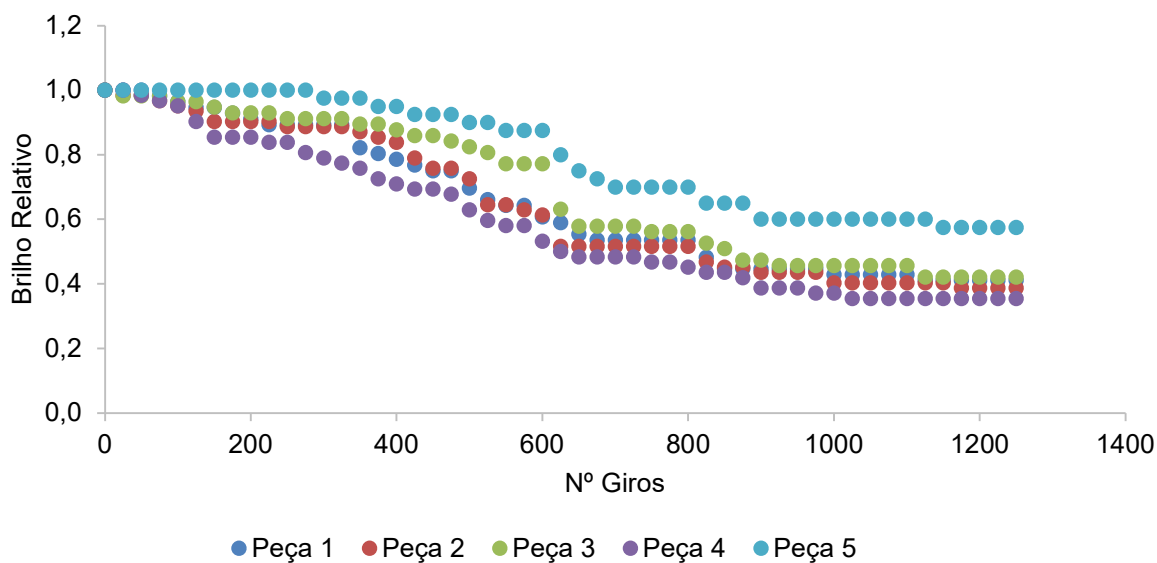
ANEXO F – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE BRILHO INDIVIDUAIS – NORMA UNE

Figura 115 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método UNE



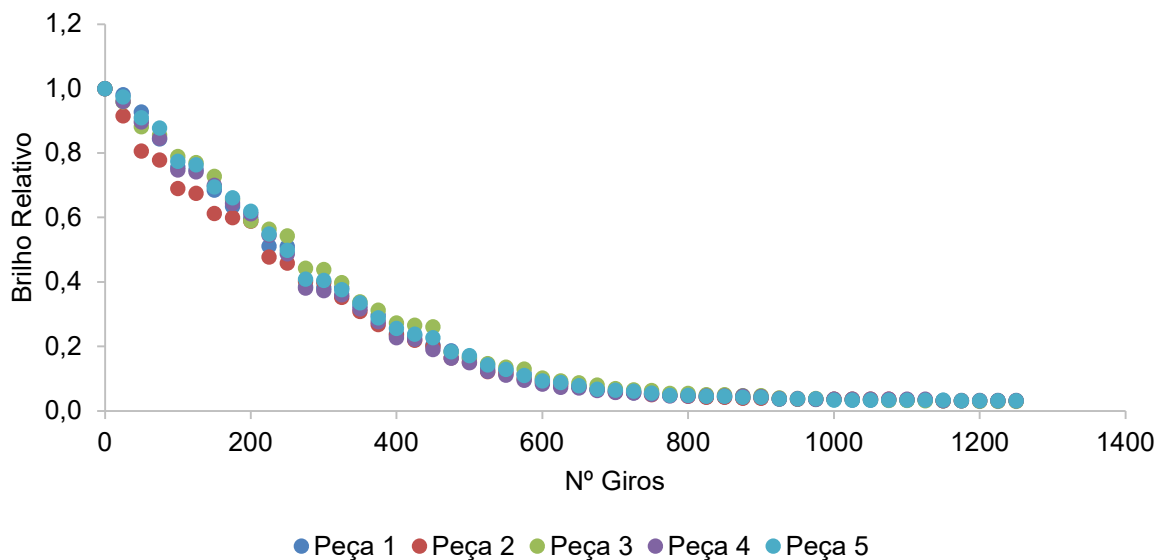
Fonte: Autora (2024).

Figura 116 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural - método UNE



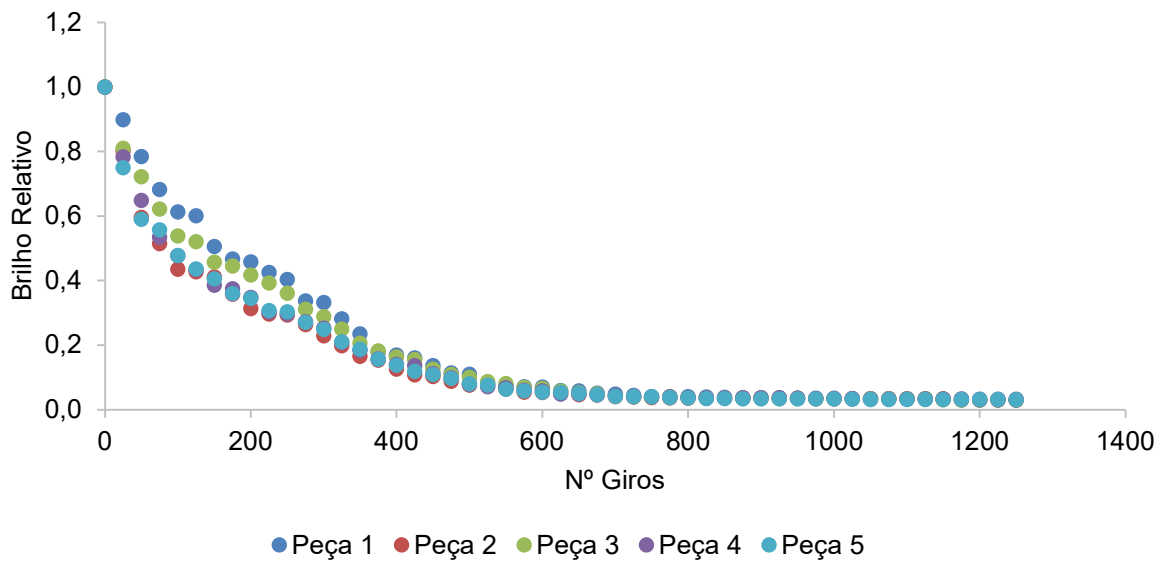
Fonte: Autora (2024).

Figura 117 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Polido - método UNE



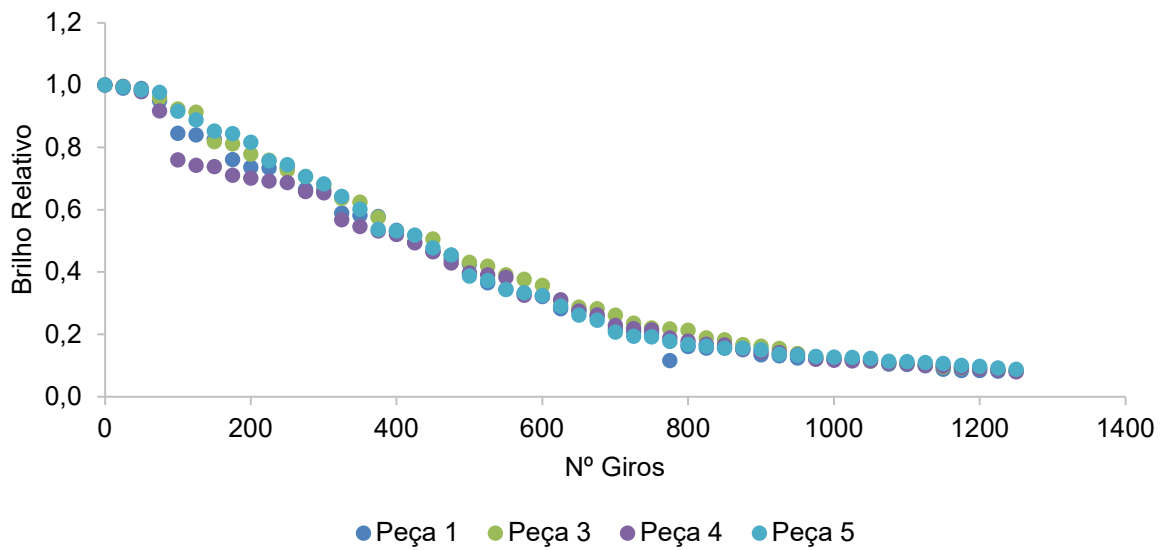
Fonte: Autora (2024).

Figura 118 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Polido - método UNE



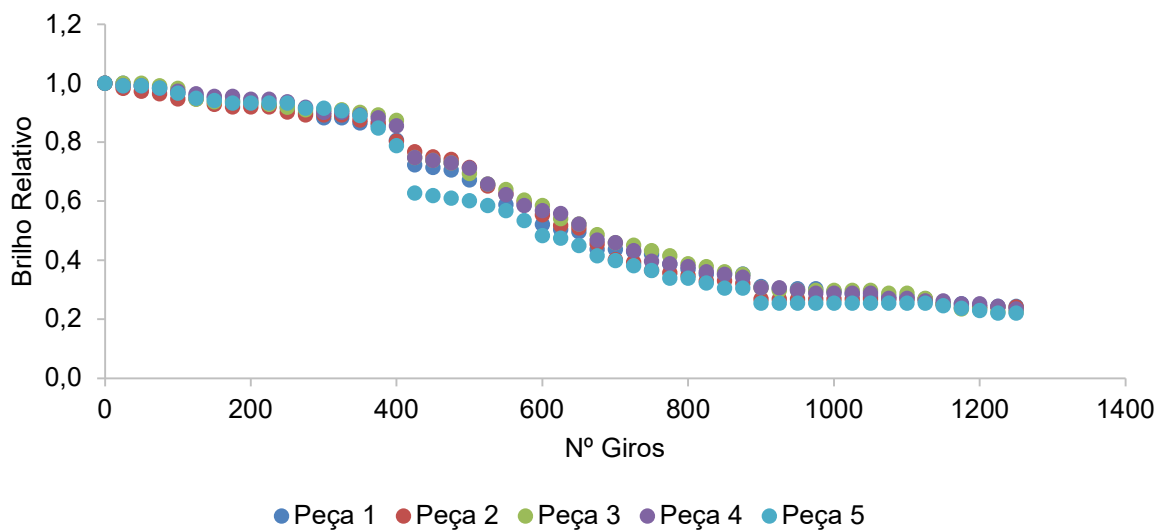
Fonte: Autora (2024).

Figura 119 – Perda de Brilho Placa cerâmica brilhante - método UNE



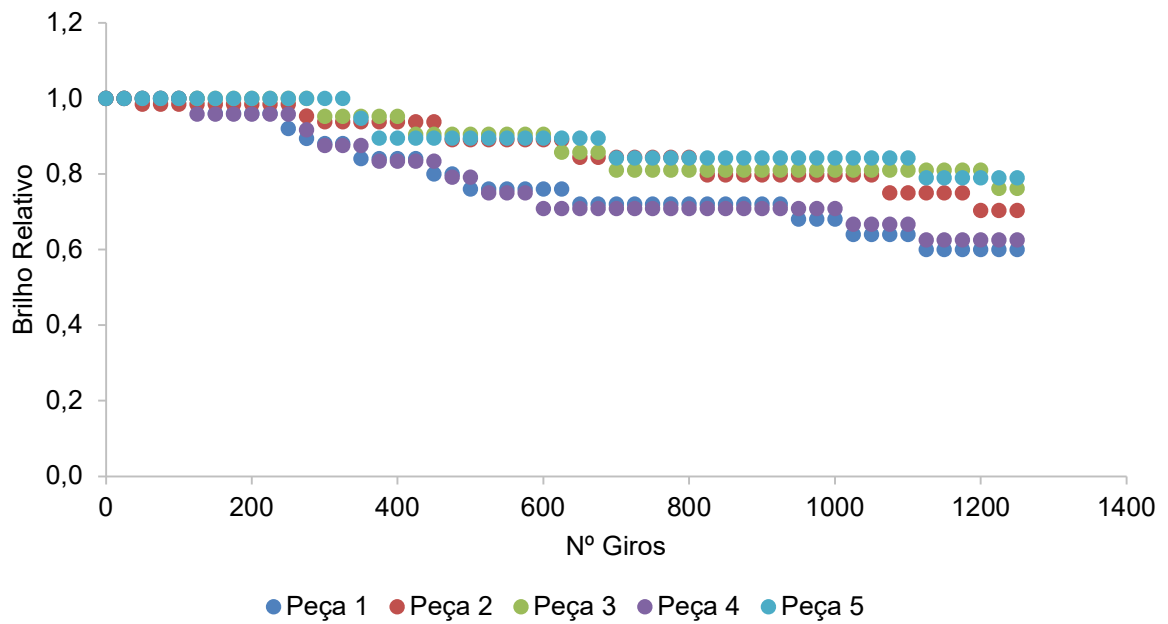
Fonte: Autora (2024).

Figura 120 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Acetinado - método UNE



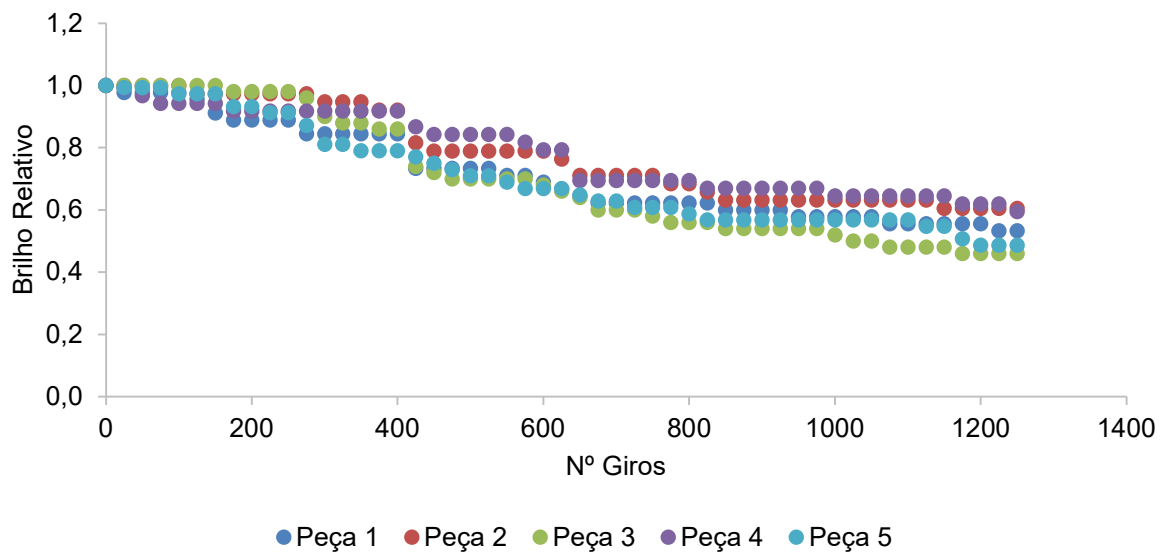
Fonte: Autora (2024).

Figura 121 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura - método UNE



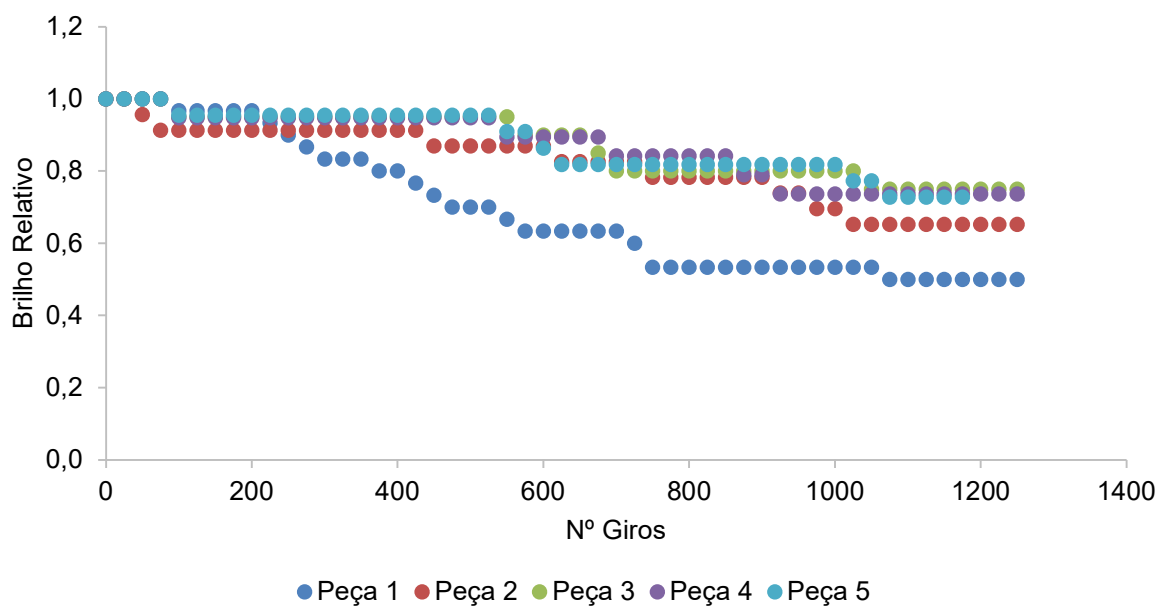
Fonte: Autora (2024).

Figura 122 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado granilhado - método UNE



Fonte: Autora (2024).

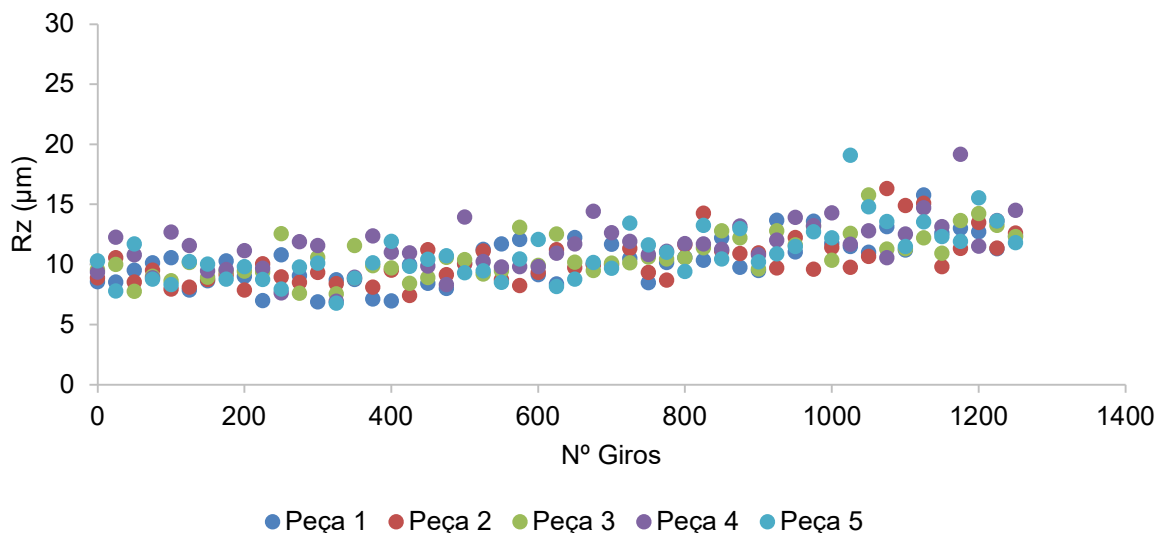
Figura 123 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método UNE



Fonte: Autora (2024).

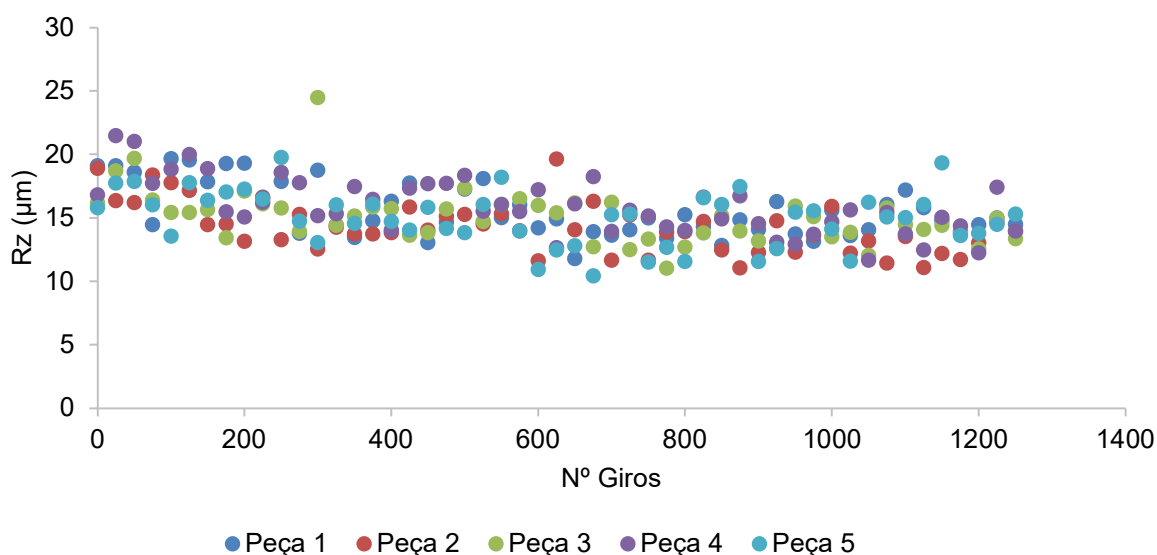
ANEXO G – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE RZ INDIVIDUAIS – NORMA UNE

Figura 124 – Comportamento Rz – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado - método UNE



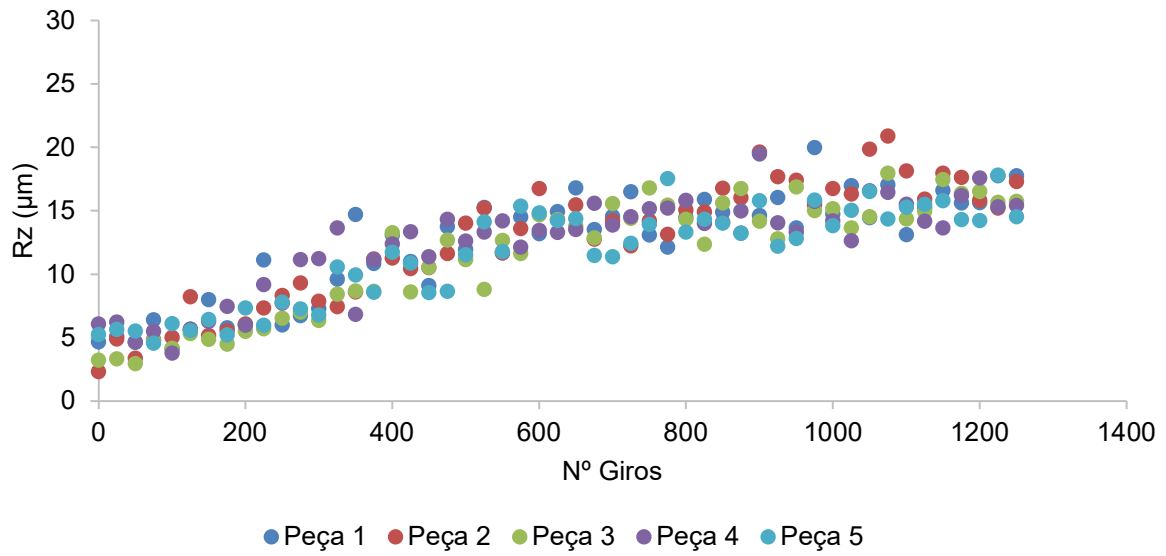
Fonte: Autora (2024).

Figura 125 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Natural - método UNE



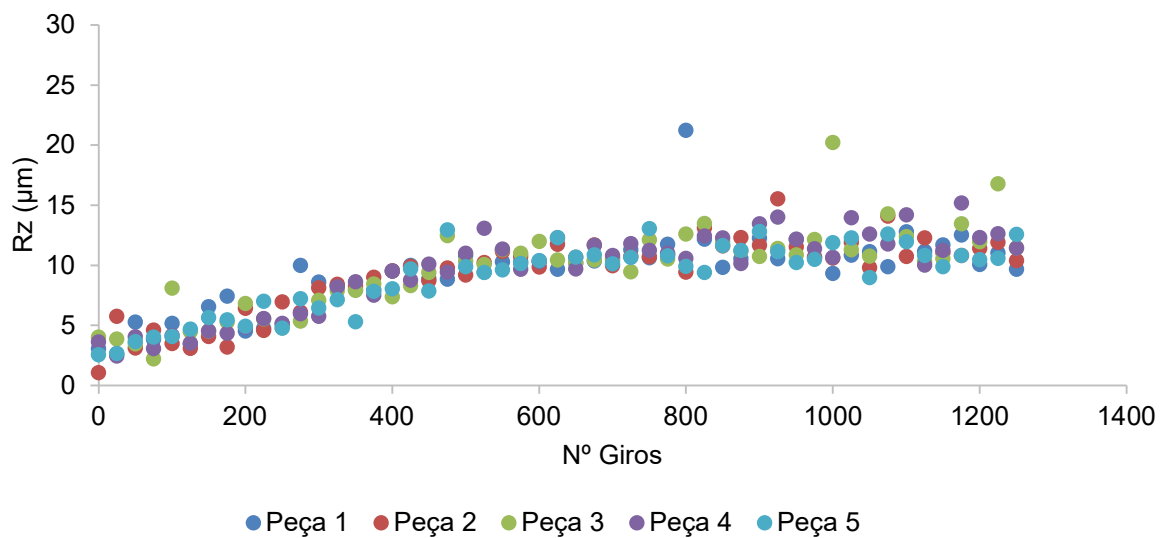
Fonte: Autora (2024).

Figura 126 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Polido - método UNE



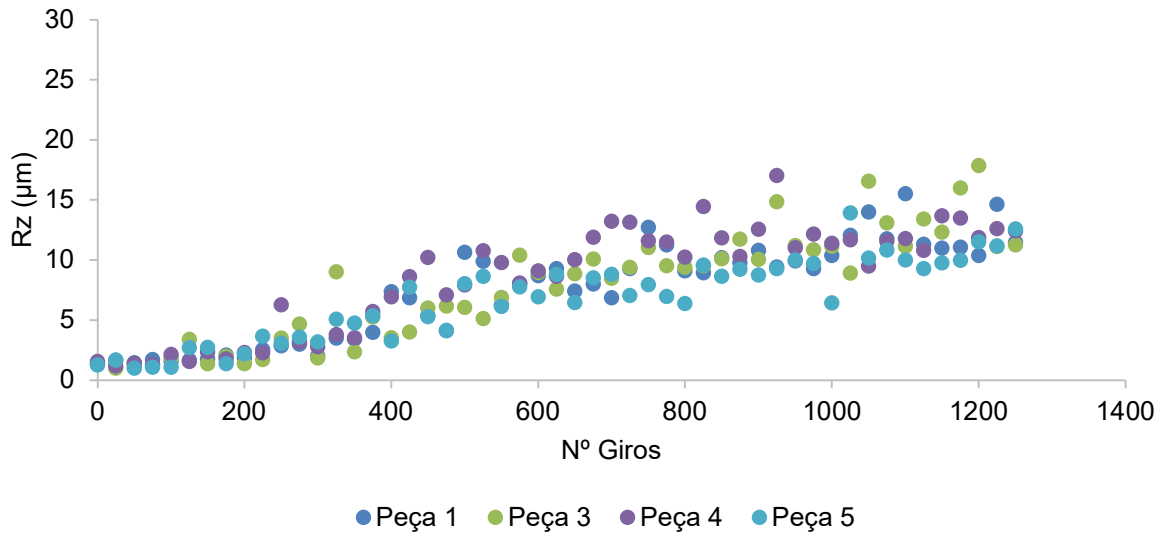
Fonte: Autora (2024).

Figura 127 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Polido - método UNE



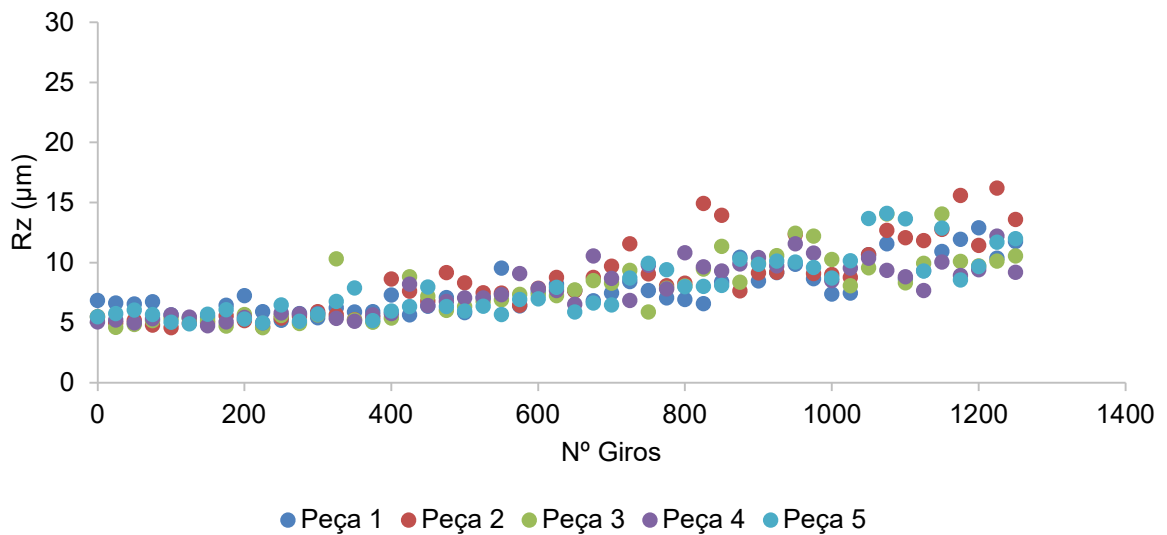
Fonte: Autora (2024).

Figura 128 – Comportamento RZ – Placa cerâmica brilhante - método UNE



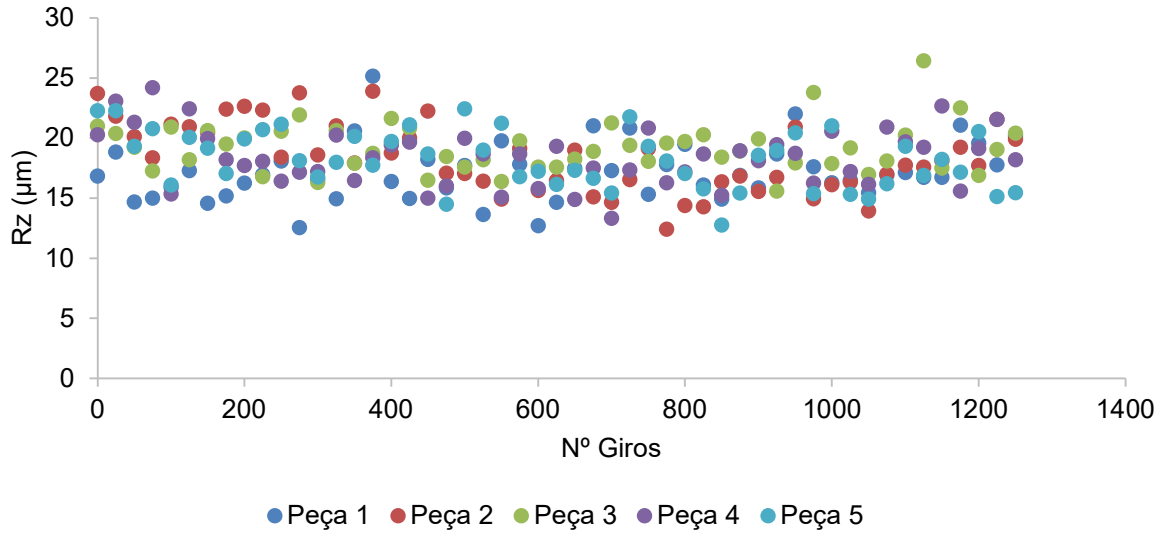
Fonte: Autora (2024).

Figura 129 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Acetinado - método UNE



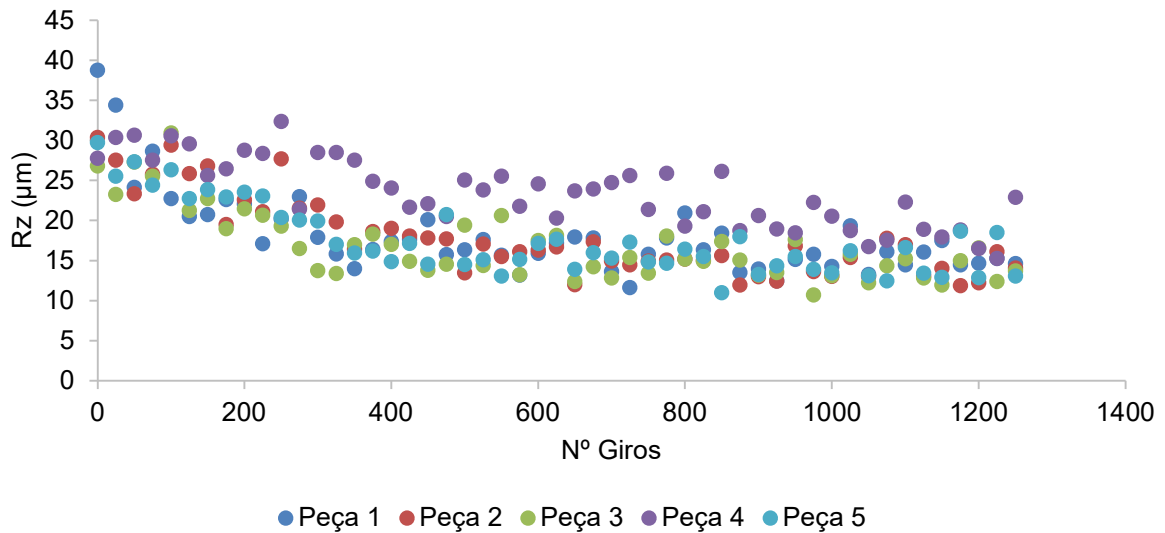
Fonte: Autora (2024).

Figura 130 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura - método UNE



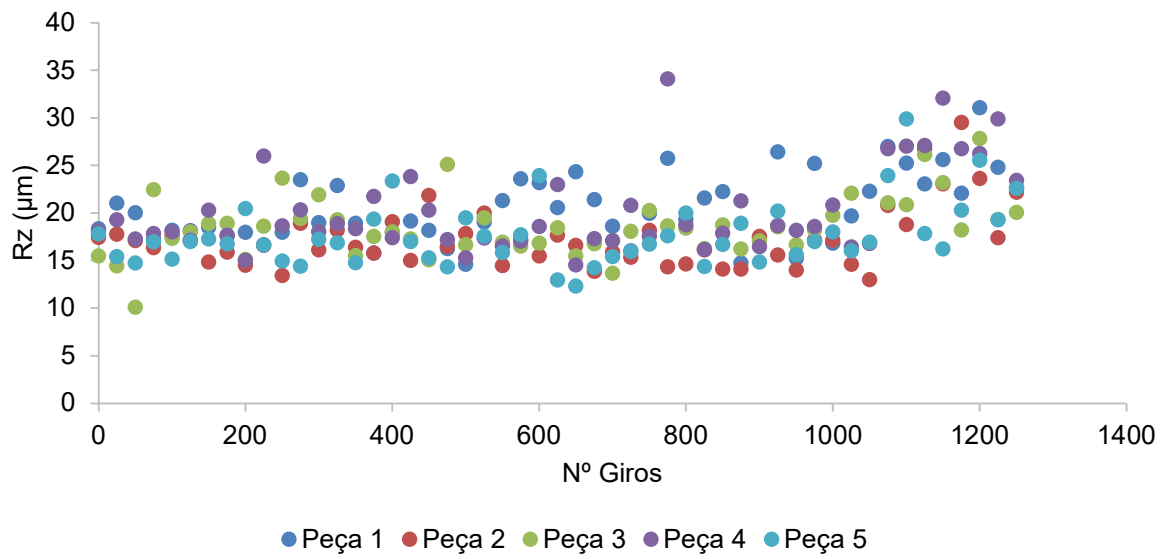
Fonte: Autora (2024).

Figura 131 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado granilhado - método UNE



Fonte: Autora (2024).

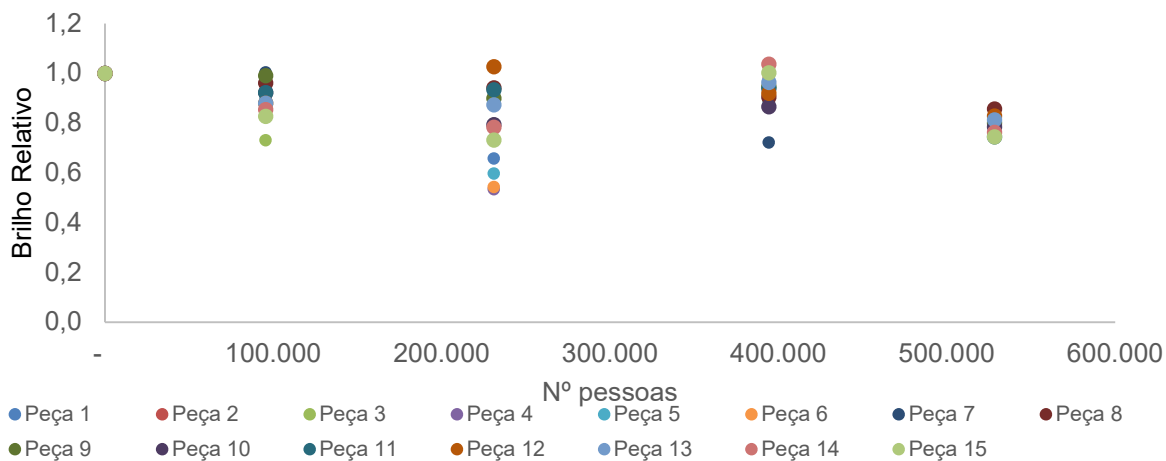
Figura 132 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - método UNE



Fonte: Autora (2024).

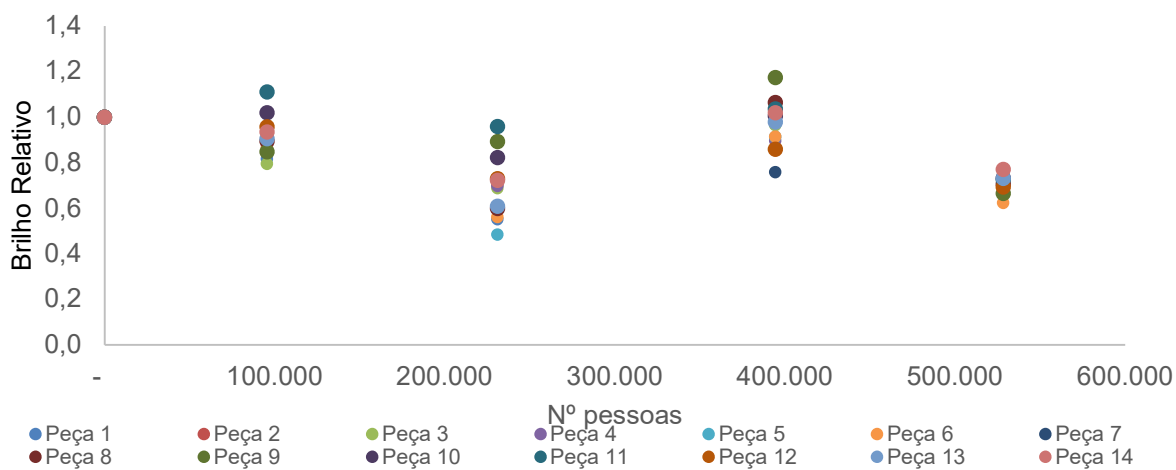
ANEXO H – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE BRILHO INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL

Figura 133 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real



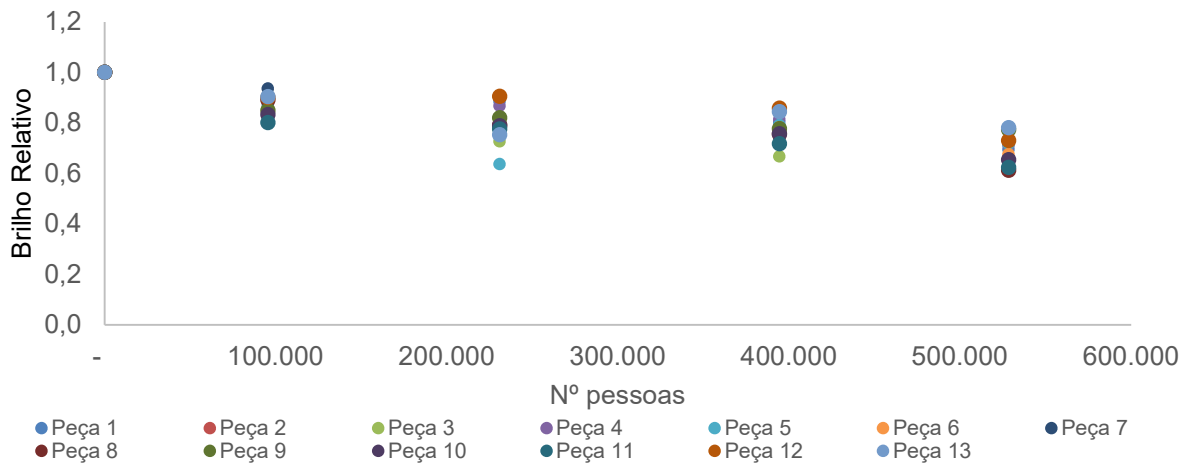
Fonte: Autora (2024).

Figura 134 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real



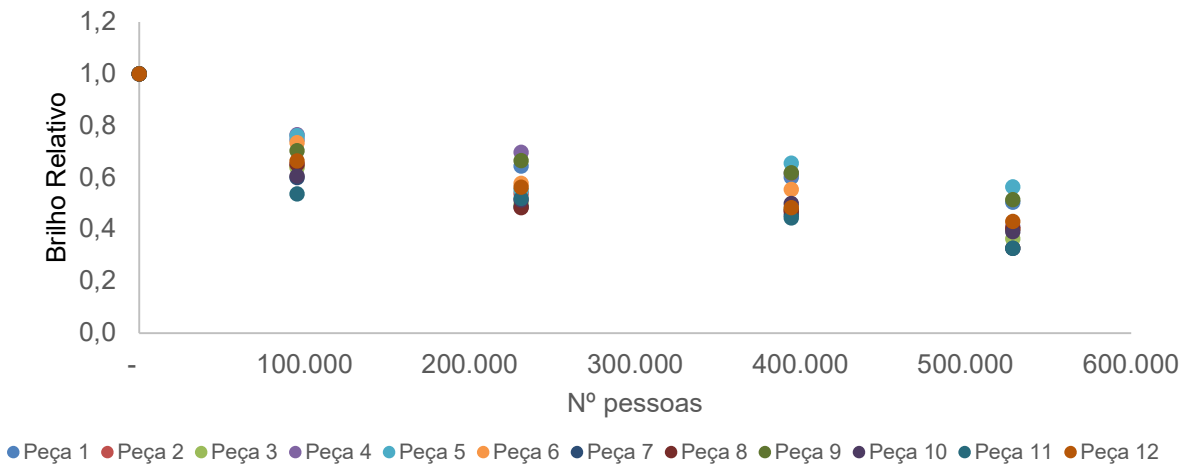
Fonte: Autora (2024).

Figura 135 – Perda de Brilho Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real



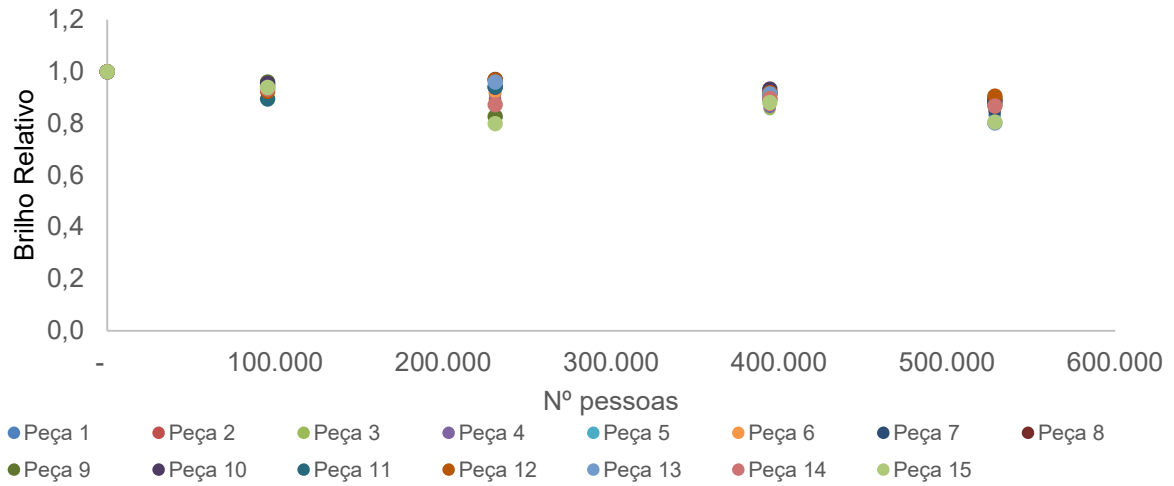
Fonte: Autora (2024).

Figura 136 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Polido - condição real



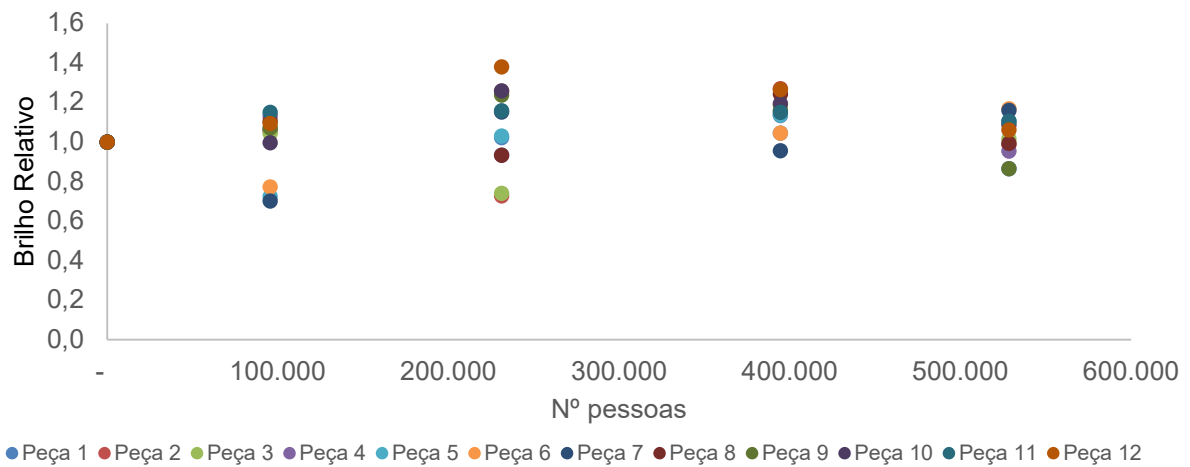
Fonte: Autora (2024).

Figura 137 – Perda de Brilho Placa cerâmica brilhante - condição real



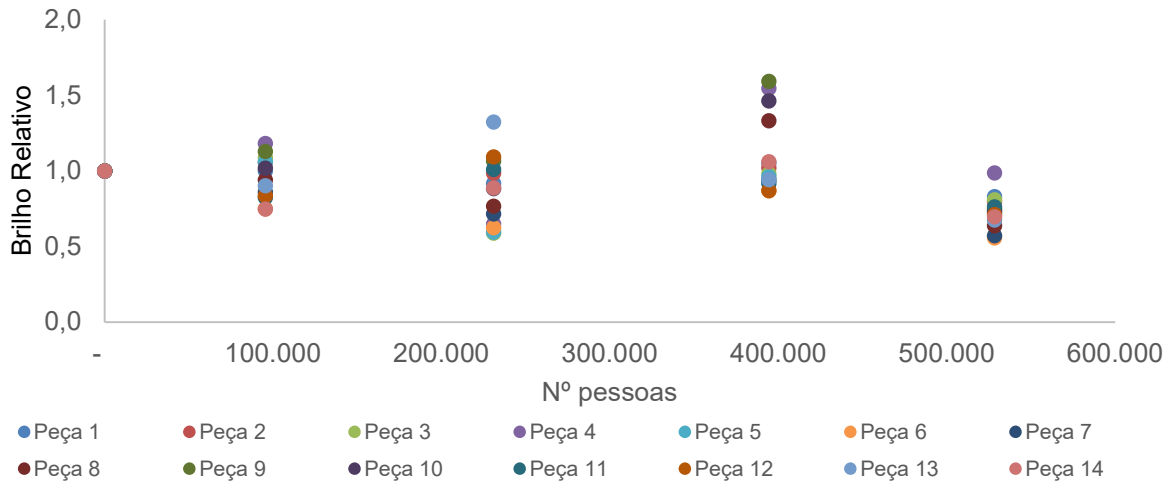
Fonte: Autora (2024).

Figura 138 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real



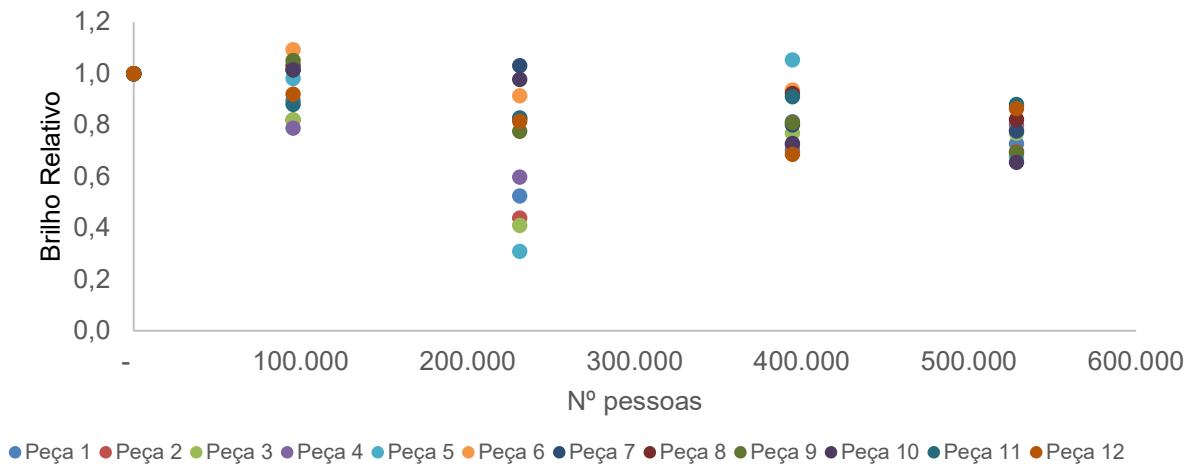
Fonte: Autora (2024).

Figura 139 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real



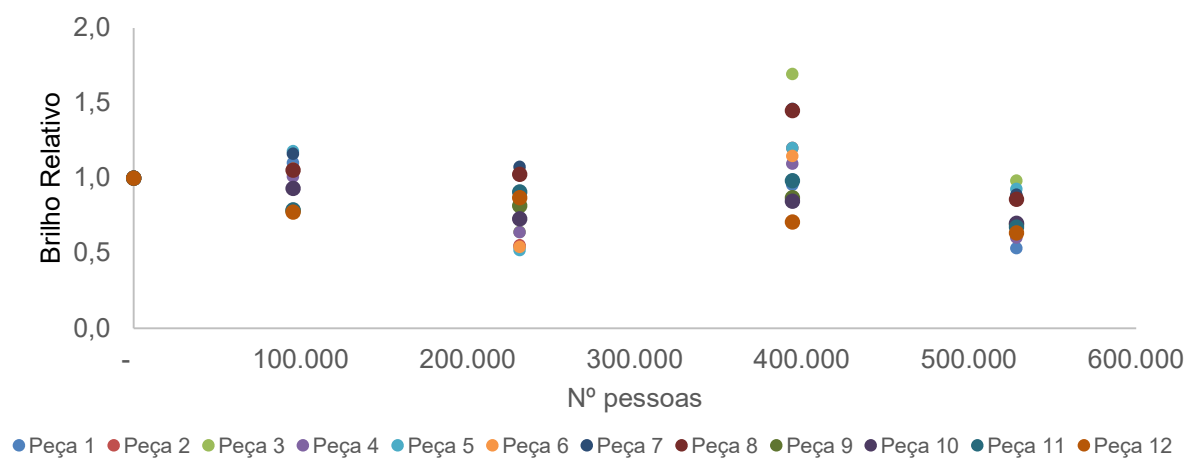
Fonte: Autora (2024).

Figura 140 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real



Fonte: Autora (2024).

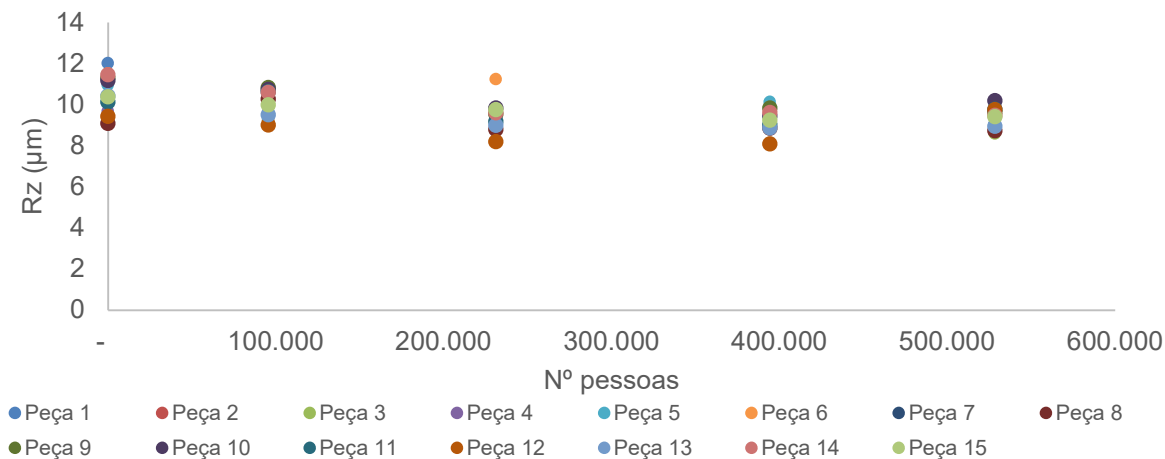
Figura 141 – Perda de Brilho Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real



Fonte: Autora (2024).

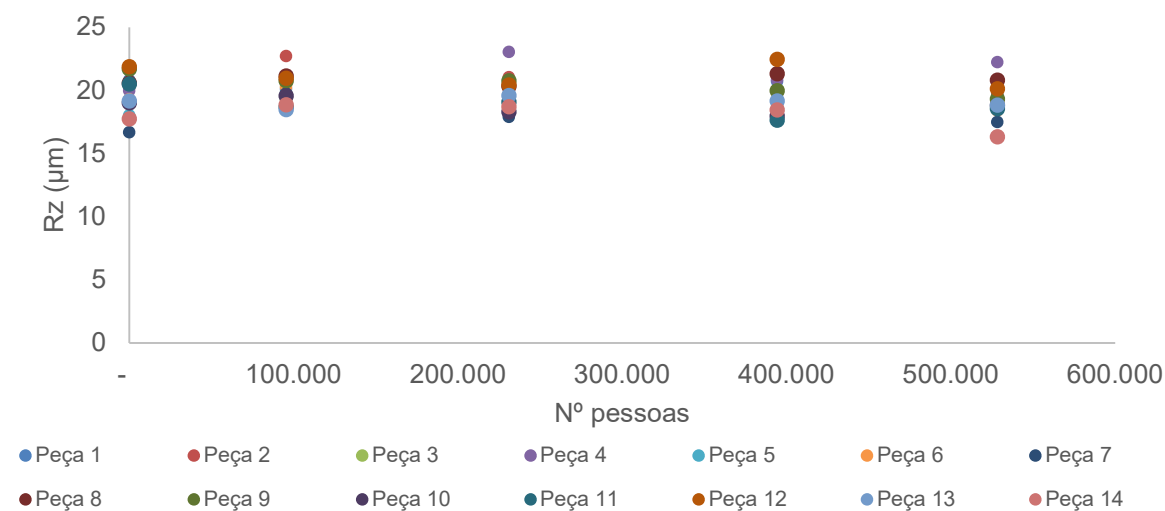
ANEXO I – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE RZ INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL

Figura 142 – Comportamento Rz – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real



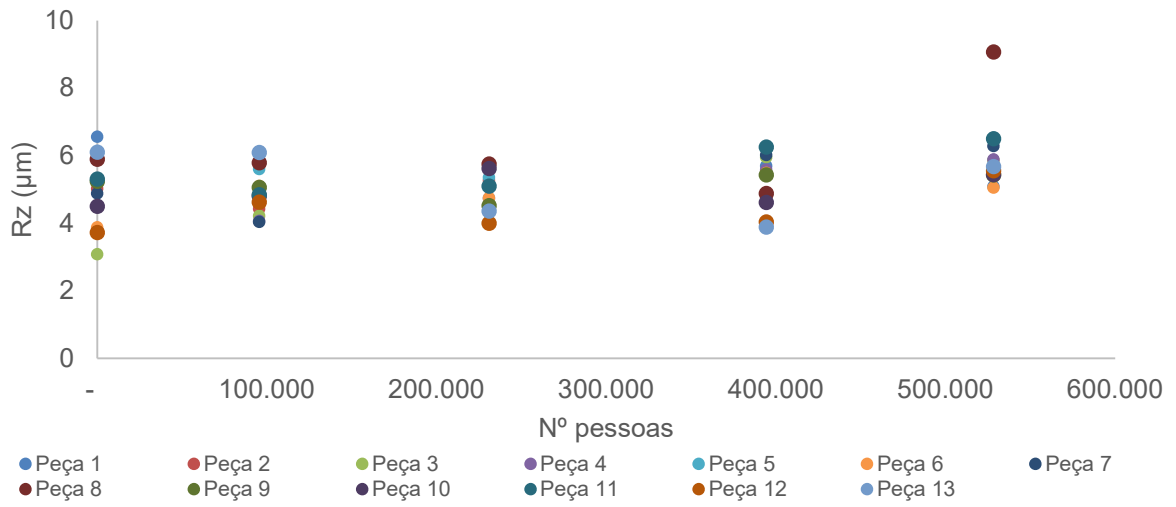
Fonte: Autora (2024).

Figura 143 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real



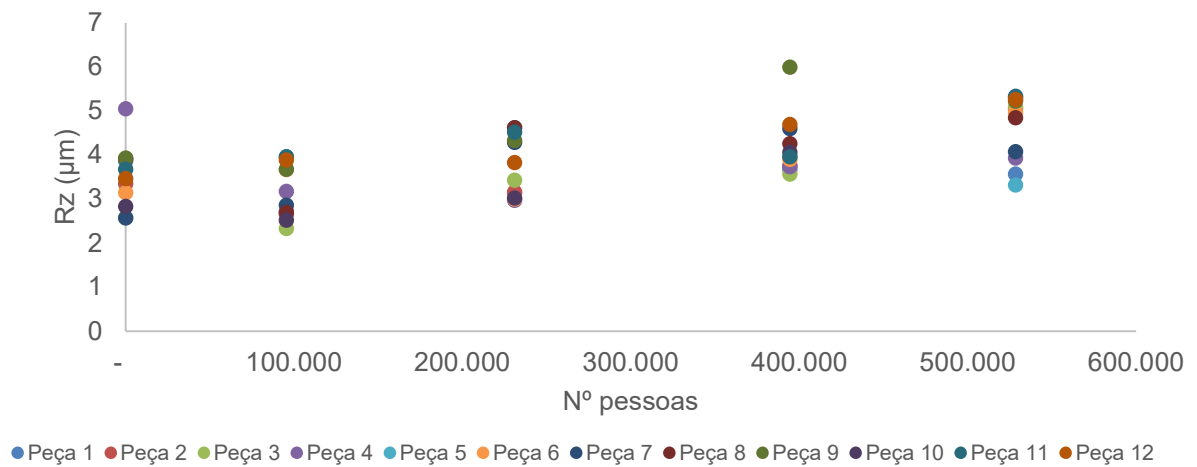
Fonte: Autora (2024).

Figura 144 – Comportamento RZ – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real



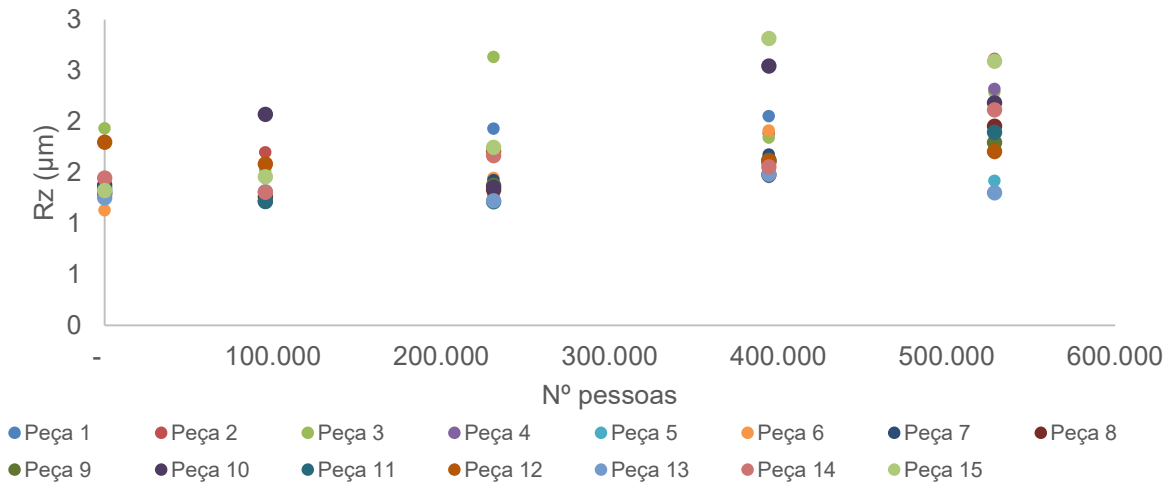
Fonte: Autora (2024).

Figura 145 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real



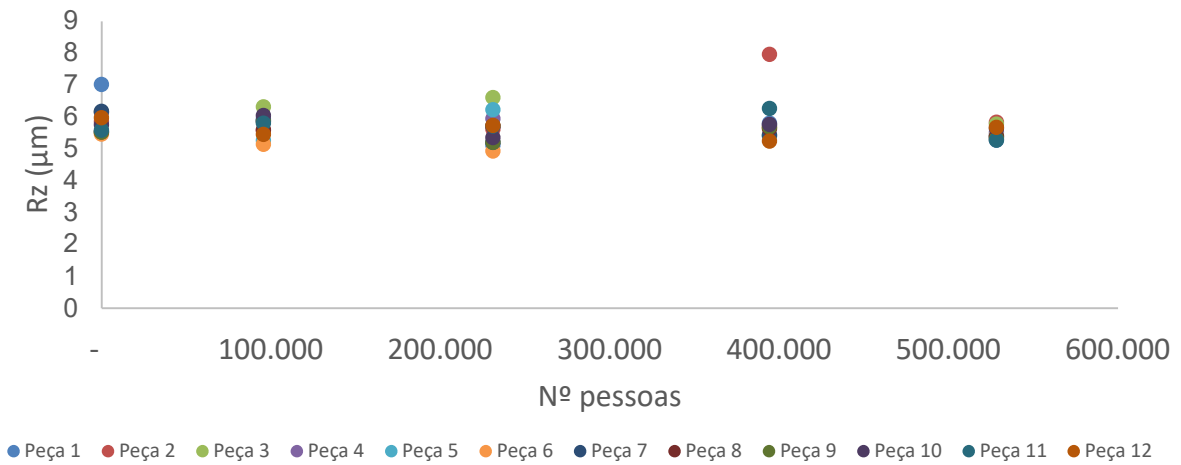
Fonte: Autora (2024).

Figura 146 – Comportamento RZ – Placa cerâmica brilhante - condição real



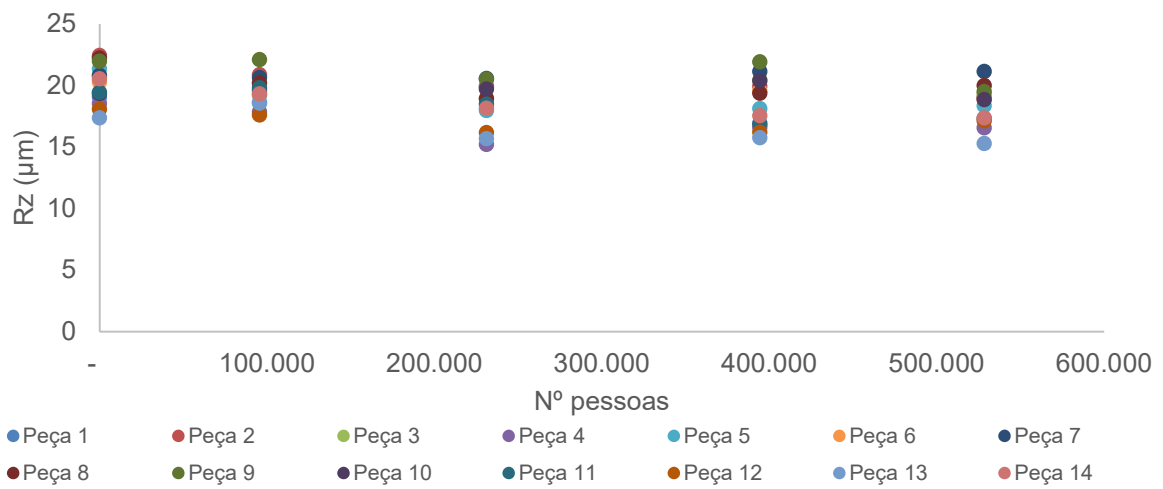
Fonte: Autora (2024).

Figura 147 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real



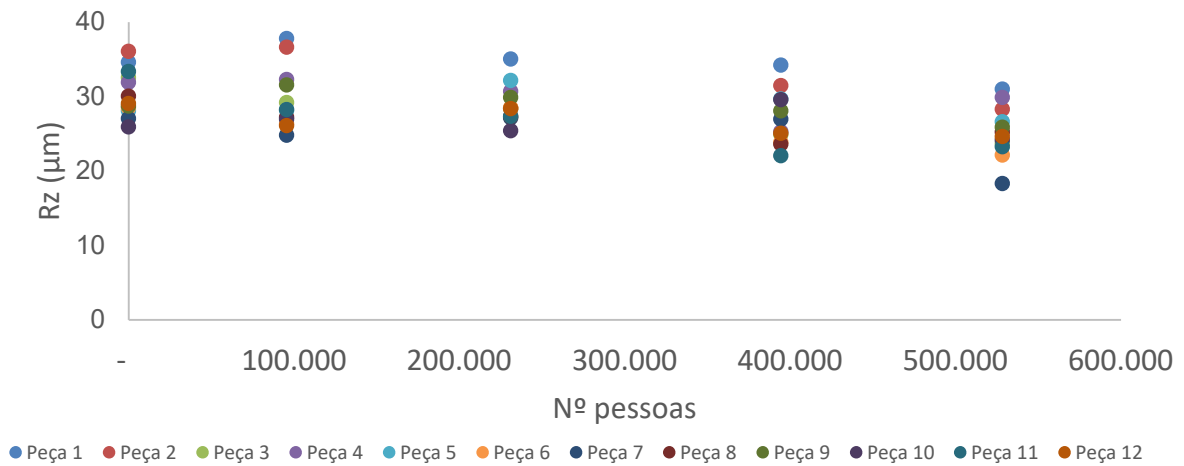
Fonte: Autora (2024).

Figura 148 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real



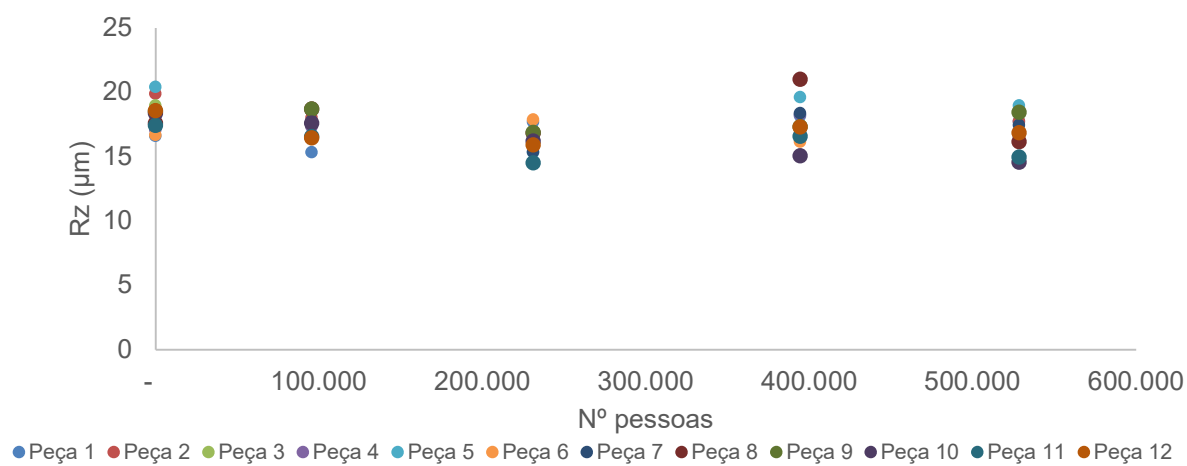
Fonte: Autora (2024).

Figura 149 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real



Fonte: Autora (2024).

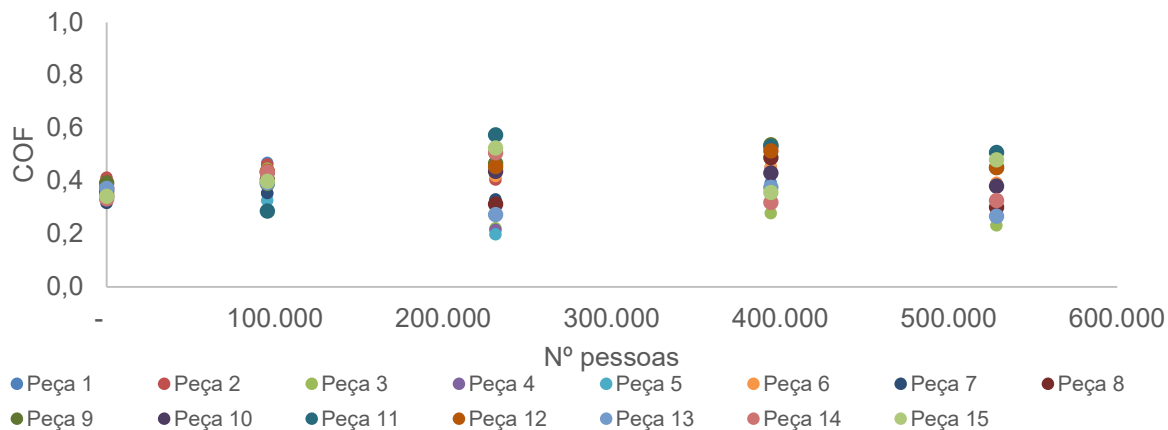
Figura 150 – Comportamento RZ – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real



Fonte: Autora (2024).

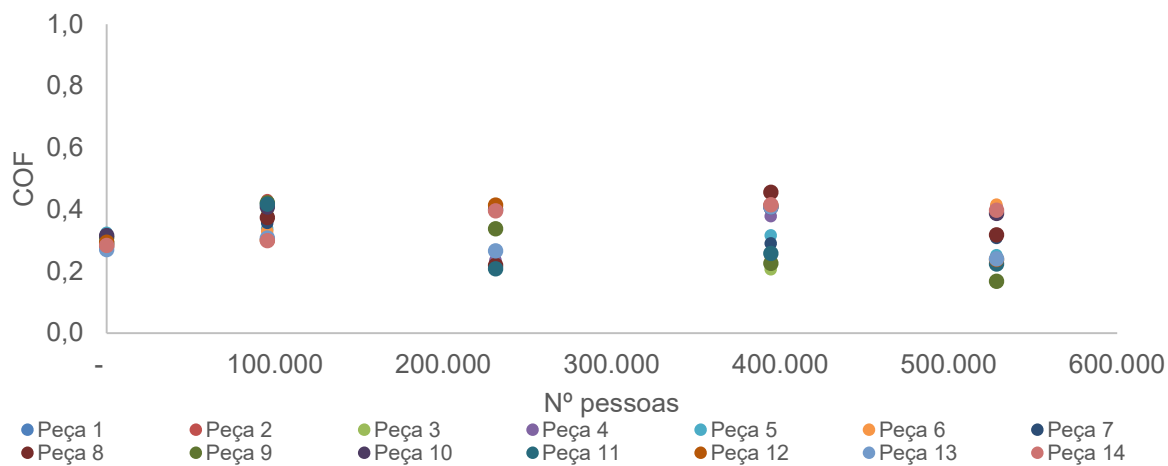
ANEXO J – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE COF INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL

Figura 151 – Comportamento COF – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real



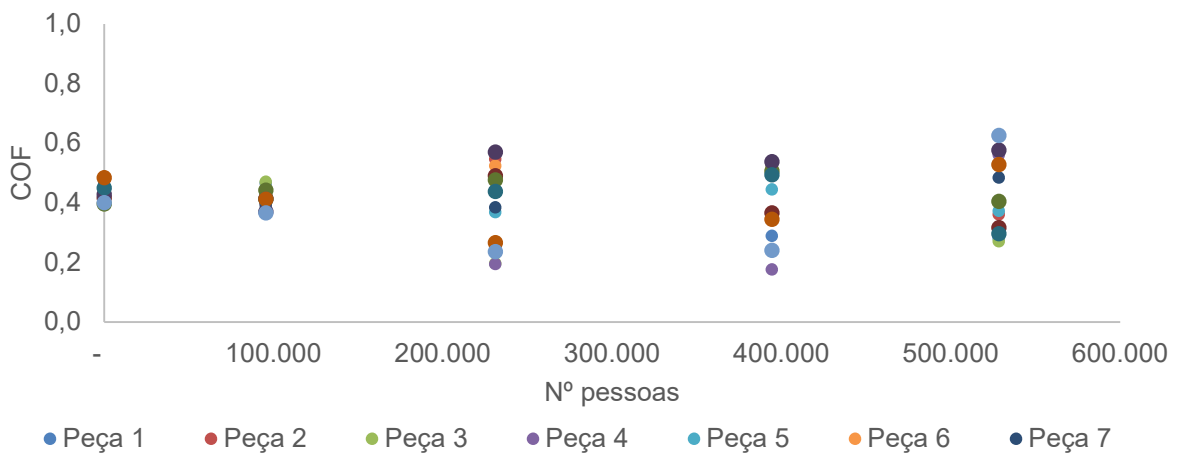
Fonte: Autora (2024).

Figura 152 – Comportamento COF – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real



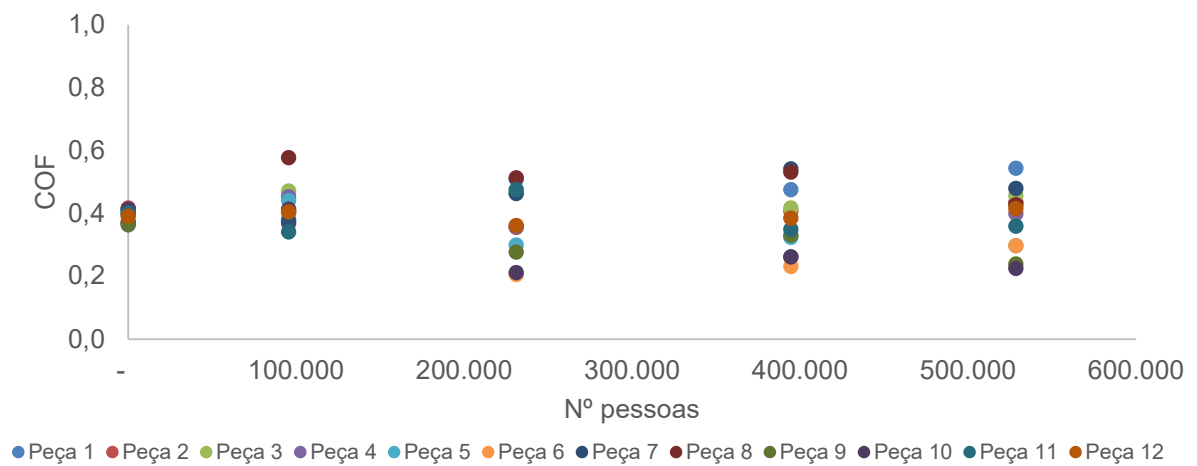
Fonte: Autora (2024).

Figura 153 – Comportamento COF – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real



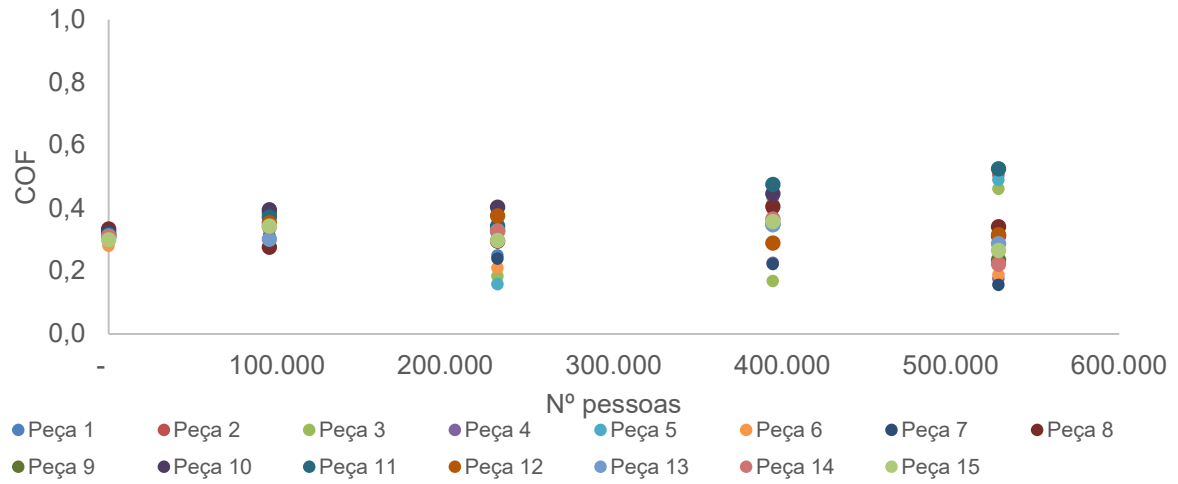
Fonte: Autora (2024).

Figura 154 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real



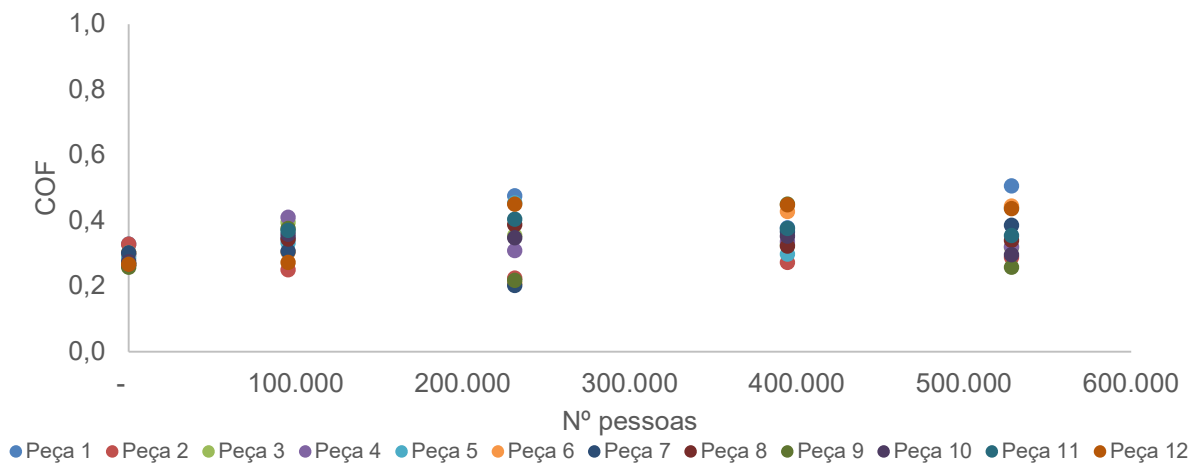
Fonte: Autora (2024).

Figura 155 – Comportamento COF – Placa cerâmica brilhante - condição real



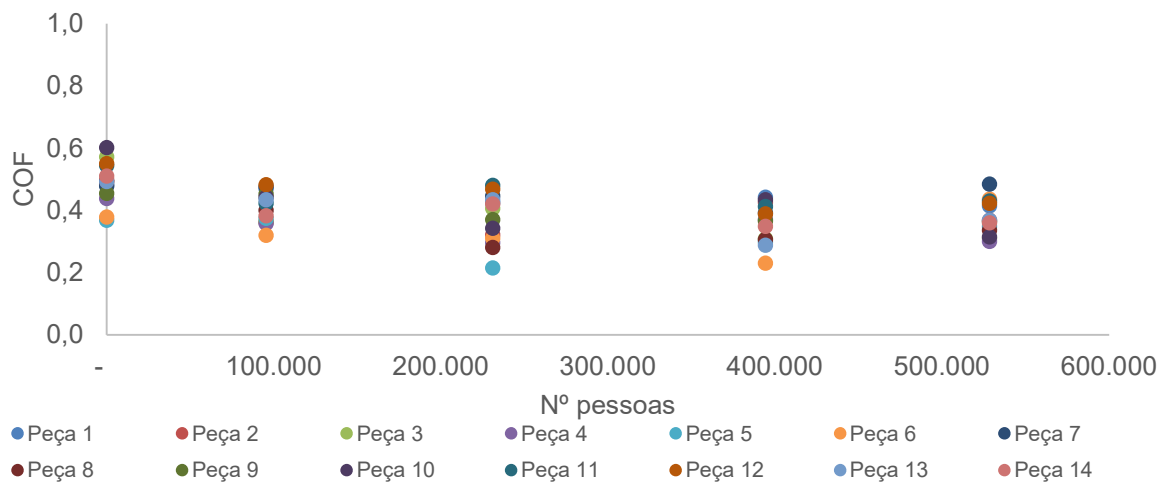
Fonte: Autora (2024).

Figura 156 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real



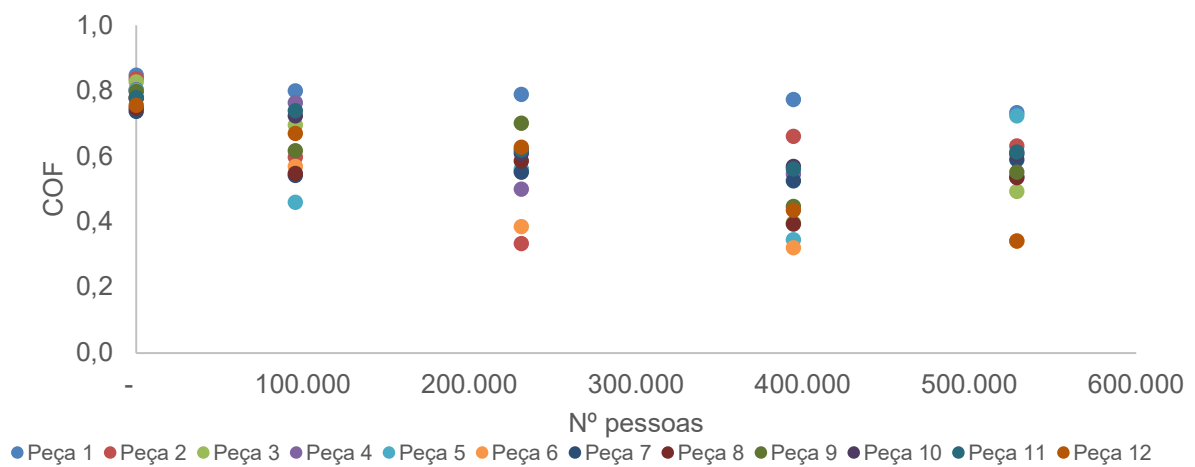
Fonte: Autora (2024).

Figura 157 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real



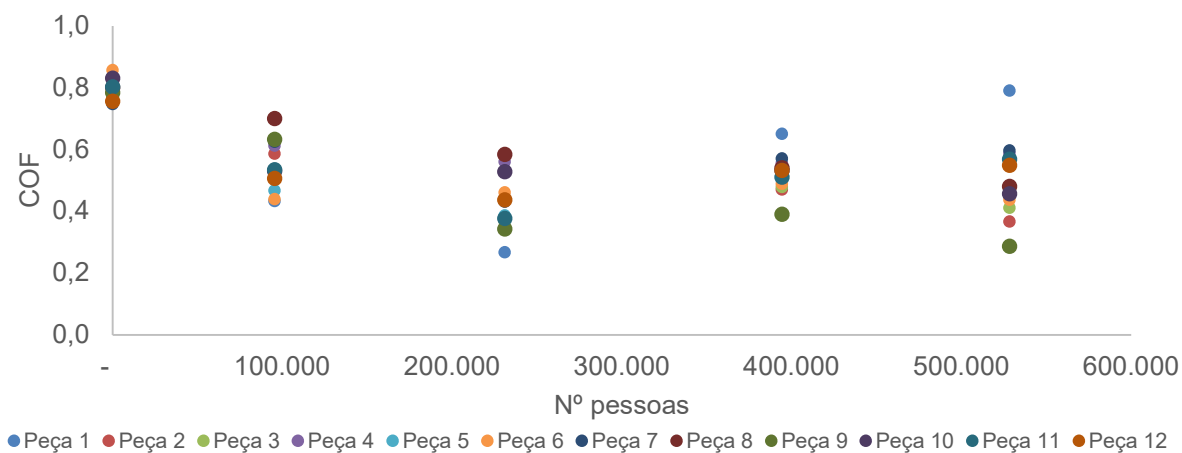
Fonte: Autora (2024).

Figura 158 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real



Fonte: Autora (2024).

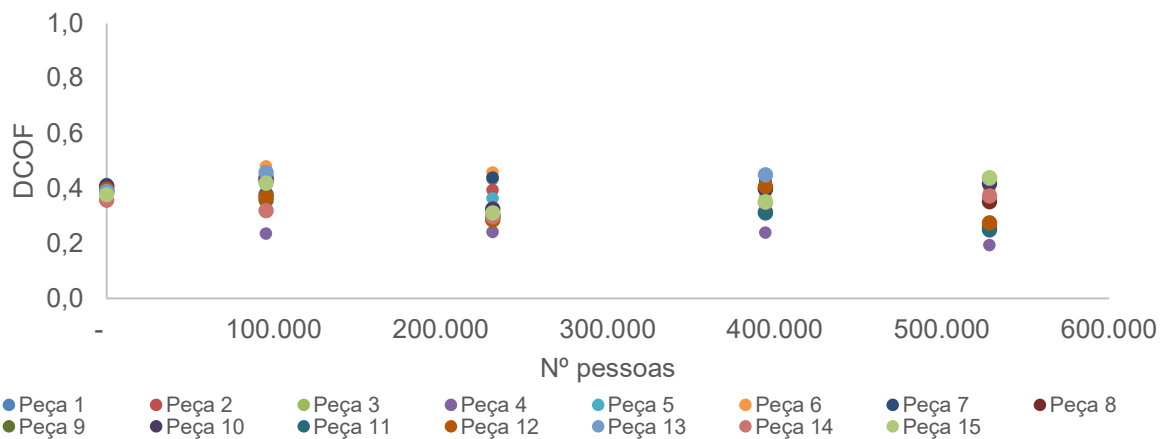
Figura 159 – Comportamento COF – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real



Fonte: Autora (2024).

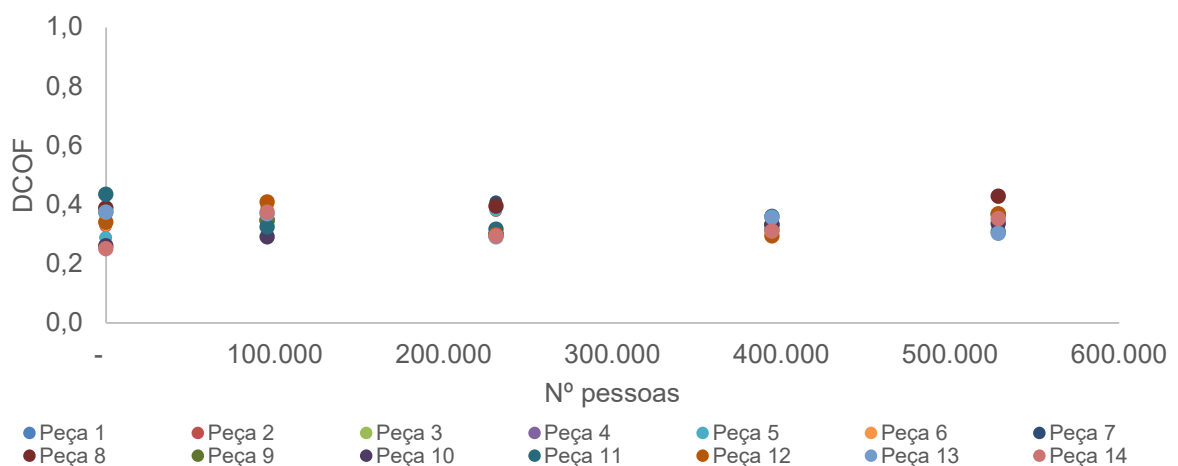
ANEXO K – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE DCOF INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL

Figura 160 – Comportamento DCOF – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real



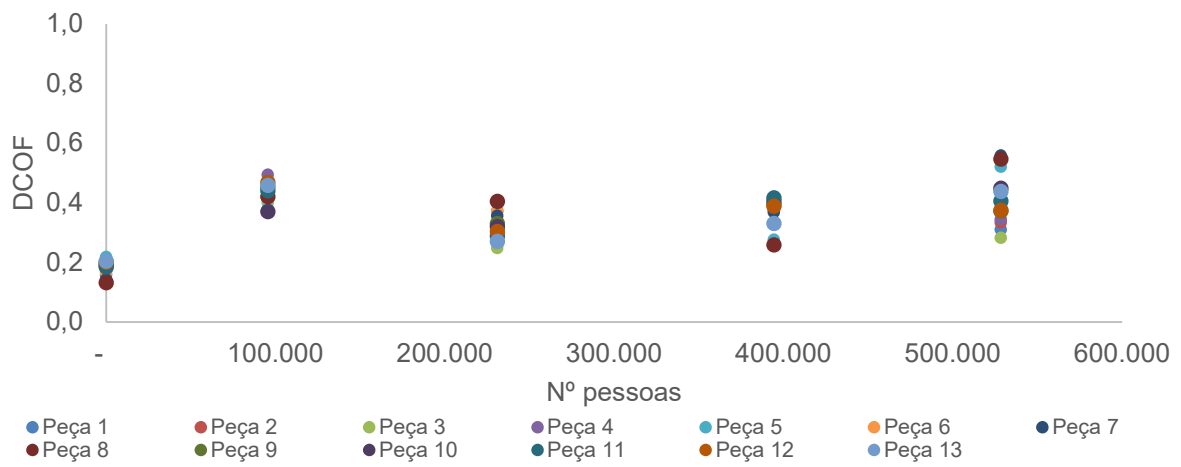
Fonte: Autora (2024).

Figura 161 – Comportamento DCOF – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real



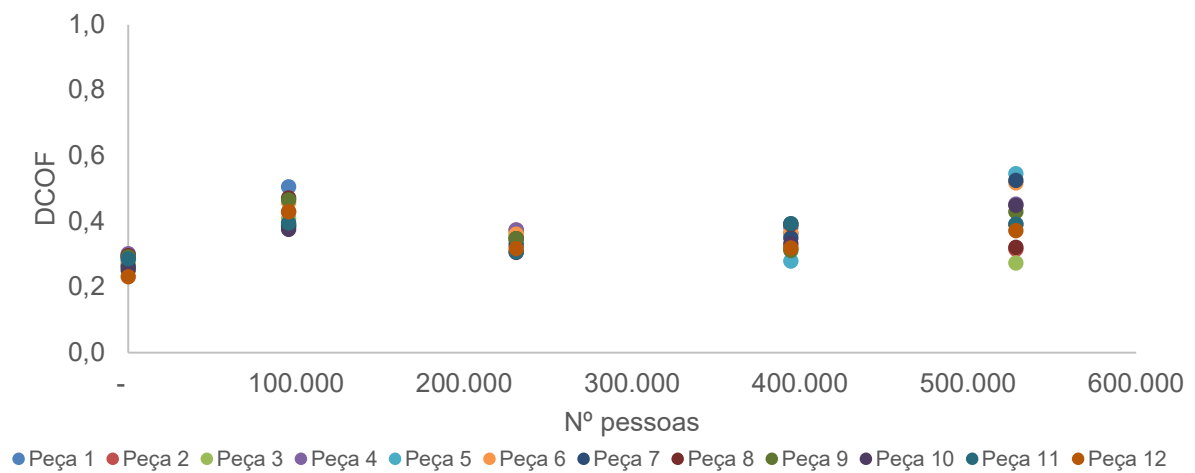
Fonte: Autora (2024).

Figura 162 – Comportamento DCOF – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real



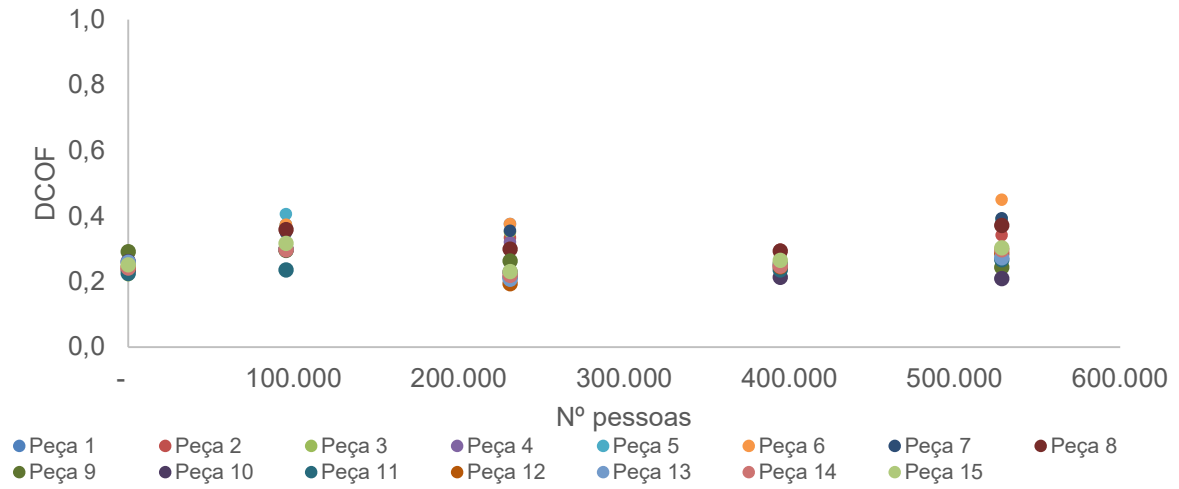
Fonte: Autora (2024).

Figura 163 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real



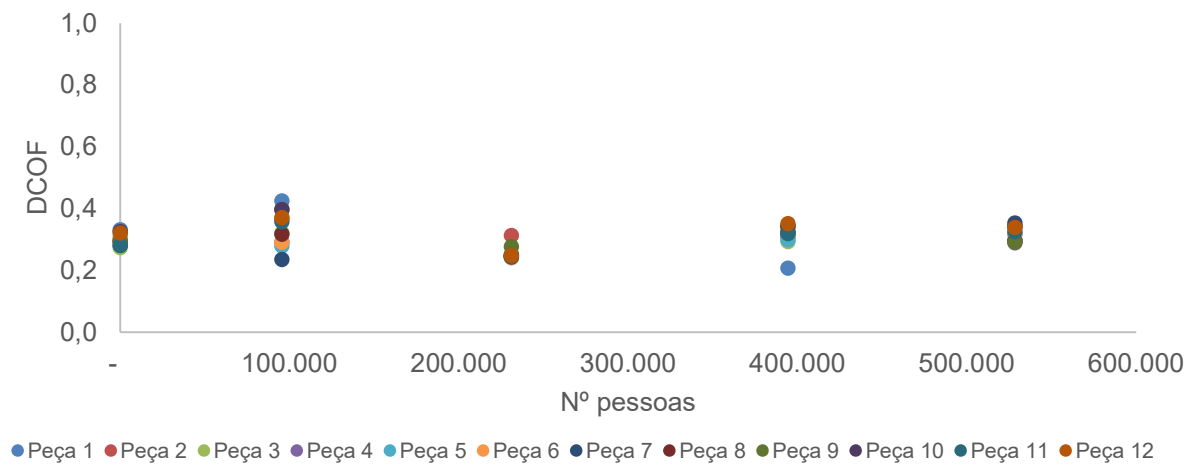
Fonte: Autora (2024).

Figura 164 – Comportamento DCOF – Placa cerâmica brilhante - condição real



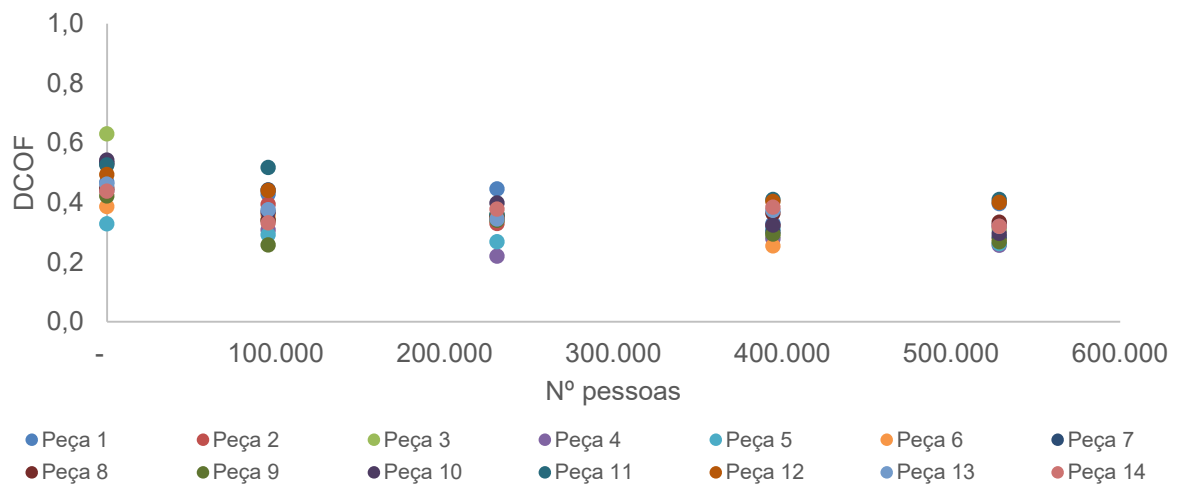
Fonte: Autora (2024).

Figura 165 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real



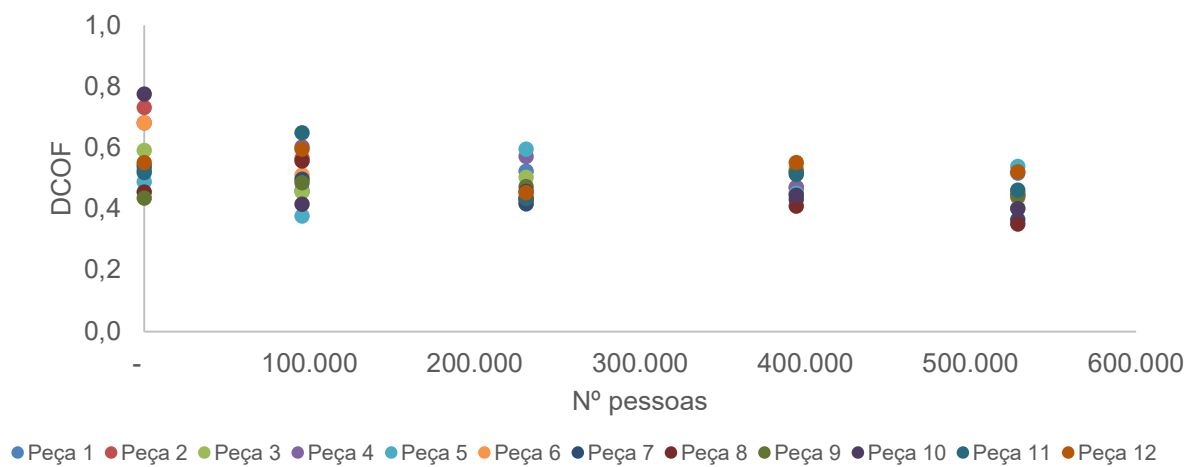
Fonte: Autora (2024).

Figura 166 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real



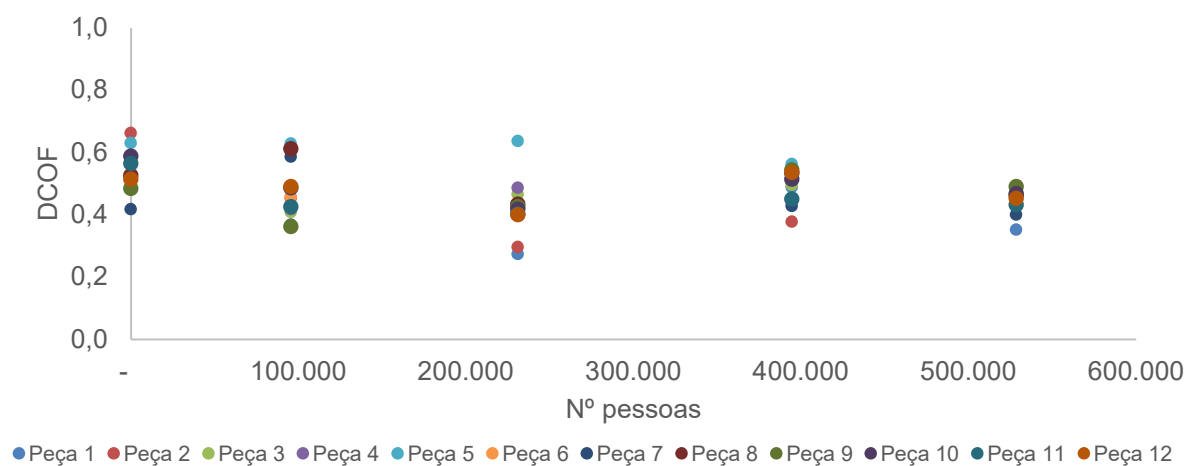
Fonte: Autora (2024).

Figura 167 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real



Fonte: Autora (2024).

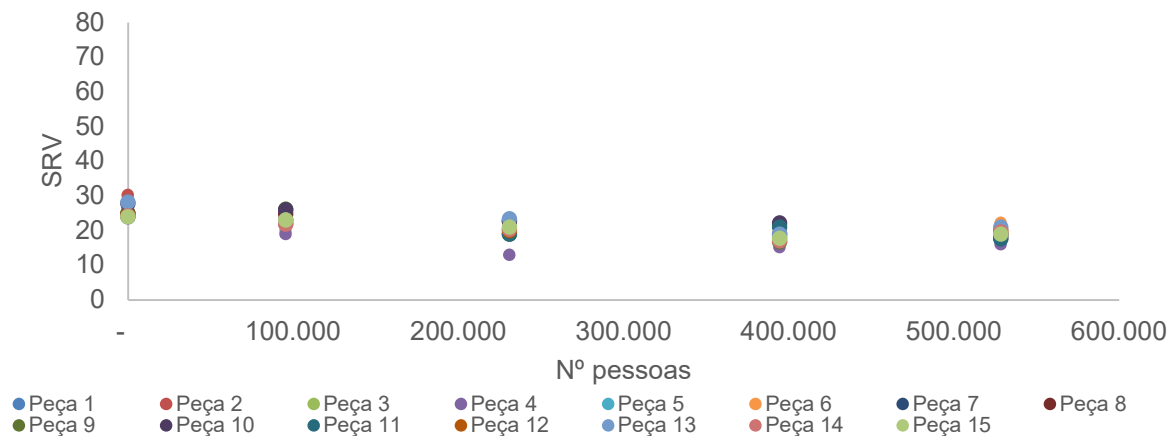
Figura 168 – Comportamento DCOF – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real



Fonte: Autora (2024).

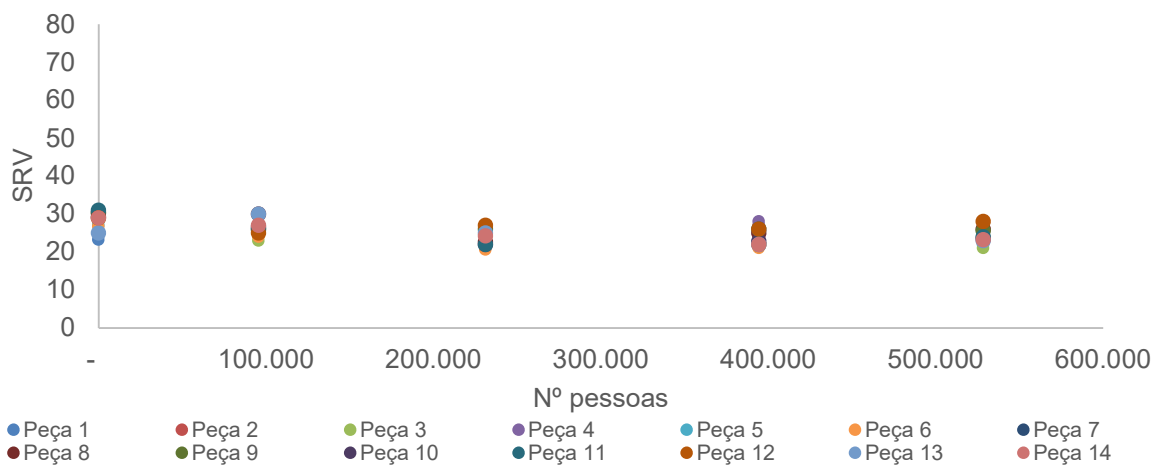
ANEXO L – GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO DE SRV INDIVIDUAIS – CONDIÇÃO REAL

Figura 169 – Comportamento SRV – Porcelanato Não Esmaltado Natural decorado – condição real



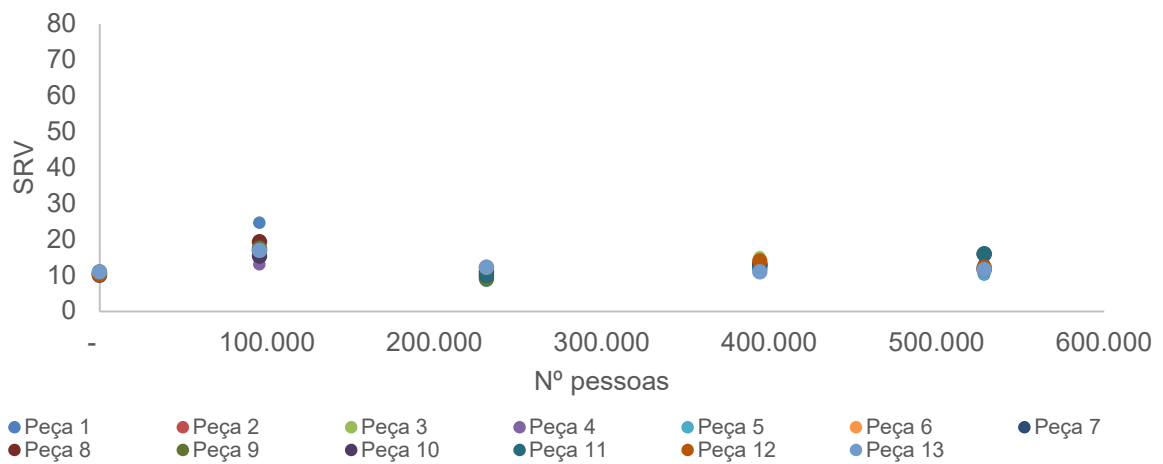
Fonte: Autora (2024).

Figura 170 – Comportamento SRV – Porcelanato Não Esmaltado Natural - condição real



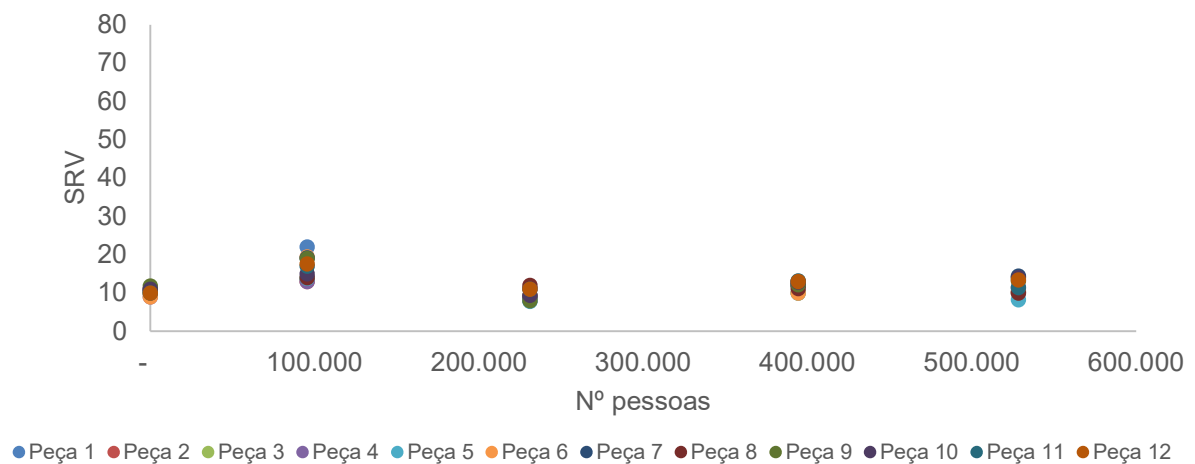
Fonte: Autora (2024).

Figura 171 – Comportamento SRV – Porcelanato Não Esmaltado Polido - condição real



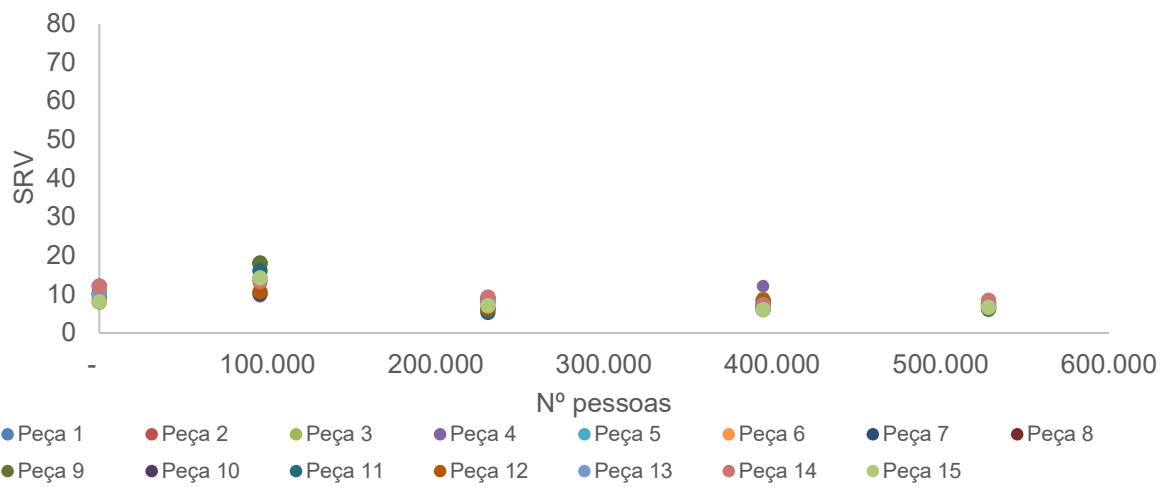
Fonte: Autora (2024).

Figura 172 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado Polido - condição real



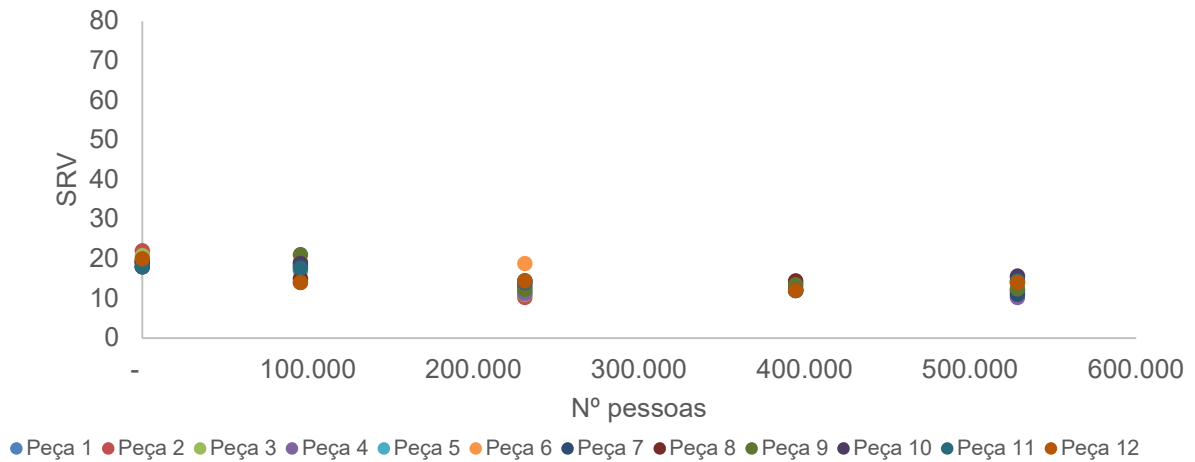
Fonte: Autora (2024).

Figura 173 – Comportamento SRV – Placa cerâmica brilhante - condição real



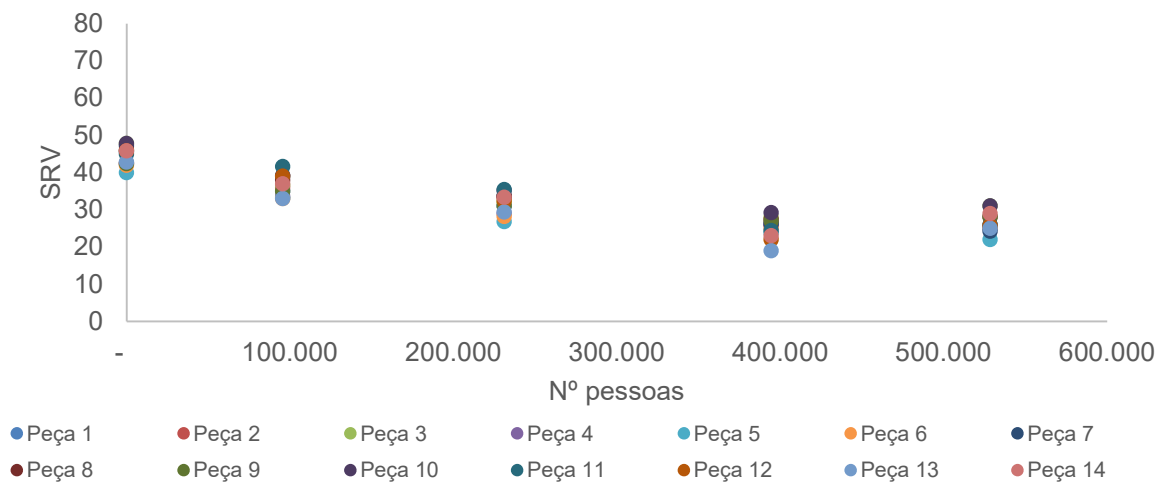
Fonte: Autora (2024).

Figura 174 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado Acetinado - condição real



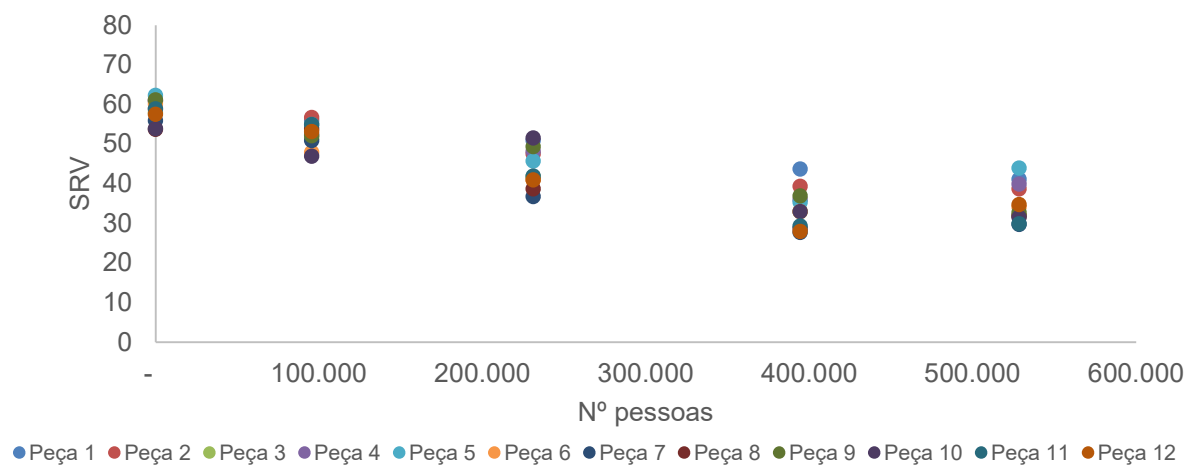
Fonte: Autora (2024).

Figura 175 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado com cobertura - condição real



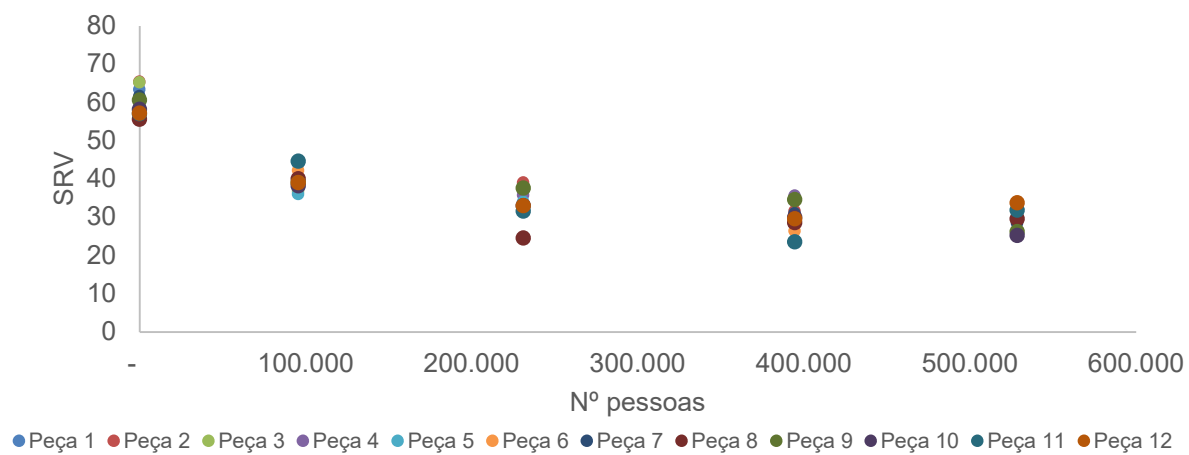
Fonte: Autora (2024).

Figura 176 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado granilhado - condição real



Fonte: Autora (2024).

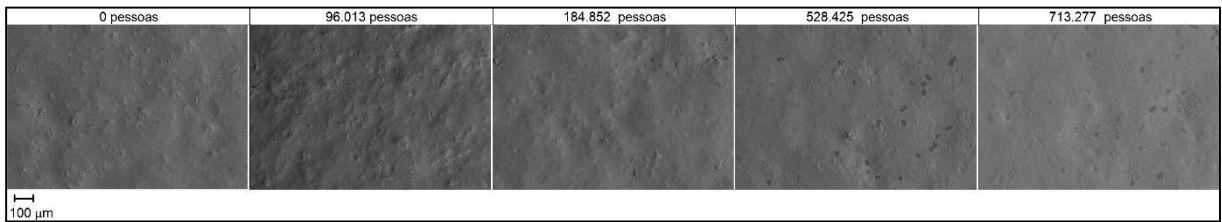
Figura 177 – Comportamento SRV – Porcelanato Esmaltado com cobertura+relevo - condição real



Fonte: Autora (2024).

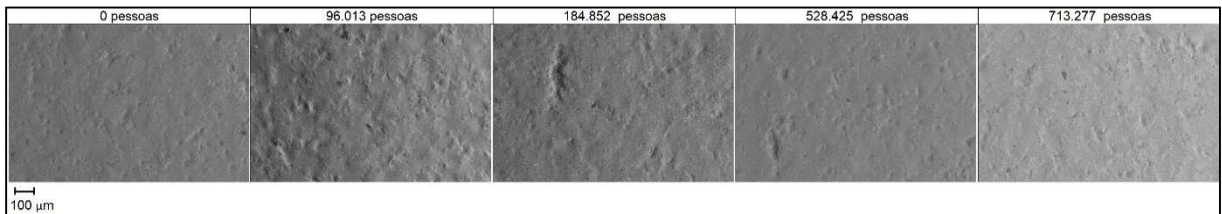
ANEXO M – MICROGRAFIAS

Figura 178 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Não Esmaltado Natural

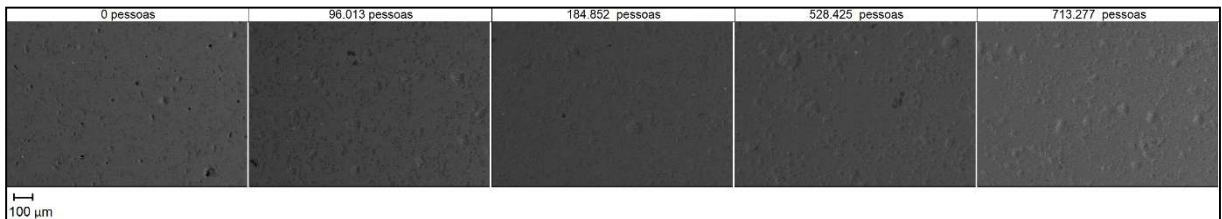


Fonte: Autora, 2024

Figura 179 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Não Esmaltado Natural Decorado

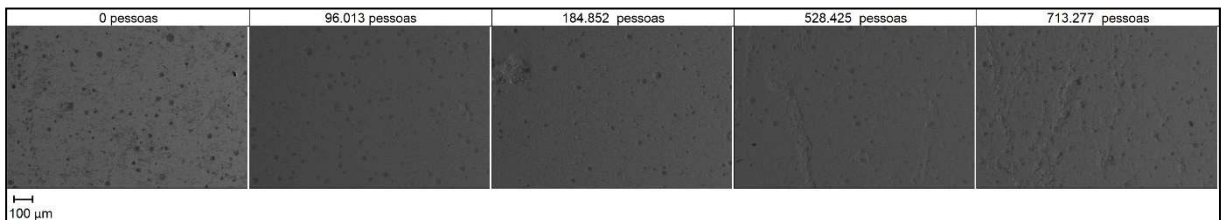


Fonte: Autora, 2024



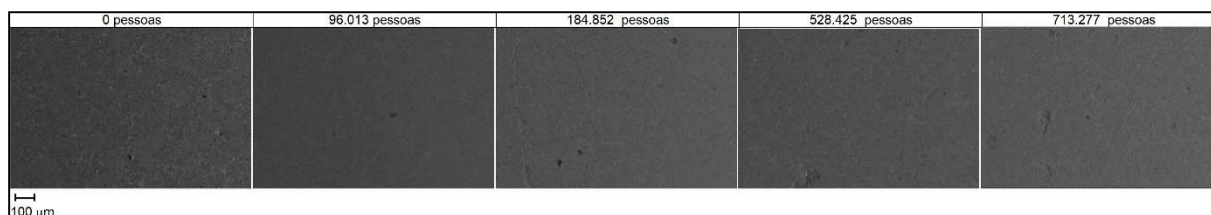
Fonte: Autora, 2024

Figura 180 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Polido



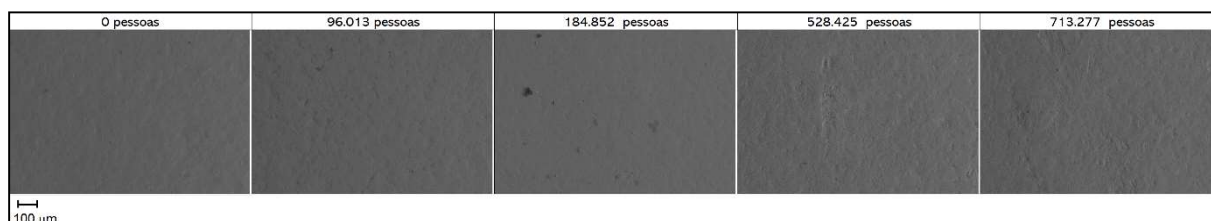
Fonte: Autora, 2024

Figura 181 – Análise de MEV da Superfície Placa Cerâmica Brilhante



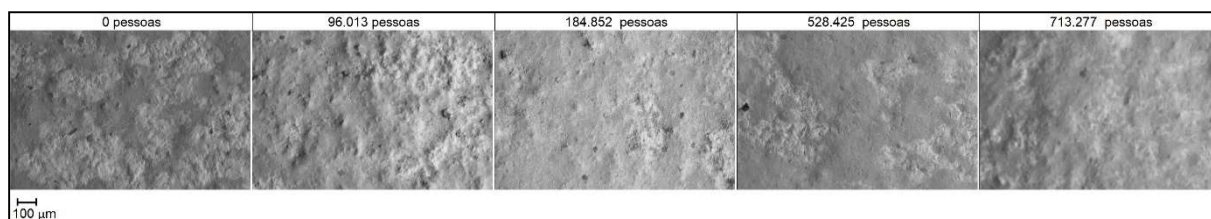
Fonte: Autora, 2024

Figura 182 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Acetinado



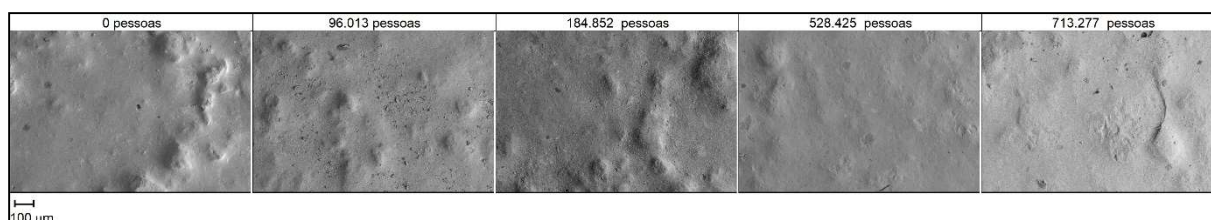
Fonte: Autora, 2024

Figura 183 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Com cobertura



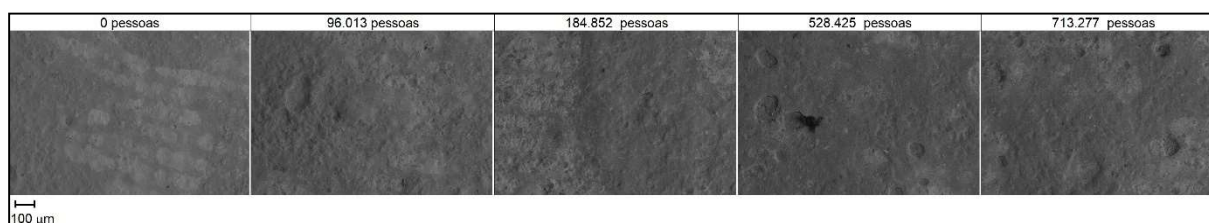
Fonte: Autora, 2024

Figura 184 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Granilhado



Fonte: Autora, 2024

Figura 185 – Análise de MEV da Superfície Porcelanato Esmaltado Com cobertura + Relevo



Fonte: Autora, 2024

ANEXO N – IMAGENS DAS SUPERFÍCIES DESGASTADAS EM CONDIÇÃO REAL

Figura 186 – Análise visual das superfícies Naturais



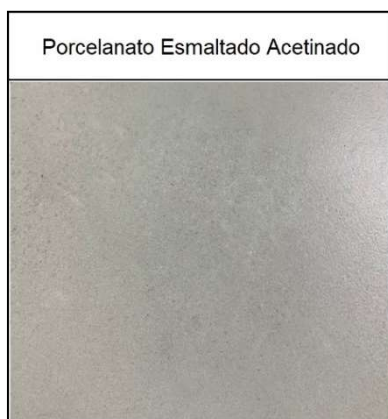
Fonte: Autora, 2024

Figura 187 – Análise visual das superfícies Brilhantes



Fonte: Autora, 2024

Figura 188 – Análise visual da superfície Acetinada



Fonte: Autora, 2024

Figura 189 – Análise visual das Superfícies rugosas



Fonte: Autora, 2024