

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

NEREU TEIXEIRA RODRIGUES TAKEDA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE PISOS DE CONCRETO LAPIDADO COM
DIFERENTES TRATAMENTOS SUPERFICIAIS**

**São Leopoldo, RS
2025**

NEREU TEIXEIRA RODRIGUES TAKEDA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE PISOS DE CONCRETO LAPIDADO COM
DIFERENTES TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Resíduos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Tutikian
Coorientador: Prof. Dr. Hinoel Ehrenbring

São Leopoldo, RS

2025

T136a Takeda, Nereu Teixeira Rodrigues.
Análise das propriedades de pisos de concreto lapidado
com diferentes tratamentos superficiais / Nereu Teixeira
Rodrigues Takeda. – 2025.
222 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos
Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, 2025.
“Orientador: Prof. Dr. Bernardo Tutikian
Coorientador: Prof. Dr. Hinoel Ehrenbring”

1. Durabilidade. 2. Polimento de concreto. 3. Propriedades
de superfície. 4. Resistência à abrasão. 5. Tratamentos de
superfície. I. Título.

CDU 624

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Silvana Dornelles Studzinski – CRB 10/2524)

NEREU TEIXEIRA RODRIGUES TAKEDA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE PISOS DE CONCRETO LAPIDADO COM
DIFERENTES TRATAMENTOS SUPERFICIAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Resíduos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

BANCA EXAMINADORA

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence

Componente da Banca Examinadora – Instituição a que pertence.

“O importante é não parar de questionar; a curiosidade tem sua própria razão de existir”.

Albert Einstein

RESUMO

O desbaste e o polimento abrasivo constituem processos relevantes no tratamento de superfícies de concreto, pois promovem maior resistência ao desgaste, redução da rugosidade e aumento da durabilidade. Essas técnicas têm sido aplicadas em pisos internos de concreto, visando atender às demandas de desempenho em ambientes comerciais, corporativos e residenciais. A eficiência do tratamento superficial é determinada por propriedades físicas, mecânicas e químicas que influenciam diretamente a vida útil do material. O objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades de pisos internos de concreto submetidos a diferentes níveis de polimento abrasivo, com foco em sua resistência, desempenho funcional e durabilidade. Para isso, foi desenvolvido um programa experimental com 12 placas de concreto, das quais 10 receberam tratamentos superficiais e 2 foram utilizadas como referência. Após a cura úmida de 28 dias, aplicaram-se abrasivos diamantados, cimento com base látex, endurecedor de superfície à base de silicato, selante e lixas de polimento em granulometrias progressivas (#200, #400, #800, #1500 e #3000). A avaliação da eficiência dos tratamentos incluiu ensaios normatizados de resistência à abrasão, medição de brilho (GU), rugosidade, dureza superficial, resistência ao ataque químico e resistência ao manchamento. Os resultados mostraram melhora expressiva na resistência à abrasão, com reduções de desgaste de até 24,86%, aumento progressivo no brilho, atingindo 76,86 GU no acabamento de alto brilho (#3000), e diminuição da rugosidade superficial até 0,85 μm . A dureza apresentou incremento de até 82,30% em relação às amostras de referência, enquanto a resistência química foi elevada à Classe A. Nos ensaios de manchamento, os níveis mais altos de polimento alcançaram a classificação máxima de limpabilidade (Classe 5). Conclui-se que o polimento abrasivo em pisos internos de concreto resultou em ganhos significativos de desempenho físico, mecânico e químico, contribuindo diretamente para o aumento da durabilidade e reforçando a importância da escolha adequada do tratamento superficial.

Palavras-chave: polimento de concreto; tratamentos de superfície; resistência à abrasão; durabilidade; propriedades de superfície.

ABSTRACT

Grinding and abrasive polishing are essential processes in the treatment of concrete surfaces, as they improve wear resistance, reduce roughness, and increase durability. These techniques have been applied to indoor concrete floors, aiming to meet performance requirements in commercial, corporate, and residential environments. The efficiency of surface treatments is determined by physical, mechanical, and chemical properties that directly influence the service life of the material. The main objective of this study was to analyze the properties of indoor concrete floors subjected to different levels of abrasive polishing, focusing on their resistance, functional performance, and durability. An experimental program was carried out with 12 concrete slabs, of which 10 received surface treatments and 2 were used as references. After 28 days of wet curing, diamond abrasives, latex-based cement, silicate-based surface hardener, sealant, and polishing pads with progressive grit sizes (#200, #400, #800, #1500, and #3000) were applied. The effectiveness of the treatments was assessed through standardized tests, including abrasion resistance, gloss measurement (GU), surface roughness, hardness, chemical resistance, and stain resistance. The results showed significant improvements in abrasion resistance, with wear reduction of up to 24.86%, progressive increases in gloss, reaching 76.86 GU in the high-gloss finish (#3000), and reductions in surface roughness to 0.85 μm . Hardness increased by up to 82.30% compared with the reference samples, while chemical resistance was classified as Class A. In the stain resistance tests, the highest polishing levels achieved the maximum cleaning classification (Class 5). It was concluded that abrasive polishing of indoor concrete floors provided significant physical, mechanical, and chemical performance improvements, directly contributing to increased durability and reinforcing the importance of choosing appropriate surface treatments.

Keywords: concrete polishing; surface treatments; abrasion resistance; durability; surface properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas constituintes do pavimento rígido de concreto armado	35
Figura 2 – Taxa de retração da argamassa revestida com polímero, com diferentes espessuras (a) e vários tempos de revestimento (b).....	38
Figura 3 – Desgaste abrasivo superficial de concretos com cinza volante	43
Figura 4 – Perda de massa por abrasão superficial de concretos contendo 0, 50 e 100% de adição de palma em cura submersa ou em ar	48
Figura 5 - Influência da relação a/c e idade de cura úmida sobre a resistência do concreto	50
Figura 6 – Processo de desgaste abrasivo	57
Figura 7 – Desgaste superficial por abrasão em pisos de concreto	58
Figura 8 – Brilho médio em GU (tangencial)	60
Figura 9 – Exemplos visuais dos diferentes níveis de acabamento em pisos de concreto lapidado	61
Figura 10 – Exemplos de pisos de concreto lapidado submetidos a ensaios de manchamento com diferentes agentes (óxido de cromo verde, óleo de oliva e solução de iodo)	67
Figura 11 – Equipamento medidor de brilho TQC GL0030	72
Figura 12 – Escala de Dureza Mohs	76
Figura 13 – Perfis de superfície para avaliação da regularidade de pavimentos	79
Figura 14 – Planicidade (<i>Floor Flatness</i>).....	80
Figura 15 - Nivelamento (<i>Floor Levelness</i>)	80
Figura 16 - Leitor de <i>F-Numbers</i> (<i>Dipstick Floor Profiler</i>).....	81
Figura 17 - Estrutura cristalina de um único cristal de diamante	87
Figura 18 - Dureza de diversas ferramentas de diamantados.....	88
Figura 19 - Diamante HTC EZ H Synthetic.....	91
Figura 20 - Diamante HTC EZ H Synthetic.....	91
Figura 21 - Diamante HTC EZ M Series cBN.....	92
Figura 22 - Diamante Policristalino PCD	93
Figura 23 - Disco de polimento flexível “Pad”	94
Figura 24 - Discos resinados para polimento com granulometria #50mm a #3000mm.....	95
Figura 25 - Discos resinados para polimento	95

Figura 26 - Discos Flexíveis para Prato de Velcro de Rápida Fixação.....	96
Figura 27 – Politriz PG 690 Machine	98
Figura 28 - Politriz PG 830 RC	98
Figura 29 - Componentes da Politriz de Desbaste	99
Figura 30 – Fluxograma da pesquisa	101
Figura 31 – Variáveis controláveis programa experimental.....	106
Figura 32 – Placas de concreto sem tratamento, após 28 dias de cura e preparadas para receber os tratamentos superficiais	108
Figura 33 – Detalhamento e dimensões das fôrmas	109
Figura 34 – Estrutura das fôrmas finalizadas	110
Figura 35 – Fôrmas para moldagem	110
Figura 36 – Representação da divisão das placas de concreto conforme cada ensaio.....	122
Figura 37 - CPs moldados conforme NBR 5738	123
Figura 38 – Diagrama esquemático dos pontos de coleta de brilho – Método Aleatório	125
Figura 39 – Diagrama de pontos para medição da rugosidade superficial.....	126
Figura 40 – Demonstração do espaçamento necessário para efetuar os golpes....	128
Figura 41 - Diagrama de Pontos para análise de resistência ao risco por Mohs	131
Figura 42 – Classificação dos resultados do ensaio da resistência ao manchamento.....	135
Figura 43 – Perfil de rugosidade Ry	159
Figura 44 - Superfície REF	161
Figura 45 – Superfície #200	162
Figura 46 – Superfície #400	164
Figura 47 – Superfície #800	165
Figura 48 - Superfície #1500	166
Figura 49 – Superfície #3000	167

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência à abrasão em função da granulometria das lixas	145
Gráfico 2 - Índice de brilho médio em função da granulometria das lixas	152
Gráfico 3 – Comparação da rugosidade superficial (R_a e R_y) em função da granulometria	168
Gráfico 4 – Relação entre dureza superficial e resistência à abrasão em função da granulometria das lixas	177
Gráfico 5 - Desempenho global frente ao ataque químico e manchamento em função da granulometria de polimento	194
Gráfico 6 - Desempenho comparativo das propriedades por tratamento	198

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de pisos de concreto	31
Tabela 2 – Teores de cimento recomendados para pisos.....	41
Tabela 3 – Emprego e características exigidas dos tipos de cimento	45
Tabela 4 - Desgaste por abrasão e redução relativa em função do tempo de cura ..	47
Tabela 5 – Características de agregados graúdos utilizados em algumas pesquisas sobre abrasão superficial	51
Tabela 6 – Fases do desgaste por abrasão	58
Tabela 7 - Nomenclatura dos materiais diamantados	88
Tabela 8 - Propriedades mecânicas do diamante	89
Tabela 9 – Número de corpos de prova por ensaio	103
Tabela 10 – Carta traço Concresul.....	107
Tabela 11 – Ferramentas abrasivas diamantadas de diferentes granulometrias	111
Tabela 12 – Lixas para polimento abrasivo de diferentes granulometrias.....	112
Tabela 13 – Limites de composição do cimento Portland CP II-F (porcentagem de massa)	113
Tabela 14 – Requisitos físicos e mecânicos.....	114
Tabela 15 - Caracterização física do agregado miúdo areia de britagem	115
Tabela 16 - Caracterização física do agregado graúdo B0	116
Tabela 17 - Caracterização física do agregado graúdo B1	116
Tabela 18 – Propriedades físicas e mecânicas do endurecedor de superfície	117
Tabela 19 – Propriedades físicas e mecânicas do selador de superfície	119
Tabela 20 - Análise dos CPs utilizados para avaliação no Smartzoom 5.....	127
Tabela 21 – Número de corpos de prova	131
Tabela 22 - Resultados de resistência à compressão.....	138
Tabela 23 - Resultados da resistência à abrasão média.....	139
Tabela 24 - Análise de variância (ANOVA) – Resistência à abrasão	140
Tabela 25 - Resultados médios - medição de brilho	147
Tabela 26 – Análise de variância (ANOVA) – teor de brilho.....	148
Tabela 27 – Resultados da rugosidade média (Ra) – valores médios	154
Tabela 28 - Resultados da rugosidade máxima (Ry ou Rt) – valores médios	155
Tabela 29 - Análise de Variância (ANOVA) – Rugosidade superficial média (Ra) ..	155

Tabela 30 - Análise de Variância (ANOVA) – Rugosidade superficial máxima (Ry ou Rt)	155
Tabela 31 - Identificação dos CPs analisados.....	160
Tabela 32 – Resultados da rugosidade (Ry) média através <i>SmartZoom 5</i>	160
Tabela 33 – Análise de Variância (ANOVA) – Rugosidade superficial Ry	160
Tabela 34 - Resultados da dureza superficial média por esclerometria	169
Tabela 35 - Análise de variância (ANOVA) – Esclerometria	170
Tabela 36 – Resultados da resistência ao risco, conforme escala de Mohs	174
Tabela 37 – Resultados obtidos em cada tratamento para cloreto de amônio – 100g/L – Produto químico doméstico	178
Tabela 38 - Resultados obtidos em cada tratamento para solução hipoclorito de sódio – 20 mg/L – Sais de piscina.....	179
Tabela 39 - Resultados obtidos em cada tratamento para solução de hidróxido de potássio – 30 mg/L – Ácidos e álcalis de baixa concentração	179
Tabela 40 – Comparação dos resultados do ensaio de resistência ao ataque químico dos tratamentos para concreto lapidado	180
Tabela 41 – Produtos avaliados pela metodologia de ensaio de resistência ao manchamento pela Norma NBR ISO 10545-14	186
Tabela 42 – Resumo da metodologia aplicada para obtenção dos resultados de resistência ao manchamento, de acordo com NBR ISO 10545-14	187
Tabela 43 – Classificação da resistência ao manchamento de diferentes tipologias de concreto lapidado	187
Tabela 44 – Resumo comparativo dos resultados obtidos das propriedades analisadas, frente aos tratamentos superficiais.....	196

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do coeficiente de correção do índice esclerométrico.....	128
Equação 2 – Cálculo do índice esclerométrico efetivo.....	129

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ANAPRE	Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BGS	Brita Graduada Simples
CCR	Concreto Compactado Rolo
CP	Corpo de Prova
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LACER	Laboratório de Cerâmica
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
NM	<i>Asociación Mercosur de Normalización</i>
NORIE	Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
RS	Rio Grande do Sul
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

%	Porcentagem
<	Menor que
>	Maior que
(1:m)	Quantidade de cimento:agregado, em massa
°C	Grau Celsius
3D	Terceira Dimensão
α	Teor de argamassa
γ	Grau de hidratação do concreto
μ	Micro (10^{-6})
μm	Micrômetro (10^{-6} metros)
a/agl	Relação água/aglomerante
a/c	Relação a/c
Al_2O_3	Óxido de alumínio
C_2S	Silicato dicálcico
C_3A	Aluminato tricálcico
C_3S	Silicato tricálcico
C_4AF	Ferro aluminato tetracálcico
Ca(OH)_2	Hidróxido de cálcio (cal hidratada)
CaCO_3	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
CAR	Concreto de Alta Resistência
cBN	Nitreto de boro cúbico
CeO_2	Óxido de cério
CH	Hidróxido de cálcio
cm	Centímetro
cm^2/g	Centímetro quadrado por grama
cm^3/g	Centímetro cúbico por grama
CoD	Center of Disc
CoH	Center of Head
CoT	Center of Tool
CP II	Cimento Portland Composto
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CP V-ARI RS	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos
CP's	Corpos de Prova
cps	Centipoises
Cr_2O_3	Óxido de cromo
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
CV	Coeficiente de variação (%)
CVD	Chemical Vapor Deposition
DLC	Diamond-Like Carbon

f(calc)	Valor calculado de F
fck	Resistência característica à compressão (MPa)
fctm,k	Resistência característica média à tração na flexão (MPa)
Fe₂O₃	Óxido de ferro (III) (óxido férrico)
FF	Floor Flatness
FL	Floor Levelness
g	Grama
g/cm³	Grama por centímetro cúbico
g/L	Gramas por litro
g/m³	Grama por metro cúbico
GDL	Graus de Liberdade
GPa	Gigapascals
GU	Gloss unit
H	Teor de umidade (%)
h	Hora
h:min	Hora:minuto
hBN	Nitreto de boro hexagonal
h/d	Altura do corpo de prova/Diâmetro do corpo de prova
HPHT	High pressure, high temperature
IE	Índice Esclerométrico
lv/C	Razão índice de vazios/volume de cimento
K	Coeficiente de correção
K₂O	Óxido de potássio
kg	Quilograma
kg/m²	Quilograma por metro quadrado
kg/m³	Quilograma por metro cúbico
KOH	Hidróxido de Potássio
l/m³	Litro por metro cúbico
Lm	Comprimento de Medição
m	Metro
m²/kg	Metro quadrado por quilograma
mg/	Miligramas por litro
MgO	Óxido de magnésio
milhões de fibras/kg	Milhões de fibras por quilograma
min	Minuto
MLV	Minimum Local Value
mm	Milímetro
mm³	Milímetro cúbico
MnO	Óxido de manganês
MPa	Mega Pascal
MRR	Material Removal Rate
MQ	Média Quadrática
N	Newton
Na₂O	Óxido de sódio

nm	Nanômetro
NRL	Látex da borracha natural
p	Nível de significância
P₂O₅	Pentóxido de difósforo
pcBN	Policristalino Nitreto Cúbico de Boro
PCD	Diamante policristalino
pH	Potencial hidrogeniônico
PP	Polipropileno
R²	Coeficiente de determinação
Ra	Rugosidade média
REF	Placas de referência
rpm	Rotações por minuto
Rt	Total Height of the Roughness Profile
Ry	Maximum Height of the Profile
Rz	Rugosidade média da crista
s	Segundo
S	Valor significativo
SiO₂	Óxido de silício (dióxido de silício)
SO₃	Trióxido de enxofre
SOV	Specified Overall Value
SrO	Óxido de estrôncio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
1.1	TEMA.....	25
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	26
1.3	PROBLEMA.....	26
1.4	OBJETIVOS.....	28
1.4.1	Objetivo geral.....	28
1.4.2	Objetivos específicos	28
1.5	JUSTIFICATIVA.....	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1	PISOS DE CONCRETO E CAMADAS DO PAVIMENTO	31
2.2	SUBSTRATO.....	36
2.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS	39
2.3.1	Resistência à abrasão	54
2.3.1.1	Desgaste superficial por abrasão em concretos	56
2.3.1.2	Fases do desgaste superficial por abrasão.....	57
2.3.2	Dureza Superficial.....	59
2.4	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	60
2.4.1	Brilho.....	60
2.4.2	Rugosidade	62
2.4.3	Porosidade	63
2.5	PROPRIEDADES QUÍMICAS.....	64
2.5.1	Resistência ataque químico	64
2.5.2	Resistência ao manchamento.....	66
2.6	MÉTODOS DE MEDIÇÃO E ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DO CONCRETO	68
2.6.1	Ensaio de compressão de corpos de prova	68
2.6.2	Ensaio para resistência à abrasão de pisos	70
2.6.3	Medição de Brilho Glossmater	72
2.6.4	Medição de rugosidade superficial – Rugosímetro e <i>Smartzoom</i>	73
2.6.5	Ensaio de Dureza Superficial por Escleometria	75
2.6.6	Resistência ao risco - Avaliação da dureza superficial pela escala de Mohs	75

2.6.7	Ensaio de resistência ao ataque químico	76
2.6.8	Ensaio de resistência ao manchar	77
2.6.9	Avaliação da planicidade	78
2.7	IMPORTÂNCIA DOS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS NA PROTEÇÃO E MELHORIA DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	81
2.7.1	Tipos de tratamentos superficiais	82
2.7.1.1	GM 3000	83
2.7.1.2	Endurecedores de superfície	84
2.7.1.3	Selador.....	85
2.8	MATERIAIS ABRASIVOS DIAMANTADOS.....	86
2.9	MATERIAIS RESINADOS (DISCOS DIAMANTADOS FLEXÍVEIS)	93
2.10	MAQUINÁRIOS E EQUIPAMENTOS PARA POLIMENTO ABRASIVO ...	97
2.10.1	Politrizes do fabricante Husqvarna	97
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	101
3.1	MATRIZ DO PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	102
3.1.1	Fatores de Avaliação – Respostas	104
3.1.2	Fatores Controláveis	105
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	106
3.2.1	Dosagem experimental para as placas de concreto	106
3.2.2	Fôrmas de madeira para as placas de concreto	108
3.2.3	Diamantes abrasivos de granulometria de #50 e #120	110
3.2.4	Lixas de polimento com granulometria entre #50 a #3000.....	111
3.2.5	Cimento.....	113
3.2.6	Agregados	114
3.2.6.1	Agregado miúdo.....	114
3.2.6.2	Agregado graúdo	115
3.2.7	Endurecedor de superfície à base de silicato de sódio.....	117
3.2.8	Selador à base de água	118
3.2.9	Injetor de argamassa à base de látex – Polímero Elastomérico natural ou Sintético – GM 3000	119
3.3	PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS.....	120
3.3.1	Ensaio de compressão	122
3.3.2	Ensaio para resistência à abrasão em pisos	123
3.3.3	Avaliação do brilho – <i>Glossmeter</i> CS 380-SE	124

3.3.4	Avaliação da rugosidade superficial.....	125
3.3.4.1	Rugosímetro – Starrett SR 200.....	125
3.3.4.2	Smartzoom5 - Zeiss.....	126
3.3.5	Ensaio de dureza superficial.....	127
3.3.5.1	Esclerometria.....	127
3.3.5.2	Avaliação da resistência ao risco – Escala da Mohs	130
3.3.6	Ensaio de resistência ao ataque químico	131
3.3.7	Ensaio de resistência ao manchamento	133
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	137
4.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	137
4.2	RESISTÊNCIA À ABRASÃO	138
4.2.1	Amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2.....	141
4.2.2	INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO SEMI-FOSCO, COM ACABAMENTO DA LIXA DE #200 – PLACAS 3 E 4	142
4.2.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6.....	142
4.2.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	143
4.2.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	144
4.2.6	Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12.....	144
4.3	MEDIÇÃO DO BRILHO – <i>GLOSSMETER</i>	146
4.3.1	Amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2.....	148
4.3.2	Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	149
4.3.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6.....	149
4.3.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	150
4.3.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	151
4.3.6	Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12.....	151

4.4	RUGOSIDADE SUPERFICIAL	153
4.4.1	Rugosímetro – <i>Starrett</i> SR 200	153
4.4.1.1	Influência das Amostras Sem Tratamento – Placas de Referência 1 e 2	156
4.4.1.2	Influência do Tratamento Semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	156
4.4.1.3	Influência do Tratamento Fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6.....	157
4.4.1.4	Influência do Tratamento Semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	157
4.4.1.5	Influência do Tratamento Brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	158
4.4.1.6	Influência do Tratamento Alto Brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12.....	158
4.4.2	<i>Smartzoom 5 – Zeiss</i>	159
4.4.2.1	Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2	161
4.4.2.2	Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	162
4.4.2.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6	163
4.4.2.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	164
4.4.2.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	165
4.4.2.6	Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12.....	166
4.5	DUREZA SUPERFICIAL.....	168
4.5.1	Esclerometria	169
4.5.1.1	Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2	170
4.5.1.2	Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	171
4.5.1.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6.....	171
4.5.1.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	172

4.5.1.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	172
4.5.1.6	Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12.....	173
4.5.2	Avaliação da resistência ao risco – Mohs	173
4.5.2.1	Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2 ..	174
4.5.2.2	Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	175
4.5.2.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6.....	175
4.5.2.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	176
4.5.2.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	176
4.5.2.6	Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12.....	176
4.6	RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO.....	178
4.6.1	Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2.....	180
4.6.2	Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	181
4.6.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6.....	182
4.6.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8.....	182
4.6.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10.....	183
4.6.6	Influência do tratamento alto brilho, com 4.7.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12....	184
4.7	RESISTÊNCIA AO MANCHAMENTO.....	185
4.7.5	Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2.....	188
4.7.2	Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4.....	189

4.7.3	Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6	190
4.7.4	Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8	191
4.7.5	Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10	192
4.7.6	Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12	193
4.8	CORRELAÇÃO DAS PROPRIEDADES ANALISADAS FRENTE AOS DIFERENTES TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	195
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	200
5.1	CONCLUSÕES	201
5.2	COMENTÁRIOS FINAIS	202
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	203
	REFERÊNCIAS	204
	ANEXOS	216
	ANEXO A - TCON/193-24.....	216
	ANEXO B – ANÁLISE DE AGREGADOS - 014-2024.....	217
	ANEXO C - RESULTADOS COMPLETOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	218
	ANEXO D – DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO (ANEXO C DA NBR 9781:2013)	220

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de construção amplamente utilizado, conhecido por suas excelentes propriedades mecânicas e alta durabilidade. No entanto, sua longevidade pode ser comprometida devido a uma especificação inadequada, execução deficiente ou baixa qualidade dos materiais utilizados. Esses problemas são frequentemente observados em estruturas de pisos de concreto em ambientes industriais, sujeitos à abrasão intensa causada pelo tráfego de pessoas, veículos ou maquinário. Essa abrasão pode resultar em danos como erosão superficial, além dos impactos gerados pela carga sobre a estrutura do piso (Ridtirud; Chindaprasirt, 2019).

Conforme destacado por Silva *et al.* (2019), a dureza da superfície e a resistência mecânica são propriedades essenciais para a qualidade e a durabilidade dos pisos de concreto. No entanto, essas características podem ser comprometidas por problemas no projeto, na execução e na proporção inadequada da mistura do concreto. Essas deficiências podem resultar em manifestações patológicas, como o desgaste precoce da superfície.

O desbaste e o polimento abrasivo de pisos de concreto, aliados ao uso de aditivos específicos, representam uma técnica avançada que oferece benefícios tanto estéticos quanto funcionais para esses sistemas. Por meio desse processo, é possível obter superfícies altamente lisas e brilhantes, que não apenas melhoram a aparência do piso, mas também aumentam sua resistência ao desgaste e à abrasão (Silva *et al.*, 2019).

A aplicação de aditivos seladores que penetram na superfície do concreto, preenchendo poros e fissuras, resultam em uma estrutura mais densa e menos suscetível à absorção de líquidos e à formação de manchas. Essa combinação de técnicas melhora significativamente a manutenção do piso, reduzindo a necessidade de limpezas frequentes e do uso de produtos químicos agressivos. Além disso, pisos polidos tratados com aditivos adequados contribuem para a sustentabilidade dos ambientes, pois refletem a luz, reduzindo a necessidade de iluminação artificial (Chodounsky; Vieceili, 2007).

O uso do concreto em acabamentos para construções residenciais de médio e alto padrão, bem como em edifícios comerciais, aeroportos e outros

empreendimentos, tem crescido consideravelmente em diversos países. Esse aumento se deve aos inúmeros benefícios do concreto, como seu baixo custo, resistência ao fogo, facilidade de moldagem para obtenção da forma desejada e sustentabilidade, tanto pela sua durabilidade quanto pelos métodos de produção empregados. A eliminação do revestimento convencional, como pedras de mármore e granito, proporciona vantagens ambientais, evitando a extração de rochas ornamentais e a geração de resíduos perigosos associados a outros materiais (Lüsis, 2011).

Assim, foi avaliada a tendência de desgaste superficial devido à abrasão causada pelo desbaste e pelo polimento abrasivo em concretos, investigando seus impactos nos parâmetros e propriedades físicas, mecânicas e químicas, tais como resistência à abrasão, dureza, rugosidade, brilho, resistência a ataques químicos e resistência ao manchamento, considerando diferentes tratamentos superficiais propostos.

1.1 Tema

O desbaste e o polimento abrasivo de pisos de concreto têm ganhado cada vez mais destaque na construção civil por aliarem estética e funcionalidade em um único acabamento. Essa técnica não apenas valoriza a aparência natural do concreto, conferindo-lhe um brilho uniforme, mas também aumenta expressivamente sua durabilidade e resistência ao desgaste e às manchas. Devido a essa combinação de benefícios, o polimento abrasivo de concreto se apresenta como uma solução vantajosa para diversos ambientes internos.

A constante evolução dessa prática impulsiona a busca por métodos e materiais que maximizem tanto a eficiência econômica quanto a longevidade das superfícies tratadas. O processo de polimento envolve múltiplas etapas, iniciando-se com um corte inicial para nivelamento da superfície e avançando para fases progressivas de abrasão até alcançar o acabamento desejado. A escolha adequada das ferramentas com diamantes abrasivos e a definição da sequência de sua aplicação são determinantes para o sucesso do procedimento, influenciando diretamente o custo, o tempo de execução e a qualidade do resultado.

Além disso, aditivos e tratamentos químicos desempenham um papel essencial no processo, não apenas protegendo a superfície contra danos e infiltração de líquidos, mas também contribuindo para o aumento da resistência mecânica do concreto. Esses produtos interagem com a pasta cimentícia, reduzindo a porosidade e tornando o piso mais denso e resistente à abrasão e ao desgaste.

À medida que se aprimoram as técnicas de polimento abrasivo, torna-se essencial explorar novas tecnologias e métodos para avaliar sua viabilidade econômica e aplicabilidade em diferentes edificações. O aperfeiçoamento dessas práticas não só eleva a qualidade e a durabilidade das construções, mas também impulsiona padrões mais sustentáveis e eficientes no setor. Em última instância, a contínua evolução desse processo reflete o compromisso da construção civil com inovação e excelência.

1.2 Delimitação do tema

O estudo foi voltado para a criação e execução de amostras de pisos de concreto, com o objetivo de obter acabamentos de alta qualidade e durabilidade. Foram apresentadas diferentes opções de tratamento para aplicação em superfícies de concreto.

O concreto com fck de 31,3 MPa para idade de 28 dias, o desbaste abrasivo com material diamantado, o selador, as máquinas e os equipamentos foram mantidos constantes, enquanto os tipos de polimento abrasivo, utilizando material resinado, foram variados. Essa abordagem permitiu comparar diferentes tipos de acabamento e avaliar suas propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade.

Os materiais diamantados e resinados foram empregados para refinar a superfície do concreto, proporcionando um acabamento mais liso e brilhante. Dessa forma, foi possível analisar o impacto dos diferentes acabamentos nos pisos de concreto, considerando aspectos como resistência à abrasão, brilho, rugosidade superficial, dureza, resistência a agentes químicos e manchamento.

1.3 Problema

No contexto dos avanços na tecnologia de desbaste e retificação, o principal objetivo é desenvolver acabamentos estéticos, duráveis e com propriedades físicas e mecânicas adequadas, o que também contribui para a eficiência das máquinas e

equipamentos utilizados no desbaste e polimento abrasivo. Nesse sentido, busca-se estabelecer um padrão uniforme para o desbaste de superfícies, levando em consideração o conhecimento disponível sobre o desempenho das máquinas e equipamentos empregados no corte e polimento abrasivo de pisos de concreto (Srikantha, 2023).

Segundo Lūsis (2011), além dos modelos de equipamentos utilizados, algumas condições devem ser observadas para garantir a qualidade dos acabamentos e tratamentos em pisos de concreto, como a resistência à compressão do material, que deve ser de, no mínimo, 25 MPa. O autor também destaca que a definição do piso de concreto se baseia em suas características físicas e mecânicas, uma vez que essas superfícies devem suportar diversas forças externas. Os pisos são submetidos a cargas mecânicas diretas e combinadas, resultantes tanto de fundações e grandes concentrações de pessoas, quanto de cargas químicas, como na indústria alimentícia, em que ácidos orgânicos podem atingir o piso. Além disso, fatores térmicos, como exposição a água quente e vapor, também podem comprometer sua integridade.

A motivação para o estudo dos métodos de acabamento e tratamento de superfícies de pisos internos de concreto surge da necessidade de resolver desafios relacionados à durabilidade, estética e segurança dessas superfícies. Na construção civil e no design arquitetônico, pisos de concreto internos são amplamente utilizados devido à sua robustez e versatilidade. No entanto, sem o tratamento adequado, essas superfícies podem apresentar problemas como poeira superficial, alta porosidade — que facilita a absorção de líquidos e manchas — e resistência insuficiente ao desgaste mecânico e químico. Esses fatores comprometem tanto a funcionalidade quanto a aparência do piso ao longo do tempo.

Este estudo buscou oferecer soluções para esses desafios por meio da aplicação de materiais diamantados e resinados, a fim de avaliar suas propriedades mecânicas e físicas. Ao aprimorar a resistência à abrasão, a dureza superficial e a resistência ao ataque químico e ao manchamento, pretende-se prolongar a vida útil dos pisos de concreto, além de melhorar sua estética e funcionalidade.

Portanto, este trabalho não apenas propõe o aprimoramento das características físicas e mecânicas dos pisos de concreto por meio de tratamentos,

mas também busca compreender a melhor forma de preparar essas superfícies para receber tais intervenções. Dessa maneira, pretende-se estabelecer práticas mais eficientes e economicamente viáveis para a indústria da construção civil, elevando a qualidade e a durabilidade das edificações e, conseqüentemente, proporcionando maior segurança e satisfação aos usuários finais.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O estudo teve como objetivo geral analisar as propriedades físicas, mecânicas e químicas de pisos de concreto, com resistência à compressão de 31,3 MPa para a idade de 28 dias, submetidos a tratamentos superficiais com abrasivos diamantados e lixas de polimento para ambientes corporativos, comerciais e residenciais.

1.4.2 Objetivos específicos

Essa dissertação teve como objetivos específicos:

1. Avaliar o impacto dos diferentes tratamentos superficiais no brilho e na rugosidade de pisos de concreto;
2. Determinar a influência dos tratamentos na resistência à abrasão e na dureza superficial do concreto;
3. Investigar a durabilidade dos tratamentos aplicados, com ênfase na resistência ao ataque químico e ao manchamento;
4. Classificar os acabamentos resultantes dos tratamentos em cinco níveis, de acordo com a gramatura das lixas utilizadas (#200 – semi-fosco; #400 – fosco; #800 – semi-brilho; #1500 – brilhoso; #3000 – alto brilho), considerando os aspectos de resistência à abrasão, teor de brilho, rugosidade superficial, dureza, ataque químico e manchamento.

1.5 Justificativa

Ao longo do século XV, os processos de corte, lapidação de abrasivo de rochas naturais eram realizados manualmente. A introdução de máquinas de desbaste ocorreu a partir de 1850, ainda de forma semiautomatizada, exigindo um

esforço humano considerável. Com o aumento da demanda por peças de maior precisão, especialmente a partir de 1900, foram desenvolvidas máquinas de múltiplos eixos para aprimorar os processos de desbaste e polimento abrasivo (Yang *et al.*, 2020).

A incorporação de resinas e aditivos na construção de pisos de concreto representou um avanço significativo para a indústria da construção civil, proporcionando soluções inovadoras que melhoram tanto a estética quanto a funcionalidade dessas superfícies. Esses tratamentos desempenham um papel essencial na otimização das propriedades do concreto, aumentando sua resistência mecânica, durabilidade e proteção contra a penetração de líquidos e manchas. Além disso, a aplicação de resinas e aditivos possibilita a obtenção de acabamentos mais uniformes e brilhantes, além de conferir maior resistência ao desgaste e à abrasão. Do ponto de vista econômico, esses materiais também reduzem os custos de manutenção, uma vez que as superfícies tratadas demandam menos reparos e retoques ao longo do tempo (Yang *et al.*, 2020).

Os tratamentos com resinas no polimento abrasivo de pisos de concreto permitem uma ampla personalização dos acabamentos, oferecendo diversas opções estéticas para atender a diferentes ambientes e preferências. Essa abordagem inovadora demonstra o compromisso do setor em buscar soluções que aliem eficiência técnica e apelo visual, contribuindo para práticas construtivas mais sustentáveis e alinhadas às demandas contemporâneas (Shen *et al.*, 2022).

Nesse contexto, importante mencionar que há uma grande variedade de opções para o acabamento de pisos. Dentre elas, o desbaste e o polimento abrasivo em superfícies de concreto se destacam por características como maior resistência à abrasão, proteção contra substâncias químicas, facilidade de limpeza, isolamento contra poeira e impurezas, além da valorização estética e da diversidade de acabamentos disponíveis (Lüsis, 2011).

Shen *et al.* (2022) afirmam que o concreto é amplamente utilizado em construções, tanto para fins estruturais quanto decorativos. Para melhorar sua estética e valor de mercado, é comum buscar uma superfície lisa por meio do desbaste e do polimento abrasivo. Esse processo envolve o uso de equipamentos

específicos para transformar uma superfície áspera em uma superfície lisa, exigindo pelo menos quatro etapas de desbaste abrasivo e duas de polimento abrasivo.

Com base nessas considerações, a presente pesquisa teve o potencial de contribuir para a disseminação de técnicas adequadas ao tratamento de pisos de concreto. Ao investigar e comparar diferentes tipos de tratamentos e acabamentos, este estudo buscou estabelecer parâmetros claros e eficazes que possam orientar profissionais da construção civil na escolha das melhores práticas para cada aplicação específica. Com foco nas propriedades físicas, mecânicas, químicas, estéticas e de durabilidade dos pisos tratados, a pesquisa forneceu uma base técnica sólida que pode ser aplicada para aprimorar a qualidade, a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas de revestimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pisos de concreto e camadas do pavimento

Conforme a ACI COMMITTEE 302.1R-15 (2015), os pisos de concreto são classificados com base na sua aplicação e uso, além de serem consideradas diretrizes importantes e sugeridas técnicas de acabamento para cada categoria. A classificação dos pisos de concreto leva em conta fatores como a finalidade da utilização, o aspecto estético desejado, o tipo de tráfego e o acabamento ou tratamento superficial requerido. Para essa categorização, existem nove classes de pisos, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de pisos de concreto

Classe	Tipo de Tráfego Previsto	Uso	Considerações Especiais	Técnicas de Acabamento
1. Exposto	Superfície exposta – tráfego de pedestres.	Prédios comerciais, escritórios, igrejas, múltiplas residências.	Acabamento uniforme, uso de agregados antiderrapantes em áreas específicas, cura.	Normal, com pá metálica; antiderrapante onde necessário.
		Decorativo.	Agregado mineral colorido, pigmento colorido ou agregado exposto. Exige tratamento superficial e manutenção.	Conforme requerido.
2. Coberto	Superfície revestida – tráfego de pedestres.	Prédios comerciais, igrejas, múltiplas residências; uso com revestimento de piso.	Placa plana e nivelada compatível com aplicação do revestimento, cura, disposição de juntas.	Leve acabamento com pá metálica.
3. Capa aderida	Superfície exposta ou revestida – tráfego de pedestres.	Capa (não) aderida sobre a placa base para construções com exigência de alta resistência, conforme o tipo	- Placa base uniforme, plana e curada.	- Placa base: acabamento sobre face base (limpeza, superfície texturizada sobre a base).

		de construção e cronograma.	- Capa não aderida sobre placa base com espessura mínima de 75 mm. - Capa aderida com espessura mínima de 19 mm.	- Capa: acabamento conforme especificação do uso, podendo ser normal ou com pá metálica.
4. Institucional/ Comercial	Superfície exposta ou coberta – tráfego de pedestres e/ou veículos leves.	Uso institucional ou comercial.	Placa plana e nivelada compatível com aplicação do revestimento, agregados antiderrapantes em áreas específicas, cura, disposição de juntas e escolha do revestimento adequado.	Normal, com pá metálica.
5. Industrial	Superfície exposta – tráfego de veículos industriais (rodas pneumáticas, levemente rígidas).	Pisos industriais para produção, processamento, estocagem.	Boa uniformidade de sub-base, disposição de juntas, transferência de carga, resistência à abrasão e cura.	Intenso acabamento com pá metálica.
6. Indústria Pesada	Superfície exposta – tráfego de veículos industriais pesados (rodas rígidas, com intenso carregamento sobre rodas).	Pisos industriais sujeitos a tráfego pesado e impactos.	Boa uniformidade de sub-base, disposição de juntas, transferência de carga, resistência à abrasão e cura.	Endurecedor superficial à base de agregados minerais ou metálicos, acabamento intenso com pá metálica.
7. Cobertura Industrial Pesada	Superfície exposta – tráfego de veículos industriais pesados (rodas rígidas, com intenso carregamento sobre rodas).	Camada dupla de piso aderido sujeita a tráfego pesado e impacto.	- Placa base uniforme, reforço, regularização e disposição de juntas. - Superfície nivelada e acabamento contínuo. - Espessura de camada superior e acabamento compatíveis com alta resistência.	- Limpeza, leve textura da superfície da placa base. - Desempeno para regularização da capa. - Acabamento com pá metálica.

8. Comercial/ Industrial Capa Aderida	Capa (não) aderida – pisos novos ou pisos onde um sistema construtivo ou prazos exigem.	Idem às classes 4, 5 e 6.	Isolamento sobre a sub-base, espessura mínima de 100 mm, resistência à abrasão e cura.	Idem às classes 4, 5 e 6.
9. Perfil de Serviço Crítico	Superfície exposta – tráfego de veículos com altos padrões de planicidade (FF e FL).	Corredores estreitos, armazéns automatizados, televisão, riques de gelo, ginásios. (Norma ACI 360R).	- Especificações de qualidade do concreto rígidas. - Endurecedores não aderidos devem ser aplicados. - FF 50 e FL 25 para pisos submetidos a solicitações elevadas.	Seguir rigorosamente as técnicas de acabamento descritas na norma aplicável.

Fonte: ACI COMMITTEE 302.1R (2015, p.05).

É importante ressaltar que a resistência ao impacto e ao desgaste deve ser considerada, pois não há critérios padronizados para avaliar a resistência ao desgaste dos pisos de concreto. Isso impossibilita a medição direta da qualidade do concreto com base em sua capacidade de resistir ao desgaste superficial (ACI COMMITTEE 302.1 R-15, 2015).

A ACI COMMITTEE 302.1R-15 (2015) também destaca que a resistência ao desgaste está relacionada a diversos fatores, incluindo a composição do concreto, os tipos de agregados empregados, a resistência à compressão, o processo de cura, as técnicas de execução e o acabamento aplicado.

De acordo com Farny (2001 *apud* Silva, 2011), independentemente da classificação do piso de concreto, algumas propriedades são fundamentais, tais como durabilidade, resistência química, resistência ao impacto, dureza e resistência à abrasão. No contexto das estruturas de pisos de concreto, sua qualidade está diretamente associada à presença de uma superfície durável e resistente, isenta de fissuras, com boa planicidade e textura superficial adequada ao uso futuro (ACI COMMITTEE 302, 2015).

Segundo Chodounsky e Viecili (2007), o piso de concreto é uma estrutura essencial, mas frequentemente problemática e vulnerável. Por essa razão, seu

desempenho deve ser monitorado, pois sua importância se reflete em diversas aplicações. Viecili (2004) e Chodounsky e Viecili (2007) afirmam que o piso de concreto pode ser uma estrutura simples ou complexa, dependendo dos objetivos e requisitos a serem atendidos. Para garantir um desempenho adequado, algumas de suas principais funções incluem:

1. Resistir a esforços mecânicos, como flexão, compressão, impacto e abrasão, bem como a ataques químicos ou biológicos (ácidos, bases, sulfatos, bactérias, entre outros);
2. Absorver e distribuir ao subleito os esforços verticais gerados pelas cargas aplicadas;
3. Proporcionar um rolamento adequado, garantindo conforto e segurança para cargas móveis, com textura superficial apropriada ao uso futuro.

Ainda segundo Chodounsky e Viecili (2007) e Viecili (2004), a superfície do piso de concreto deve garantir o escoamento adequado de líquidos, facilitar a movimentação de equipamentos e cargas, permitir uma limpeza eficiente e apresentar resistência à abrasão e durabilidade, atendendo às necessidades dos usuários. Fatores como a dosagem dos materiais, a qualidade da concretagem e a correta execução das juntas são determinantes para o desempenho dessa camada superficial. As etapas de acabamento e execução das juntas de dilatação são consideradas críticas, pois influenciam diretamente a qualidade final do substrato.

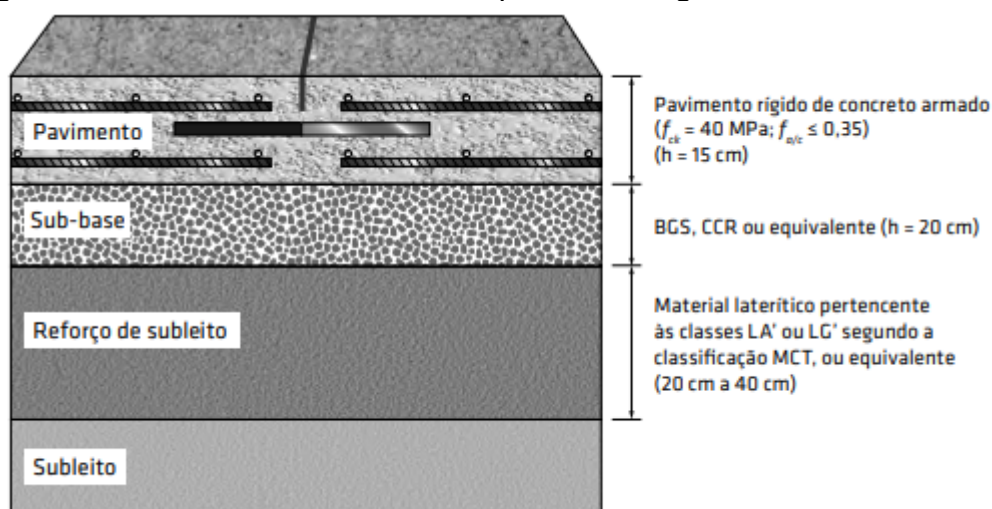
Viecili (2004) destaca que falhas nessas etapas podem resultar no desenvolvimento de fissuras, baixa resistência à abrasão, escamação e deformações geométricas, como o empenamento da placa de concreto. Assim, a qualidade da superfície do piso depende de diversos fatores, incluindo temperatura e umidade do ambiente, tipo e consumo de cimento, uso de aditivos químicos, proporção de água na mistura e variações no processo de execução, os quais podem afetar o desempenho final do piso de concreto.

Estudos de Tarr e Farny (2008 *apud* Silva, 2011), bem como as diretrizes do ACI COMMITTEE 302 (2015), indicam que as principais manifestações patológicas em pisos de concreto incluem fissuras, desgaste superficial por abrasão, empenamento, enrijecimento prematuro da superfície, delaminação, esborcinamento das juntas de dilatação e descoloração. Os autores ressaltam que a cura inadequada ou insuficiente do concreto é a causa mais comum desses problemas.

Segundo Xerez Neto (2022), os pavimentos são classificados em duas categorias: rígidos e flexíveis. Na família dos pavimentos flexíveis, incluem-se os pisos intertravados e os constituídos de asfalto. Já na categoria dos pavimentos rígidos, estão os de concreto simples e os de concreto armado. Os pavimentos rígidos de concreto armado atuam simultaneamente como camadas de revestimento e base. O autor recomenda a adoção de camadas específicas para o pavimento, conforme ilustrado na Figura 1:

1. Camada de revestimento de concreto armado;
2. Camada de sub-base com espessura máxima de 20 cm;
3. Camada de reforço do subleito, com espessura variável entre 20 cm e 40 cm, em média;
4. Camada de subleito.

Figura 1 – Camadas constituintes do pavimento rígido de concreto armado



Fonte: Xerez Neto (2022, p.76).

Segundo Xerez Neto (2022), caso o subleito apresente condições adequadas de suporte, a camada de reforço pode ser suprimida, restando apenas as seguintes camadas: revestimento, sub-base e subleito. Diferentemente dos pavimentos flexíveis, os pavimentos rígidos possuem excelente capacidade de suporte diante de cargas elevadas, o que reduz a necessidade de múltiplas camadas inferiores de sustentação.

O autor também destaca que, no caso dos pavimentos rígidos, a espessura da sub-base pode ser reduzida para valores entre 10 cm e 15 cm, desde que se utilizem materiais com alto módulo de resiliência, como o concreto compactado a rolo (CCR), que apresenta desempenho superior quando comparado à brita graduada simples (BGS).

Ainda de acordo com Xerez Neto (2022), mesmo que o revestimento apresente deterioração significativa, com deformações verticais, trincas, fissuras ou desagregações, pode-se encontrar uma camada de sub-base ou base em condições aceitáveis, permanecendo estável ao longo do tempo sem apresentar deformações excessivas. Com relação à camada de revestimento, o autor especifica o uso de um concreto de resistência à compressão entre 21 Mpa e com uma relação água/cimento (a/c) variando entre 0,35 e 0,45, sendo o limite máximo de 0,45 a 0,50. Isso se deve ao fato de que, para o revestimento de concreto, são essenciais propriedades como alta resistência à abrasão, elevada resistência mecânica e baixa porosidade.

2.2 Substrato

Para Pan *et al.* (2017), o efeito do tratamento de superfície é influenciado pelo teor de água e pela idade do substrato de concreto. Os principais métodos de tratamento incluem pulverização, desbaste e imersão, além da variação na quantidade de agente de tratamento aplicado. Os autores apontam que a eficácia do tratamento do substrato é maior em concretos mais porosos, pois os agentes conseguem penetrar com mais facilidade e profundidade. No entanto, a presença de água capilar pode dificultar essa penetração, uma vez que a água retida na superfície, devido à tensão superficial e ao fenômeno da capilaridade, impede a absorção dos agentes de tratamento.

Além disso, os autores destacam que a rugosidade da superfície do substrato pode afetar a adesão do revestimento aplicado, mas seu efeito é de difícil determinação. Isso ocorre porque a rugosidade é difícil de controlar sem alterar a porosidade do substrato, tornando sua influência no desempenho do concreto um fator complexo de avaliar.

Pan *et al.* (2017) ressaltam que os tratamentos de superfície podem prevenir a penetração de substâncias agressivas, aumentando a durabilidade das estruturas

de concreto. Segundo os autores, os agentes de tratamento podem ser classificados em quatro categorias principais:

1. Revestimento de superfície;
2. Impregnação hidrofóbica;
3. Tratamento de bloqueio de poros;
4. Sgntes de tratamento multifuncionais.

Embora o tratamento da superfície do substrato seja um processo complexo, envolvendo diversos mecanismos físico-químicos, os autores apontam que há avanços significativos nos métodos de tratamento de concreto, proporcionando melhor desempenho e durabilidade ao material.

Sadowski e Stefaniuk (2018) destacam que deficiências na camada superficial do concreto podem acelerar sua deterioração. Além disso, propriedades estéticas, como cor e textura, são diretamente influenciadas pela qualidade dessa camada superior. Os autores enfatizam que a pele do concreto tem um papel fundamental na resistência à difusão de cloretos, ataque de sulfatos, condutividade térmica e elétrica, rigidez, atrito, adesão, transporte de umidade, absorção de água e molhamento.

Para Sadowski e Stefaniuk (2018), a qualidade da superfície do concreto se tornou um fator relevante, uma vez que há um crescente interesse no uso da pele do concreto. Os autores a definem como a camada superficial do concreto, cuja espessura corresponde a até metade do tamanho máximo dos grãos do agregado. Além disso, destacam que o interior do concreto tende a ser mais homogêneo do que sua camada superficial. A pele do concreto é composta por diferentes camadas, sendo aproximadamente:

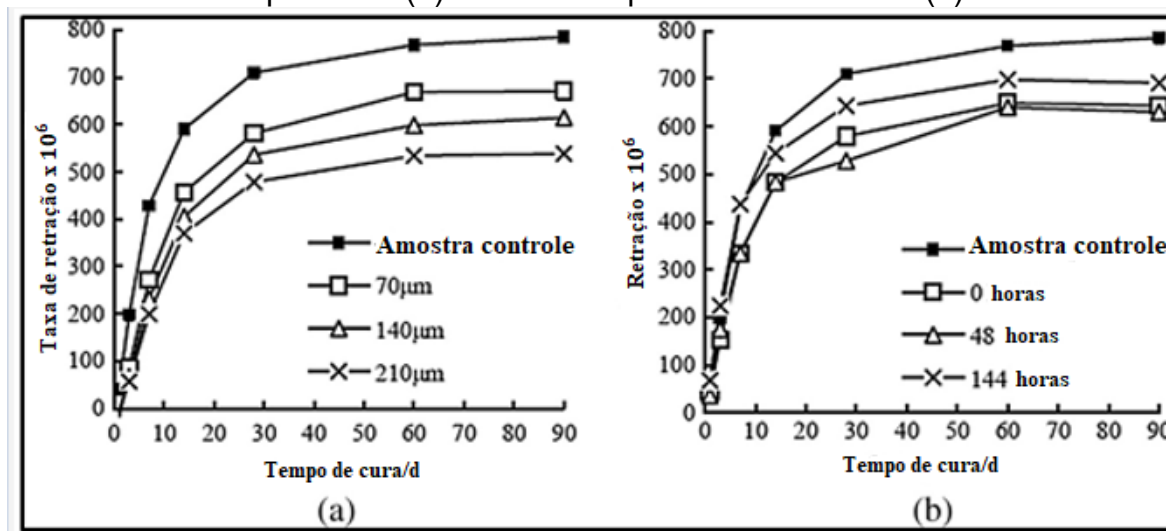
1. 0,1 mm de espessura de pele de cimento;
2. 5 mm de espessura de pele de argamassa;
3. 30 mm de espessura de pele de concreto.

Essas camadas são compostas principalmente por pasta de cimento e apresentam maior porosidade em comparação com as regiões internas do concreto. Os autores também ressaltam que a dureza da pele do concreto é diferente da dureza das camadas internas, influenciando seu desempenho mecânico e resistência ao desgaste.

Pan *et al.* (2017) analisaram diversos tipos de tratamentos superficiais aplicados ao substrato de concreto, com o objetivo de proteger e aumentar sua durabilidade, além de melhorar suas propriedades mecânicas e físicas. Em suas pesquisas, observaram que a resistência à compressão do concreto com revestimento à base de silicato apresentou aumentos de 3,8%, 3,7%, 11,0%, 17,3% e 6,1% em comparação ao concreto sem revestimento, após exposição a temperaturas de 150 °C, 300 °C, 450 °C, 600 °C e 750 °C, respectivamente. Além disso, o estudo demonstrou um aumento significativo na resistência à abrasão do substrato, reforçando que diferentes tratamentos superficiais podem melhorar a resistência ao desgaste do concreto.

Outro fator relevante observado pelos autores é a influência dos tratamentos superficiais na retração do concreto, resultado das alterações na taxa de transporte e evaporação de umidade. Shi *et al.* (2011) demonstraram que revestimentos poliméricos podem reduzir a retração por secagem da argamassa, sendo que quanto maior a espessura do revestimento e mais rápida sua aplicação, maior a taxa de redução da retração observada, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Taxa de retração da argamassa revestida com polímero, com diferentes espessuras (a) e vários tempos de revestimento (b)



Fonte: Pan *et al.* (2017, p.82).

Um revestimento polimérico de maior espessura pode formar uma película altamente compacta na superfície da argamassa, selando os capilares abertos e impedindo a dissipação de umidade. Esse processo bloqueia poros mais largos e

bolsões de ar, reduzindo a evaporação da umidade e, conseqüentemente, minimizando a retração por secagem.

Os autores também ressaltam que, quando o substrato foi revestido após um período de espera, a estrutura capilar já estava bem desenvolvida e a umidade residual nos poros capilares era reduzida. Isso resultou em uma menor retração, indicando que a aplicação posterior do revestimento foi menos eficaz em comparação com sua aplicação imediata no substrato (Pan *et al.*, 2017; Shi *et al.*, 2011).

2.3 Propriedades Mecânicas

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) e Xerez Neto (2022), as propriedades mecânicas fundamentais do concreto incluem sua capacidade de suportar compressão e tração, além de sua rigidez, que é quantificada pelo módulo de elasticidade. Essas características são avaliadas por meio de testes padronizados, essenciais para garantir a qualidade e a conformidade com as exigências técnicas.

Os principais fatores que influenciam a resistência à compressão, tração e esforços mecânicos incluem:

a) Influência da Relação Água/Cimento e da Resistência Mecânica

A proporção água/cimento (relação a/c) é um dos parâmetros mais relevantes no dimensionamento de misturas de concreto, por impactar diretamente tanto a resistência mecânica quanto a durabilidade do material. Em geral, quanto menor essa relação, maior será a resistência à compressão, uma vez que a matriz cimentícia formada tende a ser mais compacta e menos porosa (Petrucchi, 1987; Mehta; Monteiro, 2014). No entanto, a redução excessiva de água compromete a trabalhabilidade, tornando a mistura mais viscosa e de difícil aplicação (Mehta; Monteiro, 2014).

Segundo Almeida (2002), a trabalhabilidade também está ligada à relação entre os agregados e o cimento. Quando a relação agregado/cimento diminui, aumenta a quantidade de água relativa à superfície total dos sólidos, o que torna o

concreto mais fluido. Contudo, esse equilíbrio é delicado: excesso de água favorece a segregação e a exsudação, comprometendo a aderência entre pasta e agregado e enfraquecendo a zona de transição.

Algumas estratégias podem ser adotadas para reduzir a demanda por água sem comprometer a qualidade do concreto, como o uso de aditivos químicos endurecedores de superfície e a aplicação de técnicas de acabamento superficial retardado, que promovem a densificação da camada superficial e aumentam a resistência ao desgaste abrasivo (Mehta; Monteiro, 2014).

A relação entre resistência mecânica e resistência à abrasão tem sido amplamente discutida na literatura. Estudos como os de Abid *et al.* (2018), Rao *et al.* (2011) e Pelisser *et al.* (2021) indicam que o aumento das propriedades mecânicas — compressão, tração, flexão e módulo de elasticidade — está associado à melhoria do desempenho frente à abrasão. No entanto, autores como Almeida (2002) ressaltam que essa correlação não é sempre direta, uma vez que a abrasão é um fenômeno superficial e pode ser influenciada por fatores como cura e acabamento, independentemente da resistência interna do concreto.

Pelisser *et al.* (2021) demonstraram, em pastas geopoliméricas com caulim, hidróxido de sódio e silicato de sódio, resistências à compressão entre 50 e 60 MPa e dureza superficial média de 0,40 GPa aos 28 dias, resultado atribuído à elevada proporção de ativadores alcalinos e à estrutura amorfa do material. Já Amini *et al.* (2019) analisaram concretos com escória e constataram que o aumento do teor desse resíduo melhora a resistência à abrasão e à compressão, mas também aumenta significativamente a absorção de água, fator que pode comprometer outras propriedades de durabilidade. Um concreto mal curado, por exemplo, tende a desenvolver uma camada superficial porosa e frágil, sujeita à descamação.

Frotté *et al.* (2017) observaram que, ao empregar agregados reciclados com maior absorção de água, foi necessário elevar a relação a/c para 0,645, de modo a manter a trabalhabilidade desejada (abatimento entre 50 e 70 mm), sem comprometer a resistência final. Isso evidencia a importância do ajuste da relação a/c conforme as características dos materiais utilizados.

Embora Mehta e Monteiro (2014) recomendem uma resistência à compressão mínima de 41 MPa para concretos submetidos a condições severas de abrasão, essa exigência pode ser flexibilizada em aplicações menos exigentes. A resistência

à abrasão pode, portanto, ser potencializada tanto pelo controle da relação a/c quanto por práticas adequadas de cura e acabamento, que garantam uma superfície mais coesa e durável.

b) Influência do tipo e consumo de cimento e da inclusão de adições minerais

A resistência à abrasão superficial do concreto não depende apenas de sua resistência mecânica, mas também da dureza da superfície e da estrutura interna do material. Para atingir esses requisitos, pode ser necessário um aumento no consumo de cimento Portland por volume de concreto (Mehta; Monteiro, 2014).

O ACI COMMITTEE 302 (2015) estabelece faixas ideais para o consumo de cimento em concretos destinados a pisos expostos à abrasão superficial. Segundo a norma, esse consumo deve estar equilibrado com a dimensão máxima do agregado, garantindo:

1. Redução da relação a/c, assegurando maior resistência;
2. Adequada trabalhabilidade, para facilitar a execução;
3. Minimização da exsudação e da segregação, prevenindo defeitos na superfície;
4. Controle da retração, do calor de hidratação e da fissuração, aumentando a durabilidade.

A Tabela 2 apresenta os valores recomendados para consumo de cimento em diferentes tipos de concreto, conforme especificado pelo ACI COMMITTEE 302 (2015).

Tabela 2 – Teores de cimento recomendados para pisos	
Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Cimento (kg/m³)
37,5	280 a 330
25	310 a 360
19	320 a 375
12,5	350 a 405
9,5	360 a 415

Fonte: ACI COMMITTEE 302 (2015, p.07).

No contexto brasileiro, há uma ampla variedade de tipos de cimento disponíveis no mercado, cada um com características específicas que os tornam

mais adequados para determinadas aplicações. A escolha do cimento influencia diretamente a resistência e a durabilidade do concreto, permitindo alcançar um desempenho satisfatório de forma econômica (Battagin; Rodrigues, 2014).

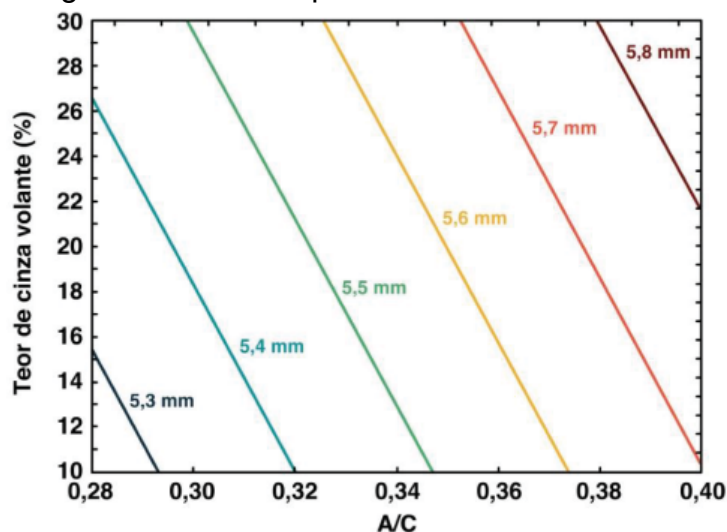
Esses diferentes tipos de cimento se diferenciam principalmente pela composição química e pelo grau de finura, aspectos que são influenciados pela adição de materiais pozolânicos e siderúrgicos, como cinza volante, fíler calcário e escória de alto-forno. Além disso, diversos estudos destacam a importância da incorporação de outras adições minerais ao concreto, que podem afetar significativamente tanto sua resistência mecânica quanto sua resistência à abrasão superficial (Çavdar; Yetgin, 2010).

Silva (2011) investigou os efeitos da substituição parcial do cimento Portland por sílica ativa nos teores de 5% e 10%, avaliando sua influência na resistência ao desgaste abrasivo do concreto. Os resultados indicaram que, embora a sílica ativa não tenha melhorado diretamente a resistência à abrasão, houve impactos positivos em outras propriedades do concreto, que indiretamente influenciam o mecanismo de desgaste. Entre os principais benefícios observados, destacam-se:

1. Aumento da resistência à compressão, de 26 MPa para 31 MPa;
2. Melhoria na resistência à tração na flexão, passando de 3,5 MPa para 3,8 MPa;
3. Aumento da dureza superficial, de aproximadamente 34,9 para 36,1;
4. Redução significativa da exsudação, de 3,6% para 0,5%.

Em outro estudo, Witzke *et al.* (2019) utilizaram um planejamento fatorial fracionado para avaliar o efeito da substituição parcial do cimento Portland por cinza volante em diferentes proporções (10%, 20% e 30%). Além disso, analisaram a influência da relação a/c (0,28; 0,33 e 0,40) e da relação agregado/cimento (2,70; 3,10 e 3,70) na resistência à abrasão superficial do concreto. Os resultados obtidos nos ensaios de abrasão superficial são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Desgaste abrasivo superficial de concretos com cinza volante



Fonte: Witzke *et al.* (2019, p.07).

A Figura 3 demonstra que tanto a relação a/c quanto o nível de substituição do cimento Portland por cinza volante influenciou o desgaste por abrasão em amostras de concreto. Observou-se que, quanto maior o teor de cinza volante incorporado e maior a relação a/c, menor foi a resistência à abrasão das amostras. Conforme indicado, é possível obter concretos com desgaste superficial inferior a 5,6 mm, independentemente do teor de substituição do cimento Portland por cinza (dentro do intervalo estudado), desde que a relação agregado/cimento seja mantida em 3,1 e a relação a/c permaneça abaixo de 0,37.

A explicação para esse comportamento está associada ao uso de cinzas volantes com baixo teor de cálcio (2,05%), característica das cinzas volantes catarinenses, o que reduz sua reatividade. Assim, quanto maior a quantidade de material com baixa reatividade na mistura, mais frágil será a matriz cimentícia formada durante a hidratação, resultando em aumento da porosidade, redução da resistência mecânica e menor qualidade da camada superficial.

Além disso, o aumento da quantidade de água na mistura está diretamente relacionado à redução da resistência ao desgaste abrasivo, pois o excesso de água aumenta a porosidade, afeta o calor de hidratação e pode favorecer a formação de fissuras, prejudicando tanto a resistência mecânica quanto o acabamento superficial, fatores essenciais para a resistência ao desgaste abrasivo (Witzke *et al.*, 2019).

Gaedicke *et al.* (2014) analisaram a abrasão superficial de concretos permeáveis com substituição parcial do cimento Portland por escória de alto-forno em até 30%. Os resultados indicaram que essa substituição não comprometeu a resistência à abrasão das amostras. Pelo contrário, foi observada uma redução de 13% e 14% na perda de massa nas amostras com 30% de escória de alto-forno, em comparação com a amostra sem substituição.

Çavdar e Yetgin (2010) examinaram a abrasão superficial de amostras de argamassa contendo diferentes adições minerais, sendo:

1. Até 40% de escória de alto-forno;
2. Até 20% de pozolana natural e cinza volante;
3. Até 5% de sílica ativa ou calcário.

Os resultados demonstraram que as amostras compostas exclusivamente por clínquer, com maior teor de CaO, apresentaram menor profundidade de desgaste abrasivo (3,5 mm). Em contraste, amostras contendo 40% de escória apresentaram 5,5 mm de desgaste, enquanto aquelas com pozolanas naturais e cinza volante registraram profundidades intermediárias de 4,5 mm. A adição de 5% de sílica ativa e calcário resultou em profundidades de desgaste de 3,5 mm e 4 mm, respectivamente.

Esses resultados são atribuídos às características específicas de cada adição mineral. A escória de alto-forno, por exemplo, apresentou maior desgaste abrasivo por ser auto cimentante, além de pozolânica. Já a sílica ativa e o calcário, embora tenham reduzido o desgaste devido à sua alta reatividade, não podem ser comparados diretamente à escória, pois os teores utilizados no estudo foram diferentes (5% e 40%).

Outro fator relevante é a grande variabilidade química das cinzas volantes em diferentes regiões, já que a quantidade de CaO nesse material influencia diretamente a resistência à abrasão.

Rao *et al.* (2011) também investigaram a abrasão superficial de concretos com substituição parcial do cimento Portland por cinza volante em 20%, 40% e 60%. O estudo revelou que, quanto maior o teor de cinza volante utilizado, maior foi a perda de massa por abrasão. Os resultados obtidos foram:

- amostra padrão (sem substituição): 6% de perda de massa;
- substituição de 20% por cinza volante: 12% de perda de massa;

- substituição de 40% por cinza volante: 14% de perda de massa;
- substituição de 60% por cinza volante: 17% de perda de massa.

Xerez Neto (2022) discute algumas das aplicações e características de diferentes tipos de cimento, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Emprego e características exigidas dos tipos de cimento		
Emprego	Características Exigidas	Cimento
Concreto armado	Resistências médias ou altas	CP I, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP III, CP IV
Concreto protendido	Em geral, altas resistências	CP I, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP V-ARI
Colocação rápida em carga	Alta resistência inicial	CP V-ARI
Pavimentação	Alta resistência ao desgaste	CP I, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP V-ARI
Concreto massa (barragens)	Baixo calor de hidratação	CP III e CP IV
Concreto refratário	Resistência a altas temperaturas	Cimento aluminoso
Concreto para off-shore	Resistência à água do mar	CP III, CP IV-RS, Cimento aluminoso
Pré-moldados	Desmoldagem rápida	CP I, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP V-ARI

Fonte: Xerez Neto (2022, p.21).

No segmento de pavimentos, Xerez Neto (2022) recomenda o uso dos cimentos CP II-Z, CP II-F e CP II-E, devido à sua elevada resistência inicial, característica essencial para estruturas de pisos e pavimentos submetidos a solicitações intensas, tanto pelo tráfego de pessoas quanto pelo uso de máquinas e equipamentos.

O autor também destaca que, para aplicação em pavimentos de concreto, pode-se utilizar o cimento CP V-ARI, cuja resistência inicial atinge 24 MPa aos três dias e 34 MPa aos sete dias. Isso faz com que seja uma alternativa vantajosa para a liberação mais rápida de áreas de tráfego em comparação com outros tipos de cimento. No entanto, o autor alerta que o CP V-ARI exige maior atenção quanto à trabalhabilidade, pois sua característica de secagem rápida pode dificultar o manuseio e a aplicação do concreto.

c) Influência da Exsudação e da Cura

A exsudação é um fenômeno caracterizado pelo aparecimento de água na superfície do concreto logo após sua colocação e compactação, antes do início da pega. Isso ocorre porque a água, sendo menos densa, tende a migrar para a superfície, arrastando partículas leves de agregado. Como consequência, a camada superficial do concreto torna-se porosa e fragilizada, aumentando sua suscetibilidade ao desgaste abrasivo (Amini *et al.*, 2019; Mehta; Monteiro, 2014; Neville; Brooks, 2013).

Esse fenômeno não se limita à superfície visível do concreto, estendendo-se ao seu interior, onde afeta diretamente a distribuição das partículas de agregados graúdos e a aderência das armaduras metálicas. A exsudação compromete a zona de transição entre a pasta de cimento e os agregados, prejudicando a coesão dessa interface e enfraquecendo a matriz cimentícia (Mehta; Monteiro, 2014; Neville; Brooks, 2013; Viecili, 2004). No entanto, algumas estratégias podem ser adotadas para minimizar esse efeito, tais como:

1. Utilização de agregados com distribuição granulométrica contínua, favorecendo o empacotamento das partículas e reduzindo os vazios;
2. Emprego de cimentos finos ou adições minerais de alta reatividade, que melhoram a coesão e diminuem a segregação;
3. Controle rigoroso da trabalhabilidade, limitando o teor de água da mistura ao estritamente necessário para garantir a consistência adequada.

O processo de cura também tem um impacto direto em diversas propriedades do concreto, incluindo resistência à compressão, tração e flexão, além do módulo de elasticidade, permeabilidade, retração e abrasão superficial. Uma cura inadequada pode resultar em um acabamento superficial deficiente e na redução da resistência da camada superficial do concreto, tornando-o mais vulnerável ao desgaste abrasivo (Mehta; Monteiro, 2014; Neville; Brooks, 2013).

No estudo conduzido por Çavdar e Yetgin (2010) sobre abrasão superficial de argamassas, foi observado que o desgaste da superfície diminui à medida que o tempo de cura aumenta. A maior parte do ganho na resistência à abrasão ocorreu nos primeiros 6 a 9 meses de cura, seguido por uma melhoria mais lenta até 1 ano.

Os dados obtidos mostram que uma argamassa submetida ao ensaio de abrasão após diferentes períodos de cura apresentou os seguintes valores de desgaste (Tabela 4):

Tabela 4 - Desgaste por abrasão e redução relativa em função do tempo de cura

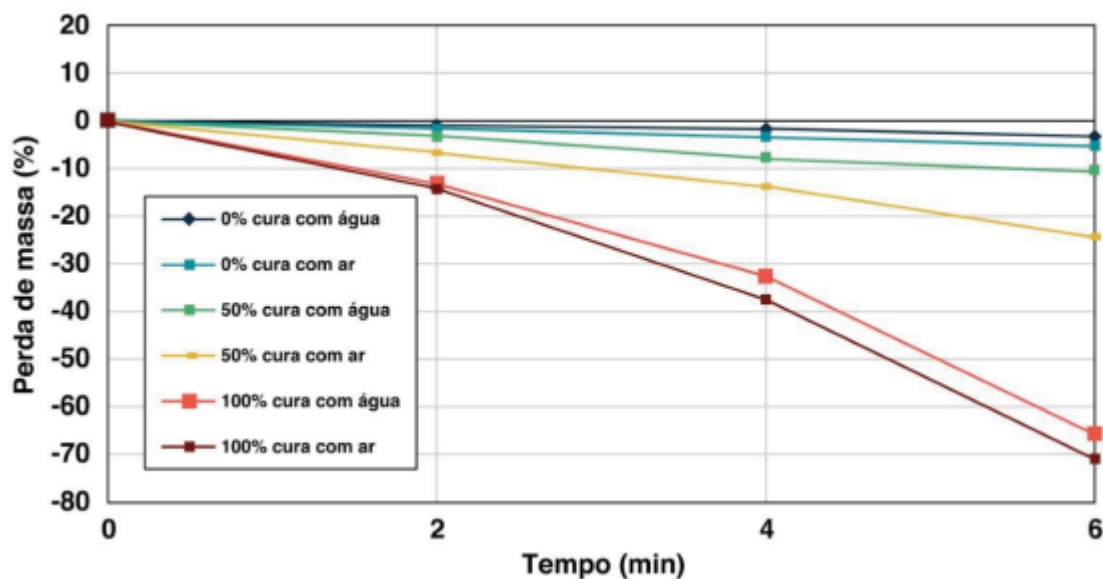
Tempo de Cura	Desgaste (mm) – Argamassa Convencional	Redução Relativa (%) – Argamassa	Redução da Abrasão (%) – Geopolimérico
3 dias	–	–	66,90%
7 dias	7,7	–	70,00%
14 dias	–	–	71,30%
28 dias	6,12	20,50%	59,10%
90 dias	5,2	15,00%	60,70%
180 dias	4,66	10,40%	–
270 dias	4,56	2,10%	–

Fonte: Yan *et al.* (2020).

Essa melhora foi atribuída à formação de géis de aluminossilicato, que fortalecem a matriz cimentícia e melhoram a aderência entre as partículas ao longo do tempo de cura.

Ibrahim *et al.* (2017) compararam os efeitos da cura submersa e da cura em ambiente natural em concretos convencionais com adição de óleo de palma, analisando a perda de massa por abrasão superficial. Os resultados desse estudo são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Perda de massa por abrasão superficial de concretos contendo 0, 50 e 100% de adição de palma em cura submersa ou em ar



Fonte: Ibrahim *et al.* (2017, p.585).

Os resultados apresentados na Figura 4 indicam que o concreto com 50% de adição de óleo de palma, quando submetido à cura submersa, apresentou uma ligeira melhora na resistência à abrasão. No entanto, as amostras contendo 100% de óleo de palma exibiram um comportamento de desgaste semelhante ao da amostra de referência. Esses achados sugerem que a cura submersa pode melhorar a qualidade da camada superficial do concreto, tornando-o mais adequado para materiais expostos a ciclos de desgaste superficial, conforme concluído por Mohebi *et al.* (2015).

d) Influência de Aditivos Químicos

Çavdar e Yetgin (2010) realizaram um estudo sobre o efeito de aditivos químicos incorporadores de ar em amostras submetidas a ensaios de abrasão superficial. Os autores observaram que a inclusão de 1% de ar na mistura teve um impacto negativo significativo, aumentando o desgaste por abrasão entre 22% e 37%. Esse efeito foi atribuído ao enfraquecimento da camada superficial do concreto e à formação de uma estrutura menos densa, ambos causados pela presença do aditivo químico.

Além disso, alguns pesquisadores destacam a cura química com aditivos como uma estratégia para proteger o concreto durante sua fase inicial de endurecimento, melhorando a qualidade da camada superficial e, conseqüentemente, aumentando sua resistência à abrasão (Chodounsky; Viecili, 2007).

Outro grupo de aditivos amplamente utilizados são os endurecedores de superfície, formulados à base de silicato de sódio, fluorsilicato de zinco e magnésio. Esses produtos promovem a redução da permeabilidade, a vitrificação superficial e a diminuição da formação de poeira no concreto. Eles reagem com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, formando compostos insolúveis que obstruem os poros e aumentam a resistência à abrasão. O resultado é a formação de uma camada superficial mais espessa ou de um filme de alta dureza, reduzindo significativamente o desgaste (Mehta; Monteiro, 2014).

Embora não existam estudos específicos sobre o impacto direto de aditivos plastificantes e superplastificantes à base de policarboxilato na resistência à abrasão superficial, sabe-se que esses produtos reduzem a quantidade de água na mistura, aumentam a fluidez e minimizam a presença de ar aprisionado no concreto. Essas características, mesmo que indiretamente, podem contribuir para uma maior resistência à abrasão (Mehta; Monteiro, 2014).

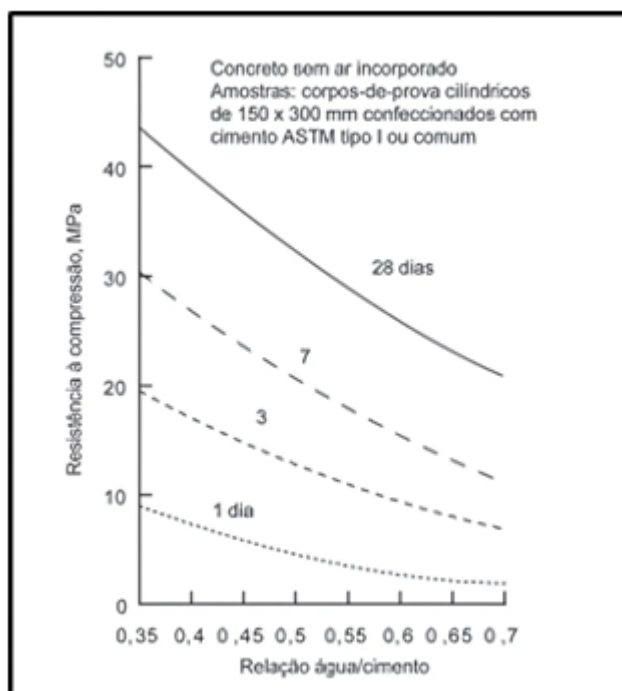
e) Influência da Idade na Resistência

A relação entre a proporção a/c e a resistência à compressão do concreto não é constante, pois varia de acordo com o tipo de cimento, o tempo de cura e as condições ambientais. Segundo Neville (1997), diferentes tipos de cimento requerem períodos distintos para atingir a mesma resistência à compressão, o que significa que a idade do concreto influencia diretamente seu desempenho estrutural.

A resistência à compressão do concreto costuma ser padronizada aos 28 dias, um prazo que, apesar de amplamente utilizado, não possui uma justificativa científica rigorosa. Essa convenção foi adotada com base na observação empírica de que a taxa de ganho de resistência do concreto diminui significativamente após esse período de hidratação do cimento.

A Figura 5 apresenta um gráfico que ilustra a influência do tempo de cura sobre a resistência à compressão do concreto, evidenciando a importância do período de hidratação na evolução das propriedades mecânicas do material.

Figura 5 - Influência da relação a/c e idade de cura úmida sobre a resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2014, p.56).

f) Influência do agregado graúdo

O agregado graúdo desempenha um papel fundamental nas propriedades do concreto, afetando sua resistência, dureza, durabilidade e porosidade. Para concretos sujeitos a desgaste abrasivo, é essencial que os agregados apresentem alta resistência ao desgaste.

Além disso, recomenda-se que a dimensão máxima do agregado graúdo em materiais expostos ao desgaste abrasivo seja de 12,5 mm, garantindo melhor desempenho mecânico e durabilidade (Mehta; Monteiro, 2014; Tunc; Alyamac, 2019).

A Tabela 5 apresenta as características dos agregados graúdos utilizados em diferentes estudos.

Tabela 5 – Características de agregados graúdos utilizados em algumas pesquisas sobre abrasão superficial

Característica	SILVA (2011)	VIECELLI (2004)	NUACKLONG <i>et al.</i> (2016)	WITZKE <i>et al.</i> (2019)
Origem	Basáltica	Basáltica	Reciclado	Granítica
Módulo de finura	6,74	5,98	6,84	6,0
Dimensão máxima (mm)	19	9,5	19	9,5
Massa específica (g/cm ³)	2,86	2,72	2,72	-
Massa unitária (g/cm ³)	1,55	-	-	5,77
Absorção de água (%)	0,014	-	-	5,77

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base em Silva (2011), Viecegli (2004), Nuacklong *et al.* (2016) e Witzke *et al.* (2019).

Conforme indicado na Tabela 5, alguns pesquisadores optaram por utilizar agregados com dimensões máximas superiores às recomendadas pela literatura. No entanto, os requisitos estabelecidos para o concreto vão além da resistência à abrasão, o que exige que os projetistas escolham materiais que melhor atendam às demandas específicas de cada aplicação. Além disso, foi observado que agregados reciclados tendem a apresentar maior absorção de água em comparação com agregados graúdos naturais de origem basáltica, fator que pode influenciar diretamente as propriedades finais do concreto.

Importante mencionar que a resistência à abrasão superficial está fortemente condicionada à qualidade e características dos agregados graúdos. A escolha do tipo de rocha, a granulometria, a densidade e a absorção de água determinam como o concreto reage ao tráfego, polimento e desgaste ao longo do tempo. O estudo reforça que pisos com agregados bem selecionados — de baixa absorção, alta densidade e granulometria equilibrada — apresentam melhor desempenho frente à abrasão, resultando em maior durabilidade e menor necessidade de manutenção.

A dureza dos agregados graúdos tem um papel fundamental na resistência à abrasão e à compressão do concreto, especialmente em materiais com resistências de 21 MPa e 35 MPa. Isso ocorre porque a relação a/c pode tornar a matriz cimentícia e a zona de transição os pontos mais vulneráveis da estrutura. Em concretos com resistência à compressão superior a 56 MPa, a influência do agregado graúdo torna-se ainda mais significativa, pois a redução da relação a/c

melhora a matriz cimentícia, aumentando a possibilidade de falha ocorrer no próprio agregado (Viecili, 2004).

Sobre isso, importante relatar que, em concretos de baixa resistência (21 MPa a 35 MPa), a matriz é mais fraca e, portanto, as falhas geralmente ocorrem nessa região — na matriz ou na zona de transição interfacial (ZTI) entre a pasta de cimento e o agregado. À medida que se reduz a relação a/c e aumenta-se a resistência do concreto, a matriz cimentícia se torna mais densa e menos porosa, melhorando significativamente sua resistência.

A partir de cerca de 56 MPa, essa matriz já está suficientemente fortalecida para que o ponto frágil da estrutura passe a ser o próprio agregado gráúdo. Isso significa que, em concretos de alta resistência, as falhas começam a ocorrer dentro dos agregados, e não mais predominantemente na matriz ou na ZTI.

Esse valor (56 MPa) não é uma fronteira absoluta, mas um referencial técnico adotado com base em observações experimentais. Ele marca a transição em que o concreto passa de ser uma estrutura controlada pela resistência da pasta para uma estrutura onde o desempenho dos agregados se torna o fator limitante.

Pacheco-Torgal *et al.* (2002) avaliaram as propriedades de durabilidade de agregados gráudos de diferentes origens litológicas — granitos, calcários e gabro (rocha ígnea intrusiva composta predominantemente por plagioclásio e piroxênio) — por meio do ensaio de abrasão Los Angeles. Os resultados revelaram desempenho superior do agregado de gabro, com apenas 12% de desgaste, em comparação com os granitos, cujos valores variaram entre 22% e 27%, e com os calcários, que apresentaram desgaste entre 17% e 37%, a depender da procedência. Esses dados indicam que há variação significativa na resistência à abrasão mesmo entre rochas de mesma classificação genérica.

Duarte *et al.* (2019) estudaram o impacto da adição de agregados reciclados nas propriedades de concretos projetados e concluíram que, embora tenha ocorrido uma redução na resistência à compressão e à tração, bem como no módulo de elasticidade e na velocidade do pulso de ultrassom, houve um aumento na resistência à abrasão. Esse efeito foi atribuído à maior rugosidade e porosidade dos agregados reciclados, o que facilitou a aderência da pasta de cimento.

Kumar (2017) analisou a substituição de agregados graníticos por agregados de quartzo em diferentes proporções. Os resultados demonstraram uma redução na

resistência mecânica à compressão, com a resistência da amostra de referência caindo de 42,3 MPa para 33,5 MPa quando totalmente substituída por quartzo. Além disso, observou-se uma queda na resistência à flexão, e o desgaste superficial por abrasão foi 36% maior nas amostras contendo agregado de quartzo em comparação com as amostras com agregado de granito.

Nuacklong *et al.* (2016) investigaram o impacto de agregados graúdos de calcário e reciclados na resistência à abrasão de concretos geopoliméricos à base de cinza volante e hidróxido de sódio. Os resultados mostraram que, independentemente da concentração molar, os concretos geopoliméricos contendo agregado de calcário apresentaram menor perda de massa por abrasão em comparação com aqueles que continham agregado reciclado. No entanto, ambos os tipos de agregados foram considerados adequados para uso.

É importante destacar que, embora a resistência do agregado graúdo influencie diretamente a resistência à compressão e, conseqüentemente, a resistência à abrasão do concreto, a maior área de contato sujeita ao desgaste abrasivo encontra-se na camada superficial da estrutura, composta por argamassa (agregados miúdos, cimento e água). Portanto, é essencial estudar também a influência dos agregados miúdos (Fonseca, 2009).

A granulometria, ou distribuição do tamanho das partículas dos agregados, é um fator essencial para a resistência do concreto e é avaliada por meio de ensaios de peneiramento padronizados. Para que os agregados interajam de maneira ideal, as curvas de distribuição granulométrica devem estar dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas, buscando um empacotamento eficiente das partículas para minimizar os espaços vazios. Esse ajuste reduz a necessidade de pasta de cimento, que é o componente mais oneroso do concreto, resultando em maior economia e melhor desempenho mecânico (Andolfato, 2002).

g) Influência do agregado miúdo

Assim como o agregado graúdo, a areia desempenha um papel fundamental nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, além de afetar sua durabilidade.

Em um estudo realizado por Beixing *et al.* (2011), foi analisada a influência de diferentes tipos de areia, naturais e artificiais, na resistência à abrasão do concreto. Os autores destacaram que a textura da superfície e a rugosidade dos grãos de areia, aliadas ao valor de trituração dos agregados artificiais, são fatores críticos para aumentar a resistência à abrasão superficial. Isso ocorre porque uma textura mais rugosa amplia a área de contato e melhora a aderência entre as partículas de agregado e os aglomerantes.

Além disso, os autores observaram que o teor de SiO_2 nos agregados miúdos naturais teve pouco impacto na resistência à abrasão do concreto, o que sugere a viabilidade do uso de agregados miúdos artificiais ou reciclados (Beixing *et al.*, 2011). Outros estudos indicaram que agregados miúdos com granulometria mais fina favoreceram a nucleação de C-S-H (silicato de cálcio hidratado) e CH (hidróxido de cálcio), resultando em:

1. Melhor empacotamento de partículas;
2. Maior densidade da estrutura;
3. Redução da exsudação, melhorando o acabamento superficial;
4. Melhoria da zona de transição entre os agregados e a pasta de cimento.

Esses benefícios foram identificados por Chodounsky e Viecili (2007) e Stewart *et al.* (2007), reforçando a importância de um controle rigoroso da granulometria dos agregados miúdos.

2.3.1 Resistência à abrasão

Conforme demonstrado nos estudos de Martín-Perez *et al.* (2022), uma estrutura de concreto pode falhar quando sua superfície não suporta adequadamente as forças externas ou as condições ambientais às quais está exposta. A escolha de um material de superfície com propriedades térmicas, ópticas, magnéticas e elétricas adequadas, além de resistência ao desgaste, à corrosão e à degradação, é essencial para garantir a funcionalidade e a durabilidade da estrutura.

Segundo o autor, a engenharia de superfícies envolve a aplicação de tecnologias tradicionais e inovadoras a componentes e materiais, visando produzir um composto com propriedades que não podem ser obtidas na superfície de materiais comuns.

Ainda de acordo com Martín-Perez *et al.* (2022), os tipos de desgaste mais

frequentes em processos industriais ou de serviços são:

- a) abrasão;
- b) adesão;
- c) corrosão localizada;
- d) cavitação por impacto;
- e) erosão por desgaste.

Com base nos estudos de Neville (1997) e Brandão (1998), a resistência do concreto à abrasão é definida como a capacidade da camada superficial de resistir ao desgaste causado por atrito ou resistência ao atrito.

Segundo Chodounsky Viecili (2007) e o ACI COMMITTEE 201 (2016), o desgaste superficial por abrasão em concretos ocorre de forma progressiva. Inicialmente, a resistência à abrasão do concreto está diretamente relacionada à qualidade da camada superficial do substrato. Com o tempo, à medida que a camada superior do concreto se desgasta, ocorre a exposição dos agregados graúdos e miúdos. Se a solicitação por abrasão persistir, o desgaste continuará avançando.

Nas fases mais avançadas desse processo abrasivo, a resistência à abrasão passa a depender da dureza dos agregados e da aderência entre a pasta de cimento e os agregados.

De acordo com Oliveira e Tula (2006), o desgaste superficial do concreto ocorre por desprendimento progressivo de seus materiais, sendo mais acentuado em concretos de baixa resistência mecânica e menor aderência.

O principal composto envolvido nesse processo é o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), presente na pasta hidratada em proporções elevadas (cerca de 25% da massa da pasta), especialmente na forma de cristais precipitados como Portlandita.

Os autores ressaltam que, do ponto de vista da proteção contra corrosão das armaduras, o hidróxido de cálcio é um composto benéfico. No entanto, sua alta instabilidade mecânica e química o torna um dos principais responsáveis pelos mecanismos de desgaste por abrasão.

O impacto desse fenômeno pode ser ainda mais severo em situações como:

1. Cura inadequada ou inexistente, sem o tempo necessário para o desenvolvimento adequado das propriedades do concreto;

2. Uso de uma relação a/c elevada, que resulta em maior porosidade e menor resistência da camada superficial.

Em qualquer sistema tribológico, a variação dos parâmetros operacionais é limitada pelos valores máximos aceitáveis para o funcionamento seguro do sistema.

A redução das pressões atuantes nas superfícies de interação dependerá da carga aplicada, a qual, por sua vez, está condicionada a fatores de projeto. Entretanto, a pressão real também dependerá da área de contato efetiva, que está relacionada à qualidade superficial dos elementos tribológicos envolvidos.

Mudanças na pressão ou na velocidade de deslocamento podem alterar o mecanismo de desgaste do concreto. Por isso, esses fatores devem ser cuidadosamente analisados.

Quando o tipo de desgaste predominante é o atrito, é essencial considerar os parâmetros de deslocamento entre as superfícies e as forças atuantes, pois esses aspectos influenciam diretamente o comportamento da estrutura (Martín-Perez *et al.*, 2022).

2.3.1.1 Desgaste superficial por abrasão em concretos

A abrasão superficial é um dos principais fatores de degradação do concreto, causando a deterioração e a perda gradual de massa da superfície. Esse processo é especialmente comum em pavimentos industriais e áreas com tráfego veicular, ocorrendo devido ao atrito, raspagem, derrapagem ou deslizamento de objetos sobre a superfície do material (Kumar, 2017; Mehta; Monteiro, 2014; Pyo *et al.*, 2018).

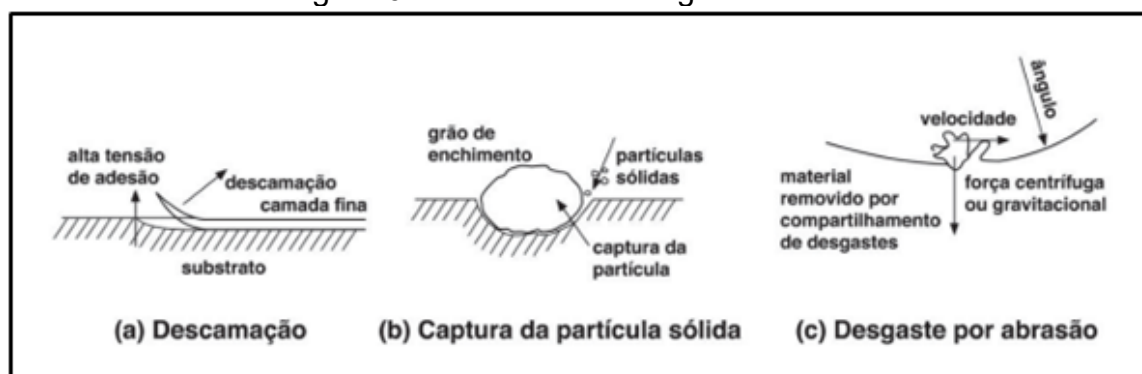
De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), a abrasão é definida como o atrito seco que resulta na perda gradual e contínua da argamassa superficial e dos agregados em uma área delimitada. Esse fenômeno é frequentemente observado em pavimentos sujeitos a esforços mecânicos repetitivos.

Além disso, a abrasão, juntamente com outros tipos de desgaste físico, constitui um dos quatro principais mecanismos de deterioração em estruturas de concreto, ao lado do desgaste químico, eletroquímico e por radiação (Abitante, 2004). Esse processo está diretamente relacionado à remoção progressiva de material e à interação mecânica entre materiais e superfícies.

A abrasão superficial gera tensões sobre a superfície do concreto, promovendo a trituração gradual da camada exposta. Esse desgaste compromete a coesão entre a pasta de cimento e os agregados, resultando em deterioração acelerada, especialmente na zona de transição.

Fatores como a velocidade e o ângulo de impacto exercem influência significativa sobre a intensidade do desgaste abrasivo (Abid *et al.*, 2018), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Processo de desgaste abrasivo



Fonte: Liu e Hsu (2006, p.1816).

2.3.1.2 Fases do desgaste superficial por abrasão

Segundo Mohebi *et al.* (2015), a progressão do desgaste abrasivo em superfícies de concreto pode ser dividida em três fases principais: fase inicial – caracterizada pelo descascamento da camada superficial do concreto; fase intermediária – marcada pela formação de fissuras devido ao impacto de partículas sólidas; fase final – estágio em que ocorre a degradação completa da estrutura do concreto.

Por outro lado, a Norma 090 (DNIT, 2006) classifica o desgaste em quatro níveis de intensidade: leve, moderado, intenso e extremo, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 – Fases do desgaste por abrasão

Nível de desgaste	Características
Desgaste leve	Perda progressiva da argamassa superficial (6 mm) e exposição do agregado graúdo.
Desgaste médio	Perda da argamassa superficial (7 a 12 mm), com perda da argamassa entre o agregado graúdo também.
Desgaste pesado	Perda da argamassa superficial (13 a 25 mm), com clara exposição do agregado graúdo.
Desgaste severo	Perda da argamassa superficial, da argamassa entre os agregados em profundidade maior que 25 mm, com exposição de armaduras.

Fonte: DNIT (2006, p.03).

A deterioração do concreto por abrasão ocorre de forma progressiva, à medida que o aumento da profundidade do desgaste e a perda de massa provocam danos crescentes à estrutura. Esse processo pode facilitar a infiltração de substâncias agressivas, como cloretos e sulfatos, tornando o concreto ainda mais vulnerável.

Em condições mais severas, a exposição das armaduras devido ao desgaste abrasivo pode acelerar a corrosão, comprometendo a durabilidade da estrutura, conforme discutido por Aygormez *et al.* (2020) e Çavdar e Yetgin (2010).

A Figura 7 ilustra esse fenômeno, apresentando dois exemplos de superfícies de concreto impactadas pelo desgaste abrasivo.

Figura 7 – Desgaste superficial por abrasão em pisos de concreto



Fonte: Witzke *et al.* (2019, p. 08)

Çavdar e Yetgin (2010) investigaram o impacto da cura do concreto em solução de sulfato de sódio na resistência à abrasão de argamassas tradicionais. Os resultados indicaram que, após um ano de imersão em sulfato, as amostras apresentaram um aumento de 13% no desgaste abrasivo em comparação com aquelas curadas em água.

Esse efeito está associado à formação excessiva de etringita e gipsita no ambiente sulfatado, o que aumenta a porosidade do material. Como consequência, ocorre uma redução da resistência mecânica das amostras, tornando-as mais suscetíveis ao desgaste abrasivo.

2.3.2 Dureza Superficial

A dureza superficial e a resistência mecânica são propriedades essenciais em estruturas como pisos de concreto. No entanto, esses atributos podem ser comprometidos por diversos fatores, incluindo falhas no projeto, na execução e na proporção da mistura de concreto, especialmente no que diz respeito ao teor de pasta cimentícia. Como consequência, podem surgir manifestações indesejáveis, como o desgaste prematuro da superfície (Silva *et al.*, 2019).

Segundo Toshiro *et al.* (2003), os abrasivos utilizados em pastas de polimento abrasivo são compostos por óxidos metálicos, como CeO_2 (óxido de cério), Fe_2O_3 (óxido de ferro), Al_2O_3 (óxido de alumínio) e SiO_2 (dióxido de silício), geralmente suspensos em água. A eficácia desses abrasivos é avaliada com base na capacidade de remoção de material e na qualidade do polimento obtido, sendo esses parâmetros determinados por ensaios experimentais de polimento abrasivo.

A dureza do abrasivo é um dos critérios mais relevantes para a sua seleção. No entanto, como os valores de dureza são obtidos a partir de cristais individuais ou materiais sinterizados, eles não representam necessariamente o comportamento real do abrasivo durante o processo de polimento. Além disso, há a possibilidade de reações químicas complexas entre a pasta abrasiva e a superfície tratada.

Na prática, utilizam-se lixas de diferentes geometrias e durezas, tanto no aglutinante quanto nos grãos de pó de diamante, que são selecionados conforme o tipo de rocha ou superfície trabalhada. No caso do polimento abrasivo final de rochas ornamentais, por exemplo, pode-se empregar o prato “PAD”, cuja

granulometria pode variar de #800 (aglutinante duro, grãos de diamante de pequeno diâmetro) até #3000. O processo geralmente se inicia com lixas mais grossas, como #100, e progride até granulometrias mais finas, como #3000, dependendo do acabamento desejado (Rajczyk *et al.*, 2019).

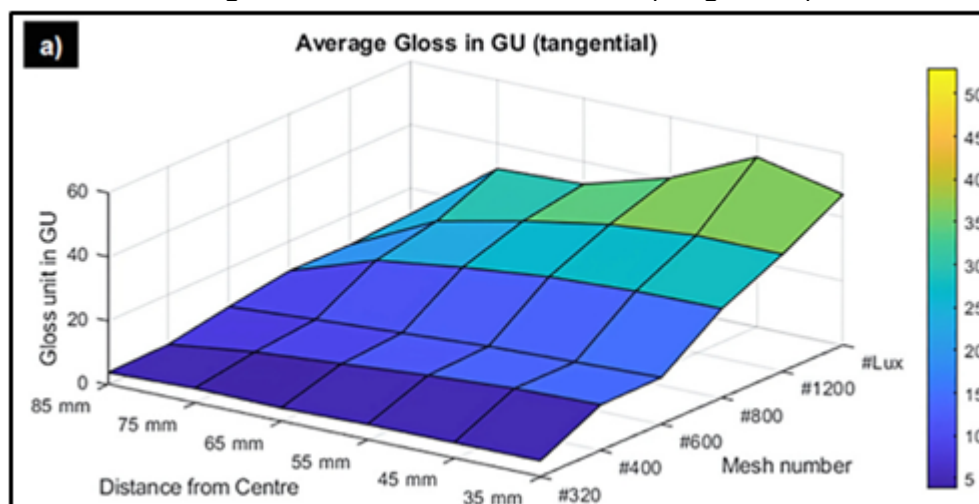
2.4 Propriedades físicas

2.4.1 Brilho

Conforme demonstrado por Sani *et al.* (2015), o nível de brilho e o acabamento da superfície são influenciados tanto pela pressão aplicada sobre a superfície quanto pelo desgaste da ferramenta abrasiva.

Além disso, no processo de fabricação, observou-se que abrasivos mais grossos apresentam uma taxa de desgaste maior, enquanto abrasivos mais finos, utilizados para obter acabamentos de alto brilho, possuem uma taxa de desgaste significativamente menor.

Figura 8 – Brilho médio em GU (tangencial)



Fonte: Sani *et al.* (2015, p.15).

A compreensão dos diferentes níveis de acabamento superficial não se limita apenas aos valores instrumentais de brilho em GU, mas também à percepção visual da superfície. Para exemplificar essa relação entre a granulometria aplicada no polimento e a aparência final obtida, a seguir apresentam-se imagens ilustrativas dos principais estágios de acabamento em pisos de concreto lapidado, variando do semi-fosco ao alto brilho (Figura 9).

Figura 9 – Exemplos visuais dos diferentes níveis de acabamento em pisos de concreto lapidado



A – Concreto lapidado manchado; B – Concreto lapidado tingido; C – Concreto lapidado cinza simples; D – Concreto lapidado com ranhuras e padrões.

Fonte: *Concrete Network* (2024).

Segundo Sani *et al.* (2015), o nível de brilho (GU – *Gloss Unit*), medido na direção tangencial da superfície da placa cerâmica, é inversamente proporcional à rugosidade superficial (R_a). Isso significa que um acabamento mais fino resulta em maior brilho, pois o reflexo da luz ocorre de maneira mais uniforme, dependendo do ângulo de incidência sobre a estrutura da superfície.

Rajczyk *et al.* (2019) destacam que a obtenção de altos níveis de polimento abrasivo só é possível com o uso de ferramentas diamantadas altamente eficientes. A qualidade do polimento é avaliada por métodos instrumentais, utilizando equipamentos que medem a quantidade de luz refletida da superfície polida, conhecidos como *glossmeters* (medidores de brilho).

O polimento abrasivo para conferir brilho à superfície é realizado com grãos de pó de diamante, variando entre #50 e #3000, aplicados por meio de discos diamantados de polimento Brilho D'Água *Buff* ou PAD. Além disso, produtos

químicos seladores à base de água (WB – *Water Based*) podem ser utilizados no processo, penetrando na superfície tratada para fixar e realçar o brilho.

O uso de discos com diferentes geometrias e durezas no aglutinante e nos grãos de pó de diamante deve ser ajustado conforme o tipo de superfície trabalhada.

Ainda segundo Rajczyk *et al.* (2019), o polimento abrasivo final de algumas superfícies pode ser realizado com lixas resinadas (lixa de alta performance, onde a resina age como matriz que mantém os grãos abrasivos presos à base da ferramenta, permitindo um polimento controlado, eficaz e com menor agressividade à superfície trabalhada), cujos grãos possuem tamanho #800, aglutinante duro e segmentos de pó de diamante com pequeno diâmetro.

A velocidade recomendada para o disco de polimento abrasivo varia conforme a etapa do processo: acabamento: entre 360 e 960 rpm; polimento abrasivo: entre 660 e 1200 rpm; materiais específicos: até 1660 rpm, dependendo do tipo de superfície trabalhada (Rajczyk *et al.*, 2019).

2.4.2 Rugosidade

O aprimoramento das ferramentas abrasivas tem como objetivo melhorar o desempenho do brilho superficial, tornando-se cada vez mais relevante no setor industrial. No entanto, esse avanço deve estar aliado a estudos que investiguem a rugosidade e os mecanismos ópticos que influenciam esse fenômeno na superfície. Pesquisas indicam que o polimento abrasivo de superfícies de concreto contribui para o aumento da resistência, a redução da rugosidade e a diminuição da perda de massa (Coelho *et al.*, 2022; Riddirud; Chindaprasirt, 2019).

A rugosidade superficial faz parte da textura do material, englobando aspectos como ondulação, irregularidades e perfil da superfície. Além de impactar propriedades como fadiga, resistência ao desgaste e atrito, a rugosidade é um indicador essencial para avaliar a qualidade da superfície desbastada do substrato. Entretanto, os modelos teóricos existentes ainda são insuficientes para abranger a ampla variedade de condições de corte e usinagem, exigindo abordagens mais detalhadas para determinar os parâmetros ideais de desbaste (Zhong, 2020).

Segundo Lucca *et al.* (2020), o uso de ferramentas de diamante de cristal único tornou-se um processo fundamental para a criação de superfícies com baixa rugosidade e alta precisão. Na indústria, o polimento abrasivo é um processo de

acabamento de superfície composto por várias operações sucessivas, cujo objetivo é reduzir a rugosidade (R_a ou R_z) e aumentar a intensidade do brilho. Esse processo ocorre por meio da fricção de elementos abrasivos sobre a superfície trabalhada, ajustando o grau de polimento abrasivo conforme a necessidade (Revuelta, 2021).

Para Revuelta (2021), a rugosidade da superfície do substrato tem sido amplamente reconhecida como um fator determinante na aderência de materiais. Diversos estudos investigaram a relação entre a rugosidade da interface e a resistência de adesão (capacidade de ligação entre duas superfícies) do concreto.

Pesquisas conduzidas por Mainz e Zilch (1998 *apud* Revuelta, 2021) e Tschegg *et al.* (2000 *apud* Revuelta, 2021) apontam que, para avaliar quantitativamente os efeitos do polimento abrasivo, é possível realizar medições de rugosidade padrão. No entanto, essas medições devem ser ajustadas para superfícies mais espessas, onde o brilho é muito baixo para ser detectado pelos equipamentos convencionais (Coelho *et al.*, 2022).

2.4.3 Porosidade

O concreto apresenta, inevitavelmente, poros de diferentes tamanhos, que variam de nanômetros a milímetros. A estrutura dos poros tem um impacto significativo nas propriedades do concreto endurecido, especialmente no que se refere à sua durabilidade. A penetração de água e a infiltração de substâncias externas, como íon cloreto, sulfatos e dióxido de carbono, ocorrem por meio dessa estrutura porosa, sendo esse um dos principais fatores responsáveis pela degradação do concreto (Bissonnette *et al. apud* Wong *et al.*, 2020).

Durante o processo de hidratação do cimento, combinado a uma relação a/c excessiva, os fluidos podem se deslocar através da porosidade da argamassa do concreto por meio de absorção capilar ou permeabilidade (Bissonnette *et al. apud* Neville, 2006).

De acordo com Newman e Choo (2003), a redução da relação a/c promove uma maior proximidade entre as partículas de cimento no concreto recém-misturado, resultando em menor porosidade capilar na pasta endurecida e, conseqüentemente, em maior resistência mecânica. Além disso, a diminuição da porosidade capilar

favorece a formação de produtos de hidratação com textura mais fina, que apresentam maior resistência em comparação aos produtos de hidratação mais grossos.

A porosidade capilar também pode ser reduzida por meio da otimização da distribuição granulométrica dos materiais cimentícios, aumentando a densidade do empacotamento das partículas. Além disso, existem cimentos de alta resistência e a possibilidade de incorporar materiais reativos finamente divididos, como a sílica ativa, os quais contribuem para aumentar a densidade da matriz cimentícia e reduzir a porosidade capilar.

2.5 Propriedades químicas

2.5.1 Resistência ataque químico

Segundo a norma NBR 10545-13 (ABNT, 2020), que trata da determinação da resistência química de placas cerâmicas, são estabelecidos métodos de ensaio para avaliar essa propriedade em temperatura ambiente.

De acordo com Menegon *et al.* (2023), os testes de resistência a ataques químicos analisam a capacidade da superfície do revestimento de manter sua aparência inalterada quando exposta a substâncias químicas. Essa resistência é considerada fundamental, pois influencia tanto a estética quanto a integridade do material.

Tanto a NBR 10545-13 (ABNT, 2020) quanto os estudos de Menegon *et al.* (2023) destacam que, durante a exposição de um revestimento cerâmico a produtos químicos, fatores como temperatura e tempo de contato desempenham um papel crucial na deterioração da superfície. Isso ocorre porque:

1. O aumento da temperatura eleva a energia cinética das partículas reagentes, intensificando a taxa das reações químicas e, consequentemente, elevando a probabilidade de ataque químico à superfície;
2. O tempo de contato entre o agente químico e o substrato também impacta a severidade do ataque, pois exposições prolongadas tendem a causar danos mais expressivos.

Os autores ainda ressaltam que a cor da superfície pode sofrer alterações devido à ação química, sendo avaliada com base em matiz, saturação e intensidade. Além disso, o brilho do revestimento também pode ser afetado, uma vez que está relacionado à capacidade da superfície esmaltada refletir luz, conferindo um aspecto vítreo.

A NBR 10545-13 (ABNT, 2020) estabelece critérios para a classificação da resistência química de placas cerâmicas, utilizando códigos que indicam a natureza da superfície, o tipo de agente químico ao qual foi exposta e o nível de resistência obtido. A norma apresenta a seguinte classificação:

Natureza da superfície:

G – Superfície esmaltada

U – Superfície não esmaltada

Tipo de produto químico aplicado:

H – Alta concentração

L – Baixa concentração

Classe de resistência química:

A – Alta resistência

B – Resistência média

C – Baixa resistência

Além da NBR 10545-13 (ABNT, 2020), outra normativa relevante no contexto de resistência a ataques químicos é a NBR 16596 (ABNT, 2017a) – Rochas para revestimento – Resistência ao ataque químico – Método de ensaio. Essa norma define procedimentos para avaliação da resistência química de rochas ornamentais, considerando:

1. Os agentes químicos testados e suas concentrações;
2. Os processos de limpeza e inspeção do substrato;
3. A categorização dos tipos de ataque químico observados.

Esses parâmetros garantem uma avaliação criteriosa da durabilidade e do comportamento das rochas e revestimentos cerâmicos quando submetidos a ambientes químicos agressivos.

2.5.2 Resistência ao manchamento

Segundo Dondi *et al.* (2008), o manchamento de revestimentos cerâmicos é um fenômeno influenciado tanto por aspectos físicos quanto químicos da superfície do material e do agente manchante.

Os aspectos físicos estão relacionados à estrutura da superfície do revestimento, especialmente à presença de pequenas irregularidades que favorecem a adesão da sujeira. Essas irregularidades podem ser originadas por: poros e ondulações resultantes dos processos de sinterização e prensagem; arranhões, trincas e incisões geradas durante o polimento ou pelo uso de produtos abrasivos; desgaste mecânico causado pelo tráfego e por processos de limpeza abrasivos.

No que se refere aos aspectos químicos, os autores explicam que o manchamento está diretamente relacionado à capacidade da substância manchante de molhar a superfície do revestimento, além de sua afinidade química com o esmalte ou suporte. Essa molhabilidade é medida pelo ângulo de contato, que depende da tensão superficial do líquido:

1. Quanto menor o ângulo de contato, maior a capacidade de molhamento da superfície;
2. Soluções aquosas geralmente apresentam ângulos entre 30° e 50°;
3. Substâncias oleosas tendem a ter ângulos mais altos, entre 50° e 60°.

Os autores destacam que a afinidade química entre a substância e o revestimento é determinada por sua polaridade e pelo componente de dispersão da tensão superficial.

Dondi *et al.* (2008) ressaltam que a remoção de manchas em revestimentos cerâmicos depende de processos físicos e químicos, tais como:

1. Detergentes contendo surfactantes, que alteram a molhabilidade da superfície e facilitam a remoção da sujeira;
2. Ácidos e bases, que atuam na dissolução das substâncias manchantes;
3. Abrasivos, que são amplamente utilizados para remover partículas aderidas durante a limpeza mecânica da superfície cerâmica.

A NBR 10545-14 (ABNT, 2017b) estabelece procedimentos para simular diferentes tipos de manchamento e métodos de limpeza, abrangendo diversas

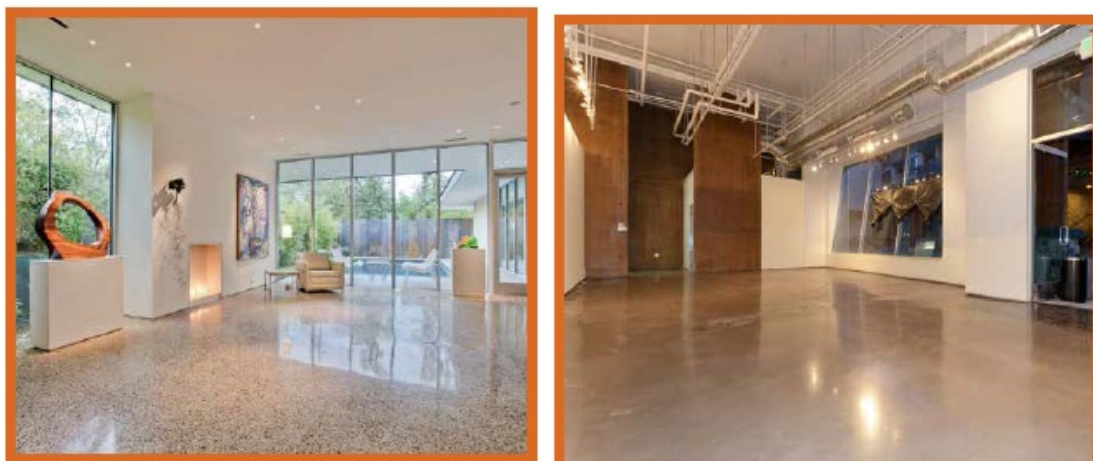
substâncias às quais os revestimentos podem ser expostos. Essa norma propõe ensaios com três agentes manchantes principais:

1. Pigmento verde Cr_2O_3 (ou Fe_2O_3 para revestimentos verdes) em óleo leve;
2. Óleo de oliva, que atua como agente formador de filme;
3. Solução de iodo em álcool (tintura de iodo), utilizada como agente oxidante.

A compreensão do comportamento das superfícies frente aos agentes manchantes não depende apenas dos resultados instrumentais, mas também da observação visual dos efeitos produzidos após o ensaio. Nesse sentido, torna-se relevante apresentar exemplos que ilustrem o impacto dos diferentes agentes previstos na norma NBR 10545-14 (ABNT, 2017b) sobre pisos lapidados. As imagens a seguir (Figura 10) evidenciam a ação do óxido de cromo verde, do óleo de oliva e da solução de iodo em álcool, antes e após os processos de limpeza, permitindo relacionar os conceitos teóricos de limpabilidade com a prática experimental.

Figura 10 – Exemplos de pisos de concreto lapidado submetidos a ensaios de manchamento com diferentes agentes (óxido de cromo verde, óleo de oliva e solução de iodo)





Fonte: Sullivan (2024).

Além da NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), os autores citam a ASTM C-1378 (ASTM, 2020) – Método de teste padrão para determinação da resistência à coloração, que avalia a reação dos revestimentos a diferentes tipos de manchas. Essa norma recomenda o uso de: soluções aquosas de azul de metileno e permanganato de potássio; tintas laváveis e não solúveis em água; toner de impressão.

Segundo Dondi *et al.* (2008), alguns fatores determinantes para a resistência ao manchamento e a facilidade de limpeza dos revestimentos cerâmicos incluem: tipo de substância manchante; aparência e textura da superfície do revestimento; tratamentos aplicados à superfície; microestrutura superficial.

Cada agente manchante interage de maneira distinta com a superfície cerâmica, seja por aderência química ou por penetração nas irregularidades superficiais, o que influencia o grau de dificuldade da limpeza.

2.6 Métodos de medição e ensaios para avaliação das propriedades mecânicas, físicas e químicas do concreto

2.6.1 Ensaio de compressão de corpos de prova

O ensaio de compressão axial é o método mais utilizado para avaliar a capacidade do concreto de resistir a cargas compressivas. Segundo Lima (2003), essa resistência é determinada por meio de testes destrutivos em amostras padronizadas, geralmente realizados aos 28 dias de cura.

O parâmetro f_{ck} , ou resistência característica à compressão do concreto, é uma medida estatística que representa o valor abaixo do qual, no máximo, 5% dos resultados de ensaio podem se situar. Isso significa que o f_{ck} não corresponde à média dos resultados, mas sim ao limite inferior da distribuição de resistências aceitáveis. Dessa forma, admite-se que até 5% dos valores estejam abaixo desse limite, desde que a produção apresente controle estatístico adequado, com média (f_{cm}) e desvio padrão compatíveis, assegurando a conformidade do lote de concreto.

Para a confecção das amostras, é essencial seguir as diretrizes das normas: NBR 5738 (ABNT, 2015a) – que define os procedimentos para a moldagem correta dos corpos de prova; NBR 5739 (ABNT, 2018) – que estabelece os procedimentos do ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos, garantindo maior precisão no controle de qualidade do concreto.

O controle rigoroso das características do concreto, tanto no estado fresco quanto após a cura completa, é fundamental para assegurar a durabilidade e a integridade estrutural das edificações.

O ensaio de compressão de corpos de prova é amplamente utilizado para avaliar a resistência mecânica do concreto, sendo normatizado pela NBR 5739 (ABNT, 2018). Segundo Mehta e Monteiro (2014), esse ensaio consiste na aplicação gradual de carga axial até a ruptura da amostra, permitindo a determinação da resistência. Esse parâmetro é fundamental para a avaliação da qualidade do concreto e a verificação da conformidade dos lotes utilizados em obras estruturais.

A resistência à compressão do concreto é influenciada por diversos fatores. De acordo com Neville (2006), a relação a/c desempenha um papel crucial, pois a quantidade de água afeta diretamente a formação da matriz cimentícia e, consequentemente, a porosidade e resistência final do material. Além disso, Lima e Silva (2017) destacam que a granulometria e o tipo de agregados utilizados na mistura também impactam o desempenho mecânico do concreto.

Os ensaios de resistência à compressão são comumente realizados aos sete e 28 dias de idade, período em que ocorre a maior parte do ganho de resistência do concreto, conforme apontado por Helene e Terzian (1992). Esses autores ressaltam que a resistência média do concreto tende a aumentar gradualmente com o tempo

de cura, desde que as condições ambientais sejam adequadas para a hidratação do cimento.

Durante o ensaio, a carga é aplicada de maneira contínua até a ruptura do corpo de prova. O valor da carga máxima suportada pela amostra é dividido pela área da seção transversal para se obter a resistência à compressão, expressa em megapascal (MPa) (Petrucci, 1987).

Além da resistência à compressão, é possível correlacionar os resultados do ensaio com outras propriedades mecânicas do concreto. Segundo Petrucci (1987), o módulo de elasticidade e a resistência à tração por compressão diametral são parâmetros que auxiliam na caracterização do desempenho estrutural do concreto em longo prazo. Portanto, a realização desse ensaio é essencial para garantir a segurança e durabilidade das estruturas de concreto.

2.6.2 Ensaio para resistência à abrasão de pisos

A ABNT NBR 9781 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos e métodos de ensaio para a aceitação de peças de concreto utilizadas em pavimentação intertravada, aplicadas em áreas sujeitas ao tráfego de pedestres, veículos e armazenamento de produtos.

A determinação da resistência à abrasão deve ser realizada conforme o Anexo C da norma. Além disso, a NBR 9781(ANEXO D) estabelece que as peças de concreto devem apresentar: aspecto homogêneo; arestas regulares e ângulos retos; ausência de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação.

A norma também permite pequenas variações de coloração nas peças de concreto, uma vez que essas diferenças podem ocorrer devido ao processo de fabricação e à variação das matérias-primas utilizadas.

Segundo Pacheco-Torgal *et al.* (2002), uma forma de avaliar a durabilidade de diferentes tipos de agregados graúdos é por meio do ensaio na máquina Los Angeles. Esse teste, regulamentado pela NBR NM 51 (ABNT, 2001), estabelece o procedimento para determinar a resistência à abrasão dos agregados graúdos.

No ensaio, a amostra de agregado é inserida na máquina com uma granulometria específica e, após ser submetida ao atrito, é peneirada novamente para medir a perda de massa causada pelo desgaste.

A NBR 7211 (ABNT, 2022), que trata da especificação de agregados para concreto, determina que o índice de desgaste por abrasão não deve ser superior a 50% da massa original da amostra. Helene e Terzian (1992) destacam que a adição de aditivos e a utilização de agregados com alta dureza mineralógica podem contribuir para o aumento da resistência à abrasão do concreto, melhorando sua durabilidade em condições de uso severas.

Outro método bastante reconhecido internacionalmente é o ensaio de abrasão Amsler-Laffon, também conhecido simplesmente como ensaio Amsler, que avalia o desgaste superficial do concreto sob a ação de um disco abrasivo rotativo. De acordo com Revuelta (2021), este método é amplamente utilizado em normas europeias e norte-americanas (EN 13892-3 e ASTM C944), sendo especialmente indicado para superfícies submetidas a tráfego intenso, como pisos industriais e pavimentos urbanos. A principal vantagem do método Amsler é a capacidade de reproduzir condições de abrasão controlada, medindo-se a perda de massa, volume ou espessura após um número específico de rotações do disco abrasivo, permitindo comparar materiais e tratamentos de superfície com precisão.

Revuelta (2021) destaca ainda que a resistência à abrasão depende diretamente de fatores como a densidade superficial, o teor de cimento, o tipo de agregado e a presença de agentes endurecedores. Assim, a adoção de ensaios como o Amsler complementa os métodos tradicionais da NBR 9781 e da máquina Los Angeles, que avaliam predominantemente a resistência ao desgaste de peças pré-moldadas ou agregados graúdos, mas não necessariamente reproduzem as condições reais de abrasão superficial em concretos moldados in loco.

Nessa perspectiva, os ensaios de abrasão são fundamentais para verificar a eficácia de tratamentos superficiais que visam aumentar a durabilidade do concreto. Medeiros, Pereira e Helene (2012) demonstraram que o uso de soluções de silicato de sódio atua como bloqueador de poros, reagindo com a portlandita e formando compostos C-S-H adicionais na camada superficial. Esse processo reduz significativamente a penetração de água e agentes agressivos, além de aumentar a dureza e a resistência à abrasão do concreto. Os autores reforçam que, em concretos não carbonatados, a aplicação do silicato resulta em uma camada menos

porosa e mais resistente ao desgaste, interferindo positivamente na cinética de corrosão e na vida útil das estruturas.

Complementarmente, Dong et al. (2023) desenvolveram um agente de tratamento superficial inovador à base de silicatos compostos, contendo silicato de potássio e de lítio, combinado com aditivos orgânicos como ureia e surfactantes. O estudo demonstrou que a aplicação desse tratamento promove o bloqueio de microporos na camada superficial, reduz a porosidade e melhora a compactação e a dureza da superfície do concreto. Os autores observaram, por meio de análises microscópicas (SEM), que a formação de gel de C-S-H e etringita na interface superfície-cimento resulta em um aumento expressivo da resistência à abrasão e impermeabilidade.

Dessa forma, o controle da resistência à abrasão em pisos de concreto envolve a seleção criteriosa dos materiais, a adequação da relação a/c e a conformidade com os ensaios normativos, garantindo maior longevidade e desempenho estrutural adequado para diferentes tipos de tráfego e solicitações mecânicas.

2.6.3 Medição de Brilho Glossmater

Segundo Coelho et al. (2022), o equipamento Glossmeter (Figura 11) é utilizado para a medição do brilho de superfícies, sendo o ângulo de medição selecionado conforme o nível de brilho esperado: 20° – para alto brilho (acima de 70 GU); 60° – para brilho médio (entre 10 e 60 GU); 85° – para baixo brilho (abaixo de 10 GU). Além disso, quando o brilho medido a 60° ultrapassar 70 GU, a medição deve ser repetida a 20° para otimizar a precisão dos resultados.

Figura 11 – Equipamento medidor de brilho TQC GL0030



Fonte: Coelho et al. (2022, p.04).

A medição de brilho em superfícies de concreto lapidado é uma etapa essencial para avaliar a qualidade estética e funcional do acabamento superficial.

Takeda (2024) destaca que o brilho do concreto lapidado é influenciado por diversos fatores, incluindo a granulometria das ferramentas abrasivas utilizadas no processo de polimento e o uso de seladores e endurecedores de superfície.

Além disso, a norma ASTM D523 (ASTM, 2018) estabelece diretrizes para a medição de brilho em superfícies, especificando a necessidade de calibração periódica dos equipamentos e condições controladas de iluminação para garantir a reprodutibilidade dos resultados (ASTM, 2018). Segundo Neville (2006), a qualidade do brilho em pisos de concreto lapidado está diretamente relacionada à densidade da superfície, sendo aprimorada pelo uso de endurecedores químicos que reduzem a porosidade e aumentam a reflexão da luz.

Assim, a utilização do Glossmeter como ferramenta de avaliação é fundamental para padronizar e comparar diferentes acabamentos em pisos de concreto lapidado, garantindo não apenas um aspecto estético aprimorado, mas também um desempenho superior em termos de resistência e durabilidade.

2.6.4 Medição de rugosidade superficial – Rugosímetro e *Smartzoom*

De acordo com as normas ABNT NBR 4288 (ABNT, 2008) e ABNT NBR 4287 (ABNT, 2002), a rugosidade da superfície pode ser medida e avaliada por meio de instrumento eletrônico denominado rugosímetro. Esse equipamento, como o rugosímetro possui uma resolução de 0,1 μm (10 μinch) ou 0,01 μm (1 μinch), fornece dados como: rugosidade média (R_a); profundidade média da rugosidade (R_z), ambos expressos em micrômetros (μm). Além disso, segundo os autores

Birleanu *et al.* (2020), evidenciam em sua pesquisa a utilização do microscópio digital *Smartzoom 5*, que possibilita uma análise microscópica da superfície analisada, permitindo gerar imagens em 3D da região superficial de interesse, sendo útil para obter-se imagens pontuais para avaliação da rugosidade do substrato e possíveis irregularidades e geometrias da superfície.

A rugosidade superficial desempenha um papel essencial no comportamento mecânico de materiais e componentes, podendo influenciar: a qualidade do deslizamento; a resistência ao desgaste e à corrosão; a eficiência da vedação; aspectos estéticos da superfície. A rugosidade está presente em superfícies obtidas por processos de fabricação e acabamento que envolvem remoção de material (MRR), tais como serrar, desbastar, tornear, furar e plainar.

De acordo com Zhong (2020), a rugosidade superficial afeta significativamente o comportamento mecânico de um material, influenciando sua resistência ao atrito, desgaste e até mesmo a propagação de fissuras. No caso do concreto, a rugosidade da superfície pode determinar a qualidade da adesão entre diferentes camadas de materiais, como revestimentos, pinturas ou impermeabilizantes. Estudos indicam que superfícies mais rugosas apresentam maior área de contato, favorecendo a aderência mecânica e melhorando a resistência ao cisalhamento.

Além disso, o acabamento da superfície de pisos de concreto lapidado está diretamente relacionado à sua rugosidade. Segundo Revuelta (2021), o polimento abrasivo é um método amplamente utilizado para reduzir a rugosidade superficial, proporcionando um acabamento mais uniforme e aumentando a refletância da luz. Esse processo consiste na aplicação sequencial de abrasivos de diferentes granulometrias, resultando em um controle preciso dos parâmetros de rugosidade. A relação entre rugosidade e brilho é inversamente proporcional, ou seja, superfícies mais lisas apresentam maior brilho, enquanto superfícies ásperas tendem a difundir a luz e reduzir o brilho percebido.

Ainda, conforme Mainz e Zilch (1998 *apud* Revuelta, 2021) e Tschegg *et al.* (2000 *apud* Revuelta, 2021), a rugosidade da superfície pode influenciar a resistência à abrasão e a penetração de agentes agressivos, como cloretos e sulfatos. Materiais com baixa rugosidade tendem a apresentar menor

permeabilidade, reduzindo a incidência de danos causados por processos de degradação química e física.

2.6.5 Ensaio de Dureza Superficial por Esclerometria

Segundo diversos autores (Malhotra; Carette, 1980; Mehta; Monteiro, 2014), o esclerômetro é um método não destrutivo utilizado para medir a dureza superficial do concreto, auxiliando na avaliação da resistência do material endurecido. Esse equipamento é portátil, de operação simples e custo acessível.

O funcionamento do esclerômetro baseia-se em um martelo impulsionado por uma mola, que se desloca dentro de um pistão. O operador aplica pressão sobre o pistão contra a superfície do concreto; o concreto resiste à força da mola; quando a mola atinge sua máxima extensão, libera-se automaticamente, fazendo com que o martelo impacte o êmbolo; o êmbolo atinge a superfície do concreto, e a força de recuo da mola move um ponteiro ao longo de uma escala graduada, indicando o valor do impacto (Castro *et al.*, 2011).

Para a avaliação da dureza superficial com o esclerômetro de reflexão, devem-se seguir os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 7584 (ABNT, 2012). Esse método mede a dureza da superfície do concreto e permite avaliar sua qualidade no estado endurecido, utilizando como parâmetro de controle o Índice Esclerométrico (IE).

2.6.6 Resistência ao risco - Avaliação da dureza superficial pela escala de Mohs

Por volta de 1822, o geólogo alemão Friedrich Mohs desenvolveu uma escala ordinal qualitativa para caracterizar a resistência ao risco de diferentes minerais. Essa escala baseia-se na capacidade de um material mais duro riscar um material mais macio.

Embora seja um teste simples, o ensaio de dureza de Mohs apresenta certa imprecisão, pois diversos minerais podem apresentar dureza variável, dependendo de sua composição química e de substituições iônicas na estrutura cristalina (Schumann, 2008; Richardson, 2001; Klein, 2015).

Conforme exposto por Schumann (2008), Richardson (2001) Klein (2015), Mohs definiu uma escala com 10 minerais, em que o diamante possui a maior dureza e o talco, a menor.

Atualmente, sabe-se que existem minerais mais duros que o diamante, porém, devido à sua baixa disponibilidade na natureza, eles não foram considerados na escala de Mohs (Figura 12). A escala estabelece que: o diamante pode riscar todos os demais minerais; o corindo, o segundo mineral na escala, pode riscar todos os outros, exceto o diamante; esse princípio se aplica aos demais minerais até chegar ao talco, que não tem capacidade de riscar nenhum outro mineral, devido à sua baixa dureza.

Figura 12 – Escala de Dureza Mohs

Escala de Mohs	
Dureza	Mineral
10	Diamante
9	Corindon
8	Topázio
7	Quartzo
6	Feldspato
5	Apatita
4	Fluorita
3	Calcita
2	Gipsita
1	Talco

Fonte: Moreno Ramón e Ibáñez Asensio (2008, p.05).

Além disso, se dois minerais possuírem a mesma dureza, não haverá risco visível em suas superfícies, ou, caso ocorra, o risco será tão sutil que não poderá ser identificado a olho nu (Schumann, 2008; Richardson, 2001; Klein, 2015).

2.6.7 Ensaio de resistência ao ataque químico

Para a avaliação da resistência ao ataque químico em revestimentos, como os revestimentos cerâmicos, adota-se a ABNT NBR 10545-13 (ABNT, 2020). Essa normativa estabelece critérios de classificação para revestimentos cerâmicos, incluindo sua resistência a agentes químicos.

Segundo Menegon *et al.* (2023) e a ABNT NBR 10545-13 (ABNT, 2020), algumas características do revestimento podem ser afetadas pela ação química, como: a cor, que é avaliada com base em matiz, intensidade e saturação; o brilho, que pode sofrer alterações, pois está relacionado à capacidade da superfície esmaltada de refletir luz, conferindo um aspecto vítreo. No entanto, essa característica não se aplica a esmaltes mates.

Além da NBR 10545-13 (ABNT, 2020), outra normativa relevante para a avaliação da resistência ao ataque químico é a NBR 16596 (ABNT, 2017a). Essa norma define procedimentos e ensaios para avaliar o ataque químico em rochas utilizadas como materiais de revestimento em edificações.

O ensaio consiste em expor a superfície da rocha polida a determinados reagentes químicos por um período predeterminado. Os reagentes utilizados no teste incluem substâncias comumente presentes em produtos de limpeza domésticos, tais como: cloreto de amônio; hipoclorito de sódio; ácido cítrico; ácido láctico; ácido acético; ácido clorídrico; hidróxido de potássio; água deionizada. Esses ensaios garantem que os materiais de revestimento apresentem desempenho adequado e resistência química compatível com sua aplicação.

2.6.8 Ensaio de resistência ao manchamento

A resistência ao manchamento de revestimentos cerâmicos é avaliada conforme as diretrizes da NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), que classifica os materiais de acordo com a facilidade e eficiência na remoção de manchas causadas por substâncias comuns do dia a dia. A norma estabelece que a classificação dos revestimentos está diretamente relacionada ao método de limpeza necessário para remover a mancha. Além da NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), também é relevante mencionar a NBR 15463 (ABNT, 2013), que trata especificamente do porcelanato. Já a NBR 13818 (ABNT, 1997), anteriormente aplicada a esse contexto, foi descontinuada.

De acordo com a NBR 10545-14 (ABNT, 2017b) e Disner *et al.* (2021), os agentes de ação química são substâncias que podem provocar ataque químico ao substrato e são classificados em três grupos principais. Os agentes penetrantes com coloração possuem potencial de penetração no material por meio de sua porosidade

superficial. Os agentes oxidantes, além de manchantes, têm a capacidade de oxidar a superfície do revestimento. Já os agentes formadores de película promovem a formação de uma camada contínua e resistente sobre a superfície do revestimento. A norma também permite a utilização de outros agentes manchantes e produtos de limpeza, desde que haja uma avaliação prévia. Os agentes padrão estabelecidos incluem: óxido de cromo verde ou óxido de ferro vermelho em óleo leve, no caso dos agentes penetrantes; iodo em solução alcoólica, para os agentes oxidantes; e óleo de oliva, como exemplo de agente formador de película.

Disner *et al.* (2021) ressaltam que irregularidades na superfície do revestimento aumentam a susceptibilidade à adesão de partículas, dificultando sua remoção. No caso do porcelanato polido, a abertura de poros remanescentes do processo produtivo pode comprometer sua resistência ao manchamento. Segundo Alves *et al.* (2011 *apud* Disner *et al.*, 2021), os poros abertos gerados no polimento do substrato, que podem torná-lo mais vulnerável ao manchamento, apresentam diâmetro entre cinco e 20 μm e encontram-se entre 0,5 e 1,5 mm da superfície da peça antes do polimento. Essa característica pode influenciar diretamente a qualidade do acabamento e a resistência do revestimento a agentes externos.

2.6.9 Avaliação da planicidade

Segundo Loprencipe e Cantisani (2015), no contexto das tecnologias aplicadas a pavimentos de concreto, os pisos industriais apresentam particularidades que exigem atenção especial. Para essas estruturas, é essencial garantir resistência, estabilidade, durabilidade, confiabilidade e diversas outras propriedades. Entre os requisitos mais importantes, destacam-se a planicidade e o nivelamento, que influenciam diretamente o desempenho funcional do pavimento, especialmente em ambientes que demandam circulação de veículos e mercadorias ou armazenamento em prateleiras elevadas.

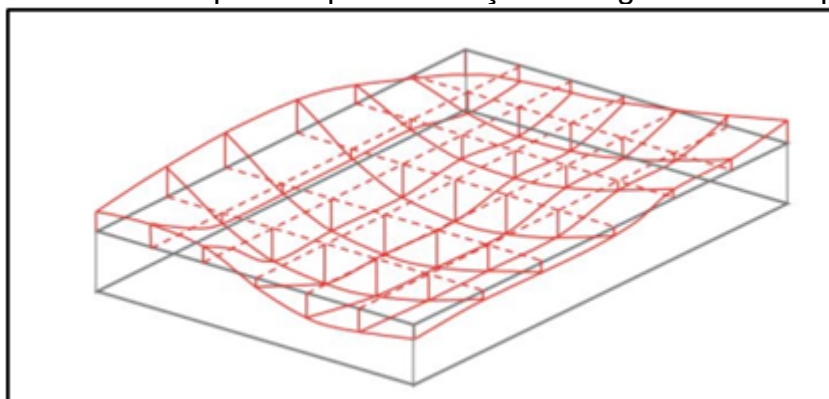
As propriedades geométricas da superfície do pavimento podem ser definidas de diferentes maneiras, mas, em todos os casos, referem-se à necessidade de que o piso seja plano, sem áreas elevadas ou depressões, e nivelado horizontalmente, sem desníveis ou curvaturas acentuadas. Os limites de aceitação dessas características são estabelecidos por normas técnicas, que também definem os métodos apropriados para medições e controles. No entanto, em muitos casos,

esses métodos podem ser considerados inviáveis ou de difícil execução, especialmente quando é necessária uma amostragem contínua do pavimento ao longo de alinhamentos pré-definidos.

Os autores citam os procedimentos operacionais para o cálculo dos índices *Floor Flatness* (FF) e *Floor Levelness* (FL), conforme estabelecido na norma ASTM E1155M-23 (ASTM, 2023), a partir de dados obtidos por um perfilômetro de contato. Além disso, apontam dois métodos principais para melhorar a planicidade e o nivelamento do pavimento, sem comprometer suas demais propriedades funcionais, sendo eles: o corte abrasivo e o polimento abrasivo com resinas de alta resistência.

Conforme ilustrado na Figura 13, a regularidade do pavimento é geralmente determinada pela avaliação das diferenças de cota entre pontos da superfície real em relação a um plano de referência ideal. Para simplificar a medição dessa característica, é comum se utilizar alinhamentos lineares como perfis de superfície (Loprencipe; Cantisani, 2015).

Figura 13 – Perfis de superfície para avaliação da regularidade de pavimentos



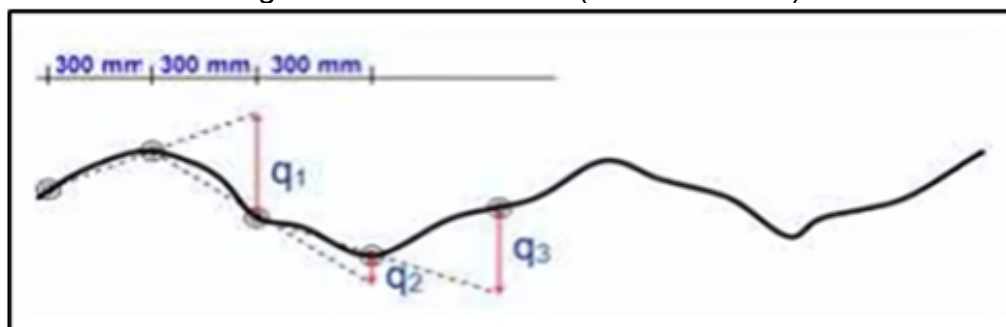
Fonte: Loprencipe e Cantisani (2015, p. 15).

Segundo Chodounsky e Viecili (2007), o controle do acabamento superficial é realizado por meio dos *F-Numbers*, um sistema introduzido em 1987, que permite especificar e mensurar valores de planicidade e nivelamento dos pisos com base na norma americana ASTM E1155M-23 (ASTM, 2023).

A planicidade, também denominada *Floor Flatness* (FF), é definida pela máxima curvatura do piso em um intervalo de 600 mm, sendo calculada a partir de

duas medições sucessivas de elevações diferenciais, tomadas a cada 300 mm (Chodounsky; Viecili, 2007). A Figura 14 mostra a representação dessa medição.

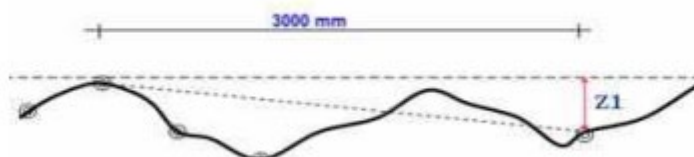
Figura 14 – Planicidade (*Floor Flatness*)



Fonte: Chodounsky e Viecili (2007, p. 29).

O *Floor Levelness* (FL), ou nivelamento, é definido pela conformidade relativa da superfície em relação a um plano de referência, sendo sua medição realizada a cada três metros (Chodounsky; Viecili, 2007). A Figura 15 ilustra a forma como essa medição é realizada.

Figura 15 - Nivelamento (*Floor Levelness*)



Fonte: Chodounsky e Viecili (2007, p.30).

Os *F-Numbers* são determinados com base em dois parâmetros principais: o valor global (*Specified Overall Value* – SOV) e o valor mínimo local (*Minimum Local Value* – MLV). O valor global corresponde à média ponderada dos resultados obtidos na área analisada, enquanto o valor mínimo local representa o menor valor aceitável para qualquer trecho do piso, estabelecendo assim a qualidade mínima do pavimento.

De acordo com Chodounsky e Viecili (2007), é comum adotar o valor global como sendo 1,5 vezes o valor mínimo local, ou, alternativamente, considerar o valor mínimo local como 2/3 do valor global. A medição dos *F-Numbers* é realizada por meio de um equipamento denominado *dipstick floor profiler*, ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Leitor de *F-Numbers* (*Dipstick Floor Profiler*)



Fonte: Chodounsky e Viecili (2007, p.30).

Segundo Bernardo (2016), as medições de planicidade e nivelamento devem ser realizadas entre 24 e 72 horas após o término das operações de acabamento superficial do concreto, conforme estabelecido na norma americana ASTM E1155M-23 (ASTM, 2023).

2.7 Importância dos tratamentos superficiais na proteção e melhoria das propriedades do concreto

Segundo Garbacz *et al.* (2005), o tratamento da superfície do concreto tem como objetivo eliminar camadas que possam comprometer a aderência e aumentar a rugosidade do substrato, ampliando a área de contato. A limpeza adequada da superfície é fundamental para garantir uma boa aderência do revestimento, sendo a presença de desmoldantes, impermeabilidade e a rugosidade fatores essenciais que podem influenciar a adesão entre o revestimento e o substrato de concreto (Ceotto *et al.*, 2005).

A norma europeia EN 1504-10: 2003 (CEN, 2003) estabelece requisitos mínimos para a preparação de substratos de concreto, determinando que a superfície deve estar compacta, seca, coesa e livre de poeira, óleos ou hidrocarbonetos. Já Carvalho Jr. (2005) recomenda a remoção da película de desmoldante da superfície do concreto por meio do uso de escovas com cerdas de aço, detergente e hidrojateamento, além da retirada de pregos e arames das fôrmas, que devem ser tratados com zarcão de qualidade.

Em um estudo realizado por Carasek *et al.* (2005), que investigou os fatores que levam ao descolamento de revestimentos aplicados em substratos de concreto, foi constatado que a baixa aderência estava diretamente relacionada à falta de limpeza adequada do substrato. O preparo da superfície pode envolver diferentes técnicas, como lixamento, escovação, hidrojateamento e corte por meio de desbaste, dependendo das condições específicas de cada substrato (Pretto, 2007).

2.7.1 Tipos de tratamentos superficiais

Thissen *et al.* (2024) destacam a importância dos tratamentos químicos de superfície para materiais cimentícios, enfatizando que sua aplicação pode melhorar as propriedades mecânicas e aumentar a durabilidade das estruturas de concreto. Os autores classificam esses tratamentos com base em sua composição química, em três categorias principais: tratamentos orgânicos, tratamentos com nanomateriais e tratamentos inorgânicos.

Além dessa categorização, os autores apresentam uma classificação baseada na função dos revestimentos, que inclui: (a) revestimentos de superfície que formam uma película contínua, criando uma barreira física contra substâncias agressivas, (b) impregnações hidrofóbicas, que tornam a camada superficial repelente à água sem obstruir os poros, (c) tratamentos de bloqueio de poros, que reduzem a porosidade superficial ao preencher parcialmente os poros capilares, e (d) tratamentos de superfície multifuncionais, que combinam pelo menos duas dessas funções.

A norma europeia EN 1504-2:2004 (CEN, 2004), por sua vez, classifica os tratamentos superficiais em três grupos principais: impregnação hidrofóbica, impregnação e revestimentos. Segundo Pan *et al.* (2017), os tratamentos de superfície mais comuns incluem revestimentos acrílicos, epóxi, poliuretano, silanos, silicato de sódio, siloxanos e nano-SiO₂. Esses tratamentos impactam diretamente diversas propriedades mecânicas e físicas do concreto, como permeabilidade à água, migração de cloretos, ataque de sulfatos e resistência à carbonatação.

Outro aspecto relevante analisado por Pan *et al.* (2017) e Dong *et al.* (2023) refere-se à longevidade do concreto tratado e sua resistência à abrasão. Os estudos indicam que diferentes tratamentos de superfície podem contribuir significativamente para o aumento da resistência abrasiva do concreto, sendo os tratamentos orgânicos particularmente eficazes. Entre esses tratamentos, destacam-se

revestimentos com epóxi, silanos, resina de fibra de poliéster, resina acrílica, vinil, silicone e revestimentos à base de cimento.

Conforme Thissen *et al.* (2024), os tratamentos aplicados ao substrato de concreto são essenciais, principalmente porque o concreto é um material naturalmente poroso, com microfissuras na matriz cimentícia, o que o torna vulnerável à penetração de água, fluidos agressivos e íons solúveis. Os autores ressaltam que, quando expostas a ambientes agressivos, as estruturas de concreto apresentam redução progressiva da vida útil, devido tanto à degradação química quanto à degradação física.

2.7.1.1 GM 3000

Estudos citados por Ebnesajjad e Landrock (2015), Yaowarat *et al.* (2021) e Nicolini *et al.* (2022) destacam que os ligantes à base de látex são elastoméricos derivados de borracha natural (NRL) ou sintética, podendo ser empregados como aditivos de ligação para rejuntamento, preenchimento de poros e fissuras em superfícies de concreto, devido à sua capacidade de melhorar a impermeabilidade.

Segundo os autores, o látex é uma dispersão estável de um material polimérico em meio aquoso, sendo comumente comparado à emulsão, que consiste em uma mistura estável de dois ou mais líquidos imiscíveis, mantidos em suspensão por pequenas quantidades de emulsificantes. Em muitos casos, os termos látex e emulsão são utilizados de forma intercambiável.

De acordo com Ebnesajjad e Landrock (2015), existem três tipos de látex:

1. Látex natural, obtido principalmente da seringueira;
2. Látex sintético, produzido a partir de dispersões aquosas de polímeros obtidos por polimerização em emulsão, incluindo polímeros como cloropreno, butadieno-estireno, butadieno-acrilonitrila, acetato de vinila, acrilato, metacrilato, cloreto de vinila, estireno e cloreto de vinilideno;
3. Látex artificial, fabricado a partir da dispersão de polímeros sólidos, como borracha recuperada, borracha butílica, breu e seus derivados, asfalto e resinas sintéticas derivadas de alcatrão de hulha e petróleo.

Ainda segundo Ebnesajjad e Landrock (2015), os ligantes à base de látex podem ser aplicados por jateamento, spray, pincel ou rolo, e suas técnicas de aplicação são semelhantes às utilizadas para solventes.

Já Nicolini *et al.* (2022) discutem algumas desvantagens do concreto convencional à base de cimento, como alta rigidez, baixa resistência à tração, elevada retração após a secagem, baixa resistência química e longo tempo de cura. Os autores ressaltam que diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para mitigar essas limitações, especialmente com o uso de polímeros em diferentes formas, como látex, polímeros redispersíveis em pó, polímeros solúveis em água, resinas líquidas e monômeros polimerizados *in situ*. A aplicação desses polímeros possibilita melhorias significativas nas propriedades e no desempenho do concreto, promovendo maior resistência mecânica, impermeabilização da superfície, resistência química, melhor aderência ao substrato e maior durabilidade.

2.7.1.2 Endurecedores de superfície

Dong *et al.* (2023) e Mehta e Monteiro (2014) destacam que as soluções endurecedoras, como as à base de silicato de sódio, silicato de potássio e silicato de lítio, são os principais agentes de tratamento de superfície para concreto. Esses produtos podem ser aplicados tanto em pisos recém-executados quanto em pisos antigos e desgastados, reagindo com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland para formar compostos insolúveis. Esse processo sela os poros capilares e melhora a resistência à abrasão, além de aumentar propriedades como dureza, impermeabilidade e durabilidade química, devido à película protetora formada na camada superior da superfície.

Piccoli *et al.* (1997) descrevem que a aplicação de endurecedores líquidos no concreto desencadeia uma reação química com os componentes hidratados do cimento, resultando na formação de compostos de maior dureza. Essa reação melhora significativamente a resistência ao desgaste e a impermeabilidade do concreto, promovendo uma vitrificação profunda do piso, que pode atingir mais de 4 mm de profundidade. Além disso, esses produtos reduzem a formação de poeira, um problema comum em superfícies de concreto desgastadas. Embora a composição varie entre fabricantes, os endurecedores geralmente contêm

componentes inorgânicos que reagem com o hidróxido de cálcio ou a cal livre presente no concreto.

Segundo Dong *et al.* (2023), a solução de silicato é o agente de tratamento inorgânico mais utilizado para a proteção de superfícies de concreto. Os silicatos de sódio solúveis têm aplicações amplas na indústria do cimento, desempenhando um papel essencial no revestimento e na proteção do concreto. Diferentemente de selantes hidrofóbicos, que formam apenas uma barreira física, os silicatos penetram na superfície do concreto, reagindo com a portlandita e formando um gel de C-S-H. Essa reação química resulta em melhora significativa das propriedades da superfície, incluindo redução da permeabilidade, aumento da dureza e maior durabilidade do substrato.

Medeiros *et al.* (2012) e Thompson *et al.* (1997) ressaltam que o silicato de sódio é amplamente utilizado na indústria do cimento em aplicações como redutor de umidade no processo de produção do clínquer, acelerador de pega de concreto projetado, ativador de cimento de escória e agente de proteção de superfície para concreto. Esse tratamento torna a camada superficial do concreto menos porosa, reduzindo a penetração de água e agentes agressivos. No entanto, a eficácia do tratamento depende da idade do concreto.

Em estruturas carbonatadas, onde o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) já reagiu com o CO_2 para formar carbonato de cálcio (CaCO_3), a reação com o silicato de sódio não ocorre. Dessa forma, para alcançar redução significativa na absorção de água, o endurecedor de superfície deve ser aplicado diversas vezes em concretos mais jovens, garantindo um tratamento eficaz da superfície.

2.7.1.3 Selador

Segundo Bastos e Pinheiro (2024), Thissen *et al.* (2024), Franzoni *et al.* (2013) e Xiong *et al.* (2022), os seladores à base de água ou solvente, classificados como agentes de tratamento inorgânico, têm a função de penetrar na superfície do concreto, proporcionando maior proteção ao substrato. Esses produtos conferem ao revestimento uma aparência semelhante ao concreto lapidado, tornando-o mais resistente a gorduras, óleos e água, sem comprometer a capacidade de respiração da camada superficial.

De acordo com os autores, o selador cria uma barreira hidrofóbica, impedindo a penetração da maioria dos líquidos na superfície. Além disso, os seladores à base de água ou solvente não geram bolhas, não causam desgaste e não deixam marcas na camada superficial. Outro aspecto relevante é que esses produtos são estáveis à radiação ultravioleta (UV), minimizando mudanças na coloração do substrato após a aplicação.

Segundo Thissen *et al.* (2024), a aplicação de agentes de tratamento, como seladores, proporciona proteção contra influências externas, incluindo radiação UV, intemperismo, agentes químicos e desgaste. Além disso, a utilização desses produtos pode ser essencial em áreas de alto tráfego, como estacionamentos, ambientes industriais e comerciais, devido à melhoria na resistência mecânica da superfície.

Outro benefício relevante dos agentes de tratamento está na estética do concreto, uma vez que eles podem intensificar o brilho da superfície ou modificar sua textura. Também há ganhos em impermeabilidade, pois o concreto, por ser naturalmente poroso, pode absorver água, facilitando a entrada de substâncias deteriorantes e provocando processos como lixiviação. Além disso, a aplicação desses produtos contribui para a higienização do ambiente, tornando a manutenção da superfície mais eficiente, especialmente em locais como hospitais ou espaços com rigorosos requisitos sanitários, prevenindo o acúmulo de poeira.

Para Franzoni *et al.* (2013), os agentes de tratamento superficial inorgânicos, como soluções aquosas de solventes, silicato de sódio, silicato de potássio e fluossilicatos, apresentam melhor desempenho em comparação aos agentes orgânicos. Isso ocorre porque os tratamentos orgânicos tendem a perder rapidamente suas propriedades iniciais quando expostos a fatores externos, como radiação UV, oxigênio, umidade, poluentes e variações de temperatura. Além disso, os agentes orgânicos possuem menor durabilidade, pois apresentam baixa compatibilidade físico-mecânica com o concreto, o que pode resultar em rachaduras e desprendimento da camada superficial.

2.8 Materiais abrasivos diamantados

Conforme Sigalas e Economou (2013), o diamante industrial tornou-se amplamente acessível, oferecendo uma variedade crescente de tamanhos e

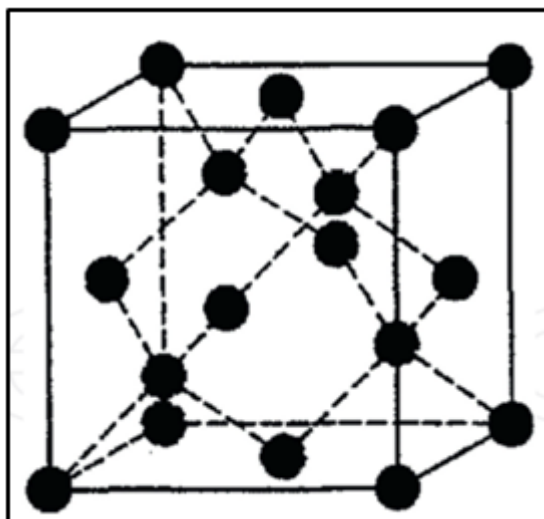
apresentando características aprimoradas, como maior resistência. Os avanços promovidos por fabricantes de ferramentas abrasivas e equipamentos para desbaste contribuíram para a melhoria da eficiência e da economia no processamento de rochas naturais duras, como granito, e de concreto, tornando o desbaste mais eficaz.

Quando aplicado em pisos, os abrasivos diamantados proporcionam maior resistência a ataques químicos e à descoloração, especialmente em ambientes urbanos, sendo amplamente utilizados como revestimento externo. Esse crescimento na aplicação resultou em um aumento contínuo na demanda por abrasivos diamantados. Para o corte de pedras e concreto, utilizam-se abrasivos diamantados com alta resistência ao impacto e grãos relativamente grossos, garantindo maior durabilidade e eficiência no processo.

Segundo Sharma e Dubey (2023), o diamante se destaca por sua alta dureza, excepcional resistência ao desgaste, estabilidade química e longa vida útil, fatores que impulsionam sua popularidade nas operações de engenharia e em diversas aplicações tecnológicas. Os autores ressaltam que as propriedades mecânicas e físicas do diamante variam não apenas entre diferentes planos cristalográficos, mas também em distintas direções cristalográficas dentro de um mesmo plano, o que influencia seu desempenho e sua aplicabilidade em processos de desbaste e polimento.

Conforme representado na Figura 17, o diamante é uma forma alotrópica cristalina do carbono, apresentando uma estrutura cristalina cúbica com um parâmetro de rede de 0,3567 nm. Segundo Sharma e Dubey (2023), o diamante possui propriedades excepcionais que o tornam um material de referência para ferramentas de corte.

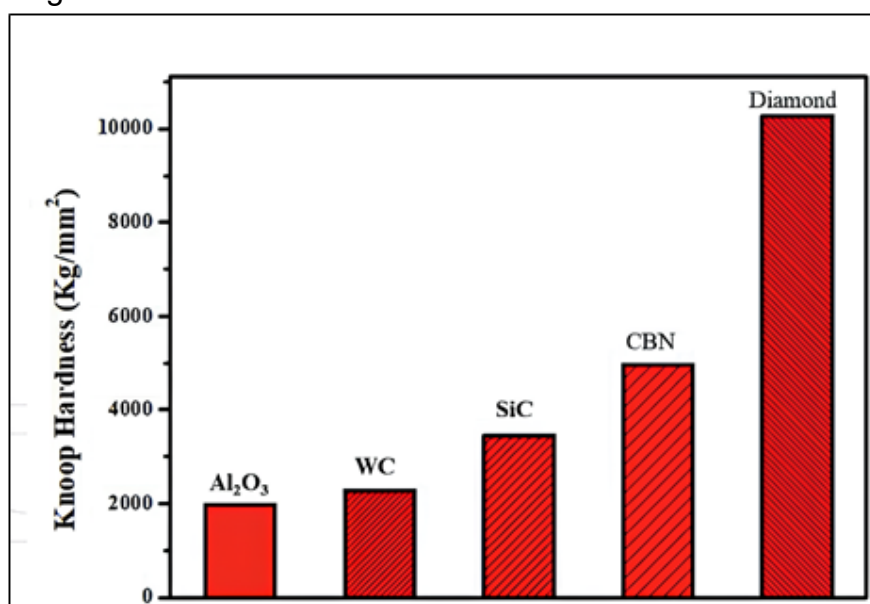
Figura 17 - Estrutura cristalina de um único cristal de diamante



Fonte: Sharma e Dubey (2023, p. 05).

Entre suas principais características, destaca-se sua extrema dureza (Figura 18), sendo o material natural mais duro conhecido e o mais resistente entre aqueles utilizados em ferramentas de corte. Além disso, o diamante apresenta elevada resistência, alta rigidez e maior densidade de átomos, além de possuir a maior condutividade térmica de qualquer sólido à temperatura ambiente, tornando-se um material altamente eficiente para aplicações industriais e tecnológicas (Tabela 7).

Figura 18 - Dureza de diversas ferramentas de diamantados



Fonte: Sharma e Dubey (2023, p. 06).

Tabela 7 - Nomenclatura dos materiais diamantados

Sigla	Nomenclatura
cBN	Nitreto Cúbico de Boro
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
SiC	Carbeto de Silício
ZrO ₂	Óxido de Zircônia
MRR	Taxa de Remoção de Metal

Fonte: Traduzido e adaptado pelo autor, de Bhowmik (2019, p. 2861).

A Tabela 8 apresenta as propriedades mecânicas do diamante, classificando-o em quatro categorias distintas: diamante natural, diamante sintético, diamante CVD e carbono tipo diamante (DLC), conforme descrito por Sharma e Dubey (2023).

Tabela 8 - Propriedades mecânicas do diamante	
Propriedade	Valores
Densidade (kg/m ³)	3520
Módulo Elástico (GPa)	910 – 1250
Resistência à Compressão (GPa)	8,68 – 16,53
Dureza Knoop (Kg/mm ²)	5.700 – 10.400 (geral)
	7.500 – 10.400 (plano 111)
	6.900 – 9.600 (plano 100)
Razão de Poisson	0,07 – 0,16
Coeficiente de Atrito Diamante sobre D	0,05 – 0,15 (no ar)
	~1 (no vácuo)

Fonte: Sharma e Dubey (2023, p. 06).

Os abrasivos de diamante são ferramentas de ultra dureza amplamente utilizadas, conforme destacado por Cai *et al.* (2022). Durante o processo de desbaste, os grãos abrasivos sofrem um desgaste gradual, tornando-se arredondados e reduzidos devido à ação do atrito e da força de extrusão. Esse fenômeno pode levar ao escorregamento dos grãos sobre a superfície de trabalho,

causando vibrações e ruídos, o que pode comprometer a precisão e a rugosidade da superfície, além de reduzir a eficiência e o desempenho do processo.

Segundo Soltani e Tayebi (2020), os compósitos à base de diamante sintético apresentam excelente desempenho como ferramentas de corte para rochas decorativas, devido à sua alta dureza, estabilidade térmica e resistência ao impacto. A qualidade desses compósitos é influenciada por fatores como tamanho dos grãos de diamante, tipo de aglutinante, propriedades das interfaces e parâmetros de produção.

Na aplicação específica de compostos de diamante com ligante metálico, diferentes mecanismos de desgaste superficial podem ser observados, incluindo desgaste adesivo, abrasivo e fadiga superficial. O desgaste adesivo ocorre pela formação e quebra de ligações adesivas interfaciais, enquanto o desgaste abrasivo resulta da ação de partículas duras, que desgastam a superfície da ferramenta ao entrar em contato com protuberâncias rígidas, como partículas de pedras duras (cavacos). Além disso, fatores como movimentos de deslizamento, rolamento, oscilações, impactos e desgaste erosivo também influenciam o desempenho da ferramenta. Já a fadiga da superfície ocorre devido ao estresse cíclico aplicado ao longo do tempo. Os grãos de diamante sintético, embora possuam alta dureza e rigidez, apresentam baixa resistência e notável fragilidade, conforme apontado por Soltani e Tayebi (2020).

O avanço da tecnologia de desbaste passou por três estágios distintos: desbaste comum, desbaste de precisão e desbaste de ultra precisão (Zhou *et al.*, 2000). Com a evolução dos materiais, os rebolos convencionais tornaram-se insuficientes para o processamento necessário, destacando-se a crescente relevância dos discos diamantados abrasivos, que passaram a desempenhar um papel essencial na indústria, expandindo rapidamente sua aplicação.

A precisão na modelagem e a topografia da ferramenta são aspectos cruciais para avaliar a qualidade dos abrasivos de diamante. A precisão de modelagem influencia diretamente a exatidão dimensional e a qualidade da superfície da peça desbastada, enquanto a topografia afeta a retenção dos grãos abrasivos e o espaço disponível para retenção de fragmentos ao redor deles (Cai *et al.*, 2022).

Além desses fatores, o tamanho das partículas e a proporção de peso dos grãos de diamante na pasta abrasiva desempenham um papel essencial na

aplicação, garantindo arranhões uniformes na profundidade da peça trabalhada, conforme apontado por Bissonnette *et al.* (2016).

Conforme ilustrado na Figura 19, o diamante HTC EZ H Synthetic apresenta um formato projetado para operações de polimento de alta eficiência, sendo utilizado em superfícies de concreto com diferentes níveis de dureza. Já a Figura 20 mostra uma variação do mesmo modelo, com destaque para o aglutinante duro e os segmentos de pó de diamante de pequeno diâmetro, que proporcionam maior precisão no acabamento superficial.

Figura 19 - Diamante HTC EZ H Synthetic



Fonte: Catálogo Técnico HTC (2020, p.147).

Figura 20 - Diamante HTC EZ H Synthetic



Fonte: Catálogo Técnico HTC (2020, p. 147).

Segundo Sigalas e Economou (2013), o diamante sintético tem desempenhado um papel fundamental nos avanços tecnológicos das últimas cinco décadas, não apenas no desenvolvimento da tecnologia diamantada, mas também na ampliação das diversas aplicações industriais em que é utilizado.

A disponibilidade comercial do diamante sintético trouxe duas vantagens essenciais. Primeiramente, possibilitou uma oferta praticamente ilimitada de diamante industrial, superando as restrições de volume do material natural. Em

segundo lugar, permitiu a produção de materiais de engenharia com propriedades específicas, adequadas para aplicações industriais específicas.

Atualmente, cerca de 90% dos diamantes utilizados são sintéticos, enquanto apenas 10% são naturais. O principal uso desses diamantes está relacionado ao desbaste e à usinagem de rochas e concreto. Já os diamantes de granulometria mais fina são amplamente aplicados em retificação, polimento abrasivo, serragem, acabamento de vidro e em diversos materiais industriais e de engenharia, especialmente não ferrosos.

Na Figura 21 são apresentadas ferramentas diamantadas de nitreto de boro cúbico (cBN). Conforme discutido por Sigalas e Economou (2013), após o sucesso da síntese comercial do diamante na década de 1950, o cBN, considerado o segundo material mais duro conhecido, foi obtido sob condições de alta pressão e temperatura (HPHT), geralmente a partir do nitreto de boro hexagonal (hBN).

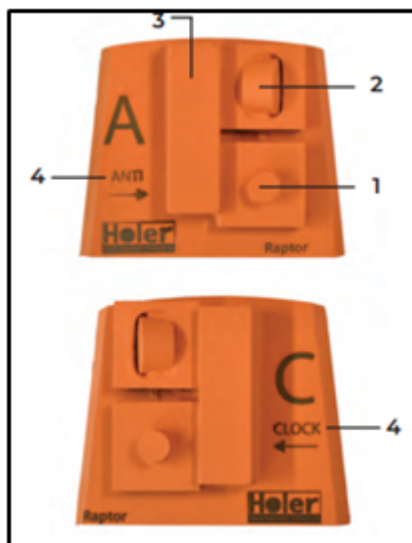
Figura 21 - Diamante HTC EZ M Series cBN



Fonte: Catálogo Técnico HTC (2020, p. 147).

Sua introdução no mercado ocorreu entre as décadas de 1960 e 1970, oferecendo propriedades complementares às do diamante. Durante processos de desbaste e usinagem, o ferro e seus elementos de liga em materiais ferrosos tendem a reagir quimicamente com o diamante, reduzindo a eficiência da ferramenta. Por outro lado, o cBN, embora apresente menor dureza, possui a vantagem de não reagir quimicamente com o ferro, tornando-se uma alternativa ideal para aplicações em materiais ferrosos duros e proporcionando benefícios específicos nesses processos (Sigalas; Economou, 2013), como exemplificado na Figura 22, que apresenta um diamante policristalino (PCD) utilizado em operações de corte de alta precisão.

Figura 22 - Diamante Policristalino PCD



Fonte: Catálogo Técnico Holer (2022, p. 147).

O diamante policristalino (PCD) foi desenvolvido para a remoção de revestimentos espessos, como epóxi, acrílico, resíduos de cola e fibras de vidro, sendo também utilizado em desbastes mais agressivos. A escolha entre PCD simples, com distribuição de diamantes, e PCD duplo, de menor agressividade, depende da espessura do revestimento. Para revestimentos acima de 3 mm, recomenda-se o PCD simples, enquanto para revestimentos entre 1 mm e 3 mm, o PCD duplo é a opção mais adequada.

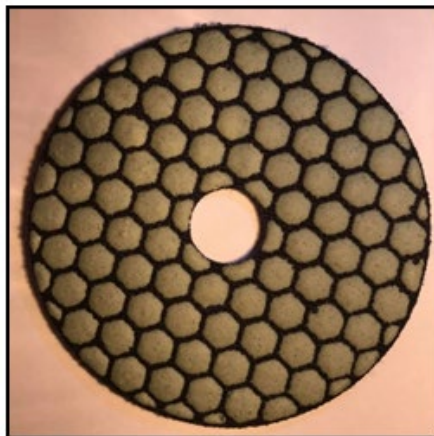
Além disso, como material de ferramenta de corte, o abrasivo PCD é amplamente utilizado nos setores de engenharia e manufatura para a usinagem de ligas de alumínio, plásticos reforçados, novos materiais compostos leves e resistentes ao desgaste, madeira e seus derivados, entre outras aplicações (Sigalas; Economou, 2013).

2.9 Materiais resinados (discos diamantados flexíveis)

Os discos diamantados flexíveis, conhecidos como "pads", são produtos em formato de discos redondos flexíveis, com diâmetro variando entre 80 e 300 mm. São compostos por ligantes de resina sintética e apresentam uma estrutura de superfície formada por elementos abrasivos de diferentes geometrias, denominados segmentos de trabalho de diamante na matriz.

Esses pads são utilizados em conjunto com pó abrasivo de diamante sintético, permitindo a execução de uma operação de transição granular específica, conforme ilustrado na Figura 23 (Rajczyk *et al.*, 2019).

Figura 23 - Disco de polimento flexível “Pad”



Fonte: Rajczyk *et al.* (2019, p. 02).

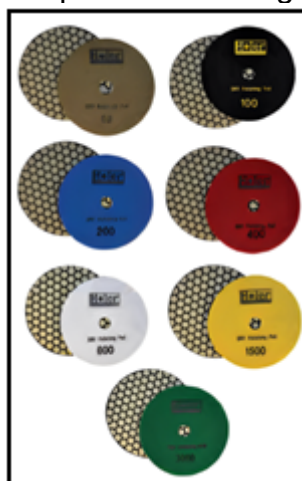
De acordo com Rajczyk *et al.* (2019), a fixação do pad ocorre por meio de um disco de base de transição, permitindo a conexão rápida de diferentes modelos de discos operacionais ao adaptador do suporte. Os discos flexíveis utilizados no polimento abrasivo de superfícies rochosas destacam-se por sua alta eficiência e elevada resistência ao desgaste abrasivo.

O *design* flexível desses discos possibilita a execução do polimento abrasivo em áreas de difícil acesso e em superfícies ligeiramente inclinadas, com determinado ângulo. Além disso, esses discos são elementos indispensáveis no acabamento de superfícies de rochas, pois possuem um sistema de fixação por velcro, permitindo a rápida troca de discos de diferentes granulações no adaptador, facilitando a transição entre granulações mais altas e mais baixas, e vice-versa (Rajczyk *et al.*, 2019).

A superfície de trabalho do disco desempenha um papel essencial na eficácia do polimento abrasivo, sendo influenciada por fatores como geometria, parâmetros cinemáticos e trajetória do movimento do disco no material processado. Segundo Knapiski (2018 *apud* Rajczyk *et al.*, 2019), o impacto dos segmentos de trabalho do disco sobre o material afeta a geometria, os parâmetros cinemáticos e a dureza dos segmentos de aglutinante, fatores diretamente relacionados à dureza do material tratado.

Rajczyk *et al.* (2019) ressaltam ainda que o perfil geométrico adequado dos discos possibilita um uso eficiente da ferramenta, reduzindo as tensões térmicas geradas no contato com o material em processamento. Essa característica melhora a remoção de resíduos durante o polimento abrasivo, resultando em um acabamento brilhante e uniforme na superfície da rocha, como ilustrado nas Figuras 24 e 25, que apresentam diferentes modelos de discos resinados para polimento, com variações na granulometria e no design conforme a aplicação.

Figura 24 - Discos resinados para polimento com granulometria #50mm a #3000mm



Fonte: Catálogo Holer (2021, p. 69).

Figura 25 - Discos resinados para polimento



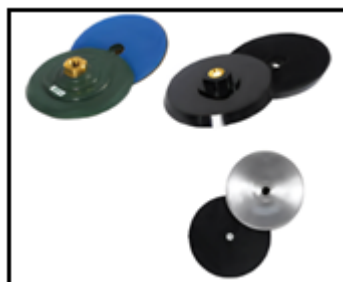
Fonte: Rajczyk *et al.* (2021, p. 05).

A classificação numérica dos discos de polimento abrasivo com fração de pó de diamante começa no número #30, que corresponde a grãos de diamante grosseiros, indicados para um processamento inicial mais agressivo, e se estende até o número #3000, utilizado nas etapas finais para o acabamento do polimento abrasivo (Rajczyk *et al.*, 2019).

Segundo os autores, no polimento abrasivo inicial, em que são empregues grãos de maior granulometria, o objetivo principal é remover irregularidades e criar arranhões na superfície. À medida que o processo avança, os riscos profundos são gradualmente reduzidos por meio da substituição dos discos por versões com um número maior de grãos, até que se atinja o grau de polimento desejado. A avaliação da qualidade desse acabamento é realizada com base na quantidade de luz refletida pela superfície polida.

Além da granularidade do disco, outro fator crucial no processo de polimento abrasivo é a velocidade de rotação. Recomenda-se que pads entre os números #30 e #100 sejam utilizados em velocidades entre 660 e 960 rpm, proporcionando um acabamento mais brilhante. Já para pads de número superior a #1000, a recomendação é empregar velocidades reduzidas, com um máximo de 660 rpm, a fim de otimizar a eficiência e qualidade do polimento abrasivo (Rajczyk *et al.*, 2019), conforme exemplificado na Figura 26, que apresenta discos flexíveis compatíveis com pratos de velcro de rápida fixação.

Figura 26 - Discos Flexíveis para Prato de Velcro de Rápida Fixação



Fonte: Catálogo Holer (2021, p. 70).

O processo de fabricação dessas ferramentas abrasivas envolve a dispersão da mistura composta à base de resina não curada sobre tecidos, telas de arame ou filmes plásticos. Esse método inclui etapas como prensagem e endurecimento por

tratamento térmico, garantindo a formação de um material resistente e adequado ao uso em processos abrasivos.

Dado o tipo de aplicação dessas ferramentas, é essencial que apresentem deformabilidade, razão pela qual a resina endurecida deve ser simultaneamente flexível e resistente aos efeitos de forças multidirecionais de compressão e tração.

Um fator determinante para a eficiência abrasiva e a flexibilidade do produto é o formato do segmento abrasivo, ou seja, a geometria das saliências de trabalho e as descontinuidades presentes no interior do segmento. Essas características influenciam diretamente o desempenho do polimento abrasivo e a durabilidade do disco.

2.10 Maquinários e equipamentos para polimento abrasivo

As politrizes de corte e polimento abrasivo para pisos e concretos são máquinas desenvolvidas especificamente para cortar e polir superfícies como mármore, granito, concreto e até mesmo madeira. Esses equipamentos podem ser classificados com base em sua capacidade de corte, que geralmente é medida pela quantidade de superfície que conseguem processar por hora.

A classificação dessas máquinas varia conforme o tamanho e a potência do equipamento, o tipo de ferramenta de corte utilizada e a dureza da superfície a ser trabalhada. Cada um desses fatores influencia diretamente o desempenho e a eficiência do processo de corte e polimento (Srikantha, 2023).

2.10.1 Politrizes do fabricante Husqvarna

Srikantha (2023) destaca que a Husqvarna é uma referência na fabricação de máquinas e equipamentos para desbaste e polimento de superfícies. A empresa oferece uma ampla gama de soluções para preparação de pisos, incluindo máquinas de corte e polimento para superfícies de concreto.

Com a aquisição da HTC, a Husqvarna CE expandiu sua linha de produtos, incorporando máquinas adicionais que utilizam diferentes tecnologias de acionamento. Esses equipamentos são altamente adaptáveis e podem ser empregados em diversas aplicações, como preparação de superfície, remoção de revestimentos, nivelamento e polimento de concreto e pedra natural.

A coleção de máquinas de corte e polimento da Husqvarna apresenta variações de tamanho entre 450 mm e 830 mm, incluindo modelos autopropulsionados e com controle remoto. Além disso, há versões com *Dual Drive*, que permitem controle total da velocidade e direção de rotação das cabeças de desbaste (Srikantha, 2023), como ilustrado nas Figuras 27 e 28, que mostram, respectivamente, os modelos PG 690 Machine e PG 830 RC, ambos projetados para alto desempenho em grandes áreas.

Figura 27 – Politriz PG 690 Machine



Fonte: Srikantha (2023, p. 05).

Figura 28 - Politriz PG 830 RC



Fonte: Srikantha (2023, p. 10).

A linha de máquinas HTC da Husqvarna conta com a tecnologia Duratig, que utiliza um único motor para controlar simultaneamente a rotação do tambor e do disco. Essas máquinas são altamente versáteis e indicadas para diversas aplicações, como remoção de revestimentos, preparação de superfícies, retificação de pavimentos de concreto e polimento.

Modelos como PG 830 e PG 690 são máquinas de operação padrão que funcionam de maneira semelhante, diferenciando-se principalmente pelo tamanho do tambor, conforme indicado pela numeração dos modelos (Srikantha, 2023).

A Figura 29 apresenta os componentes de uma politriz de piso típica da série PG, conforme descrito por Martins Jr. (2021 *apud* Srikantha, 2023). A máquina pode ser controlada tanto pelo console quanto por um rádio controlador. Totalmente elétrica, é equipada com duas rodas de tração que operam por meio de uma transmissão diferencial, permitindo movimentos independentes para frente e para trás.

Figura 29 - Componentes da Politriz de Desbaste



Fonte: Srikantha (2023, p. 10).

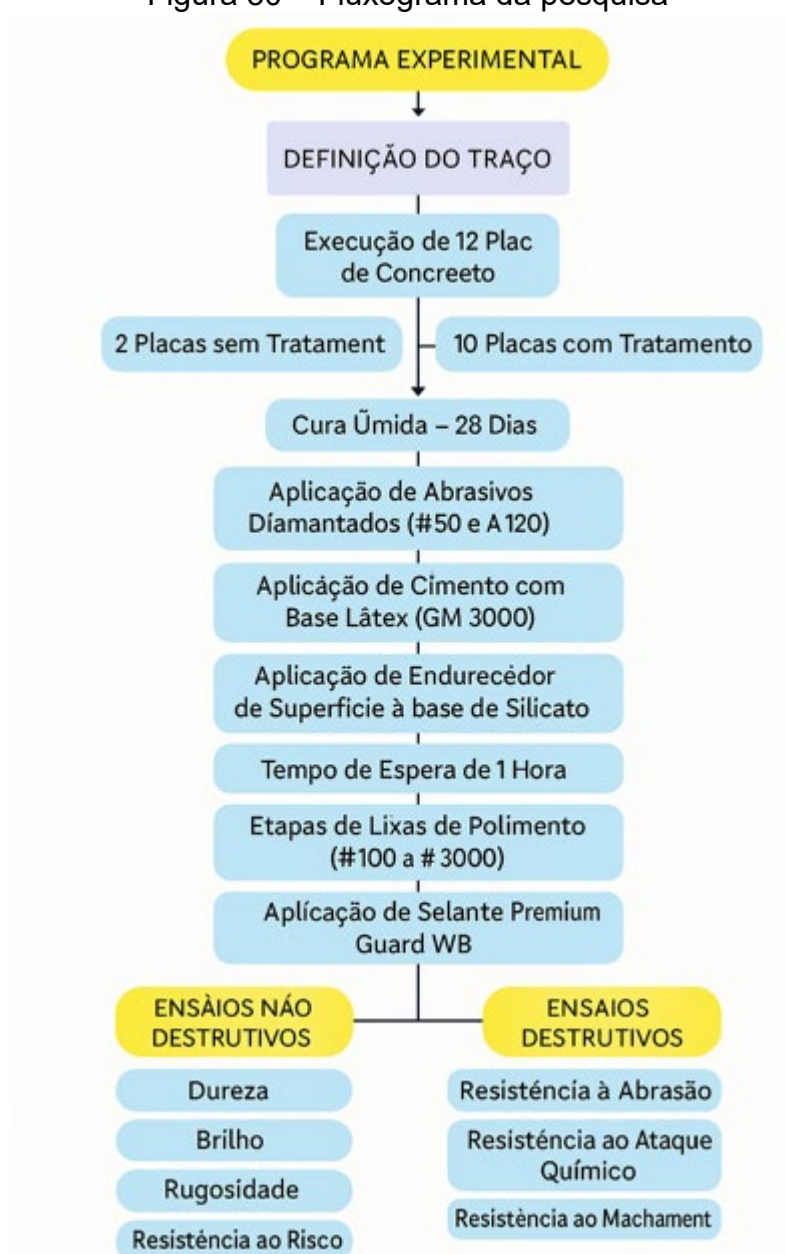
Sob a tampa do tambor (proteção da máquina), encontram-se as ferramentas de corte para desbaste e a cabeça de retificação. A tampa do tambor é selada para evitar a dispersão de pó de concreto, proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro e limpo. Os principais pontos de referência da máquina incluem: CoH (*Center of Head*), que indica o centro da cabeça de desbaste ou tambor; CoD (*Center of Disc*), que representa o centro dos discos; e CoT (*Center of Tool*), referente ao centro das ferramentas.

Segundo Srikantha (2023), a máquina conta ainda com um vedante acoplado a um tubo de vácuo, projetado para remover de forma eficiente qualquer poeira de concreto gerada durante o processo abrasivo. Esse tubo de vácuo, posicionado na parte traseira da máquina, melhora significativamente a limpeza e segurança durante a operação. Além disso, a máquina é suportada por duas rodas, permitindo uma inclinação para frente, o que garante que as ferramentas diamantadas do cabeçote permaneçam em contato constante com o piso durante o processo de polimento.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi estruturado conforme apresentado na Figura 30, contemplando as etapas de execução das placas, tratamentos aplicados e ensaios realizados.

Figura 30 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Este programa teve como objetivo apresentar diferentes tratamentos para a superfície do concreto, buscando aprimorar suas propriedades mecânicas, físicas e químicas, além de melhorar o substrato. Para a pesquisa, foram elaboradas 12 amostras em forma de placas de concreto, com dimensões de 80 cm x 80 cm x 10 cm.

As placas foram organizadas da seguinte forma:

1. Placas 1 e 2: referência, sem tratamento superficial;
2. Placas 3 e 4: tratamento para acabamento semi-fosco;
3. Placas 5 e 6: tratamento para acabamento fosco;
4. Placas 7 e 8: tratamento para acabamento semi-brilho;
5. Placas 9 e 10: tratamento para acabamento brilhoso;
6. Placas 11 e 12: tratamento para acabamento de alto brilho.

O estudo teve como objetivo avaliar o impacto dos diferentes acabamentos e tratamentos em superfícies de concreto, especialmente em pisos internos de residências, ambientes comerciais e corporativos. Os tratamentos aplicados podem proporcionar benefícios, como aumento da resistência à abrasão (Ra), melhora da permeabilidade da camada superficial, maior resistência a ataques químicos e manchamento, resultando em maior durabilidade do sistema de piso de concreto.

Foram analisados cinco tipos distintos de acabamento superficial, obtidos por meio da variação granulométrica dos materiais diamantados e das lixas utilizadas no processo de polimento abrasivo. Essa variação influenciou diretamente nas propriedades mecânicas, físicas e químicas da superfície do concreto. O estudo também explorou a diversidade de possibilidades de acabamento, evidenciando a ampla gama de lixas e abrasivos diamantados disponíveis para aplicações específicas no tratamento e embelezamento de superfícies cimentícias.

3.1 Matriz do programa experimental

A Tabela 9 apresenta a quantidade de corpos de prova utilizados em cada ensaio, enquanto a Figura 30 exibe um fluxograma do programa experimental, ilustrando de forma esquemática o passo a passo realizado para a obtenção dos tratamentos aplicados à superfície do concreto. Além disso, o fluxograma demonstra a relação entre os ensaios não destrutivos e destrutivos, que foram conduzidos para

fornecer métricas e resultados, permitindo a avaliação dos tratamentos aplicados e dos benefícios alcançados a partir desse estudo experimental.

Tabela 9 – Número de corpos de prova por ensaio

Ensaio	Normas	Idades de Ensaio (dias)	Nº amostras
Resistência à compressão	NBR 5739/18	28	3
Resistência à abrasão	NBR 9781/13	28	18
Dureza superficial	NBR 7584/12	28	6
Resistência ao ataque químico	NBR 10545-13/20	28	6
Resistência ao manchamento	NBR 10545-14/17	28	30
Medição do brilho	Glossmeters	28	6
Avaliação de rugosidade	NBR 4288/08	28	6
Resistência ao risco (Mohs)	Material de Dureza	28	6

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O programa experimental foi estruturado com o objetivo de avaliar o desempenho de diferentes tratamentos aplicados à superfície de placas de concreto lapidado. Inicialmente, definiu-se o traço do concreto, ou seja, a proporção adequada entre cimento, agregados, água e aditivos, com vistas a garantir a qualidade e a uniformidade das placas moldadas. Em seguida, foram executadas doze placas com dimensões padronizadas de 80 x 80 x 10 cm. Dessas, duas placas permaneceram sem tratamento, compondo o grupo controle, enquanto as outras dez placas foram submetidas a um protocolo específico de tratamento superficial.

As placas com tratamento passaram por um processo de desbaste inicial utilizando abrasivos diamantados de granulometrias #50 e #120, com o intuito de nivelar a superfície e prepará-la para as etapas seguintes. As placas sem tratamento não participaram desse processo. Posteriormente, foi aplicada uma mistura de cimento com um aditivo químico à base de látex (GM 3000), com a finalidade de selar os poros expostos e proporcionar uma superfície mais homogênea e resistente. Após essa aplicação, utilizou-se um endurecedor de superfície à base de silicato, fornecido pela empresa Acor, com o objetivo de preencher os microporos, aumentar a dureza superficial e promover maior durabilidade ao concreto.

Após a aplicação do endurecedor, foi respeitado um tempo de espera de aproximadamente uma hora, permitindo a secagem e a penetração adequada do produto antes do início das etapas de polimento. O processo de polimento foi então iniciado com discos abrasivos resinados, seguindo uma sequência granulométrica progressiva que variou de #100 a #3000, de acordo com o nível de acabamento desejado para cada placa. Essa variação permitiu a obtenção de diferentes tipos de acabamento superficial: semi-fosco, fosco, semi-brilho, brilhoso e alto brilho.

Concluído o processo de polimento, foi aplicado um selante protetor denominado *Premium Guard WB*, do fabricante Husqvarna, com a finalidade de proteger a superfície tratada e realçar o acabamento final. Para assegurar um acabamento uniforme e de alta qualidade, utilizou-se o *burnishing pad*, um disco de polimento de alta rotação aplicado sobre a superfície selada.

Após a finalização do tratamento das placas, foram realizados ensaios não destrutivos e destrutivos para avaliar as propriedades físicas e mecânicas das amostras. Entre os ensaios não destrutivos, destacam-se as medições de brilho, realizadas com *glossmeter*; de rugosidade, por meio de rugosímetro; a medição da dureza superficial por esclerometria e de resistência ao risco, com base na escala de Mohs. Já os ensaios destrutivos incluíram a resistência à abrasão; a resistência ao ataque químico e a resistência ao manchamento. Tais análises possibilitaram compreender a eficácia dos tratamentos aplicados, bem como a influência das variáveis controladas sobre o desempenho superficial das placas de concreto lapidado.

3.1.1 Fatores de Avaliação – Respostas

Os fatores de avaliação deste programa experimental estão diretamente relacionados à qualidade do substrato e às propriedades mecânicas, físicas e químicas das 12 placas de concreto estudadas. Foram considerados os seguintes aspectos: (a) resistência à abrasão, (b) medição do brilho, (c) medição da rugosidade, (d) dureza superficial, (e) resistência ao ataque químico e (f) resistência ao manchamento.

O objetivo do estudo foi analisar a influência desses fatores nas propriedades dos pisos de concreto e verificar como os tratamentos superficiais aplicados contribuíram para a melhoria do desempenho dessas características, especialmente

diante dos desafios impostos pelas manifestações patológicas comuns em estruturas de pisos de concreto.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 7, 14 e 28 dias, sendo que os tratamentos superficiais foram aplicados aos 28 dias, momento em que a resistência do concreto atingiu, aproximadamente, 31,3 MPa.

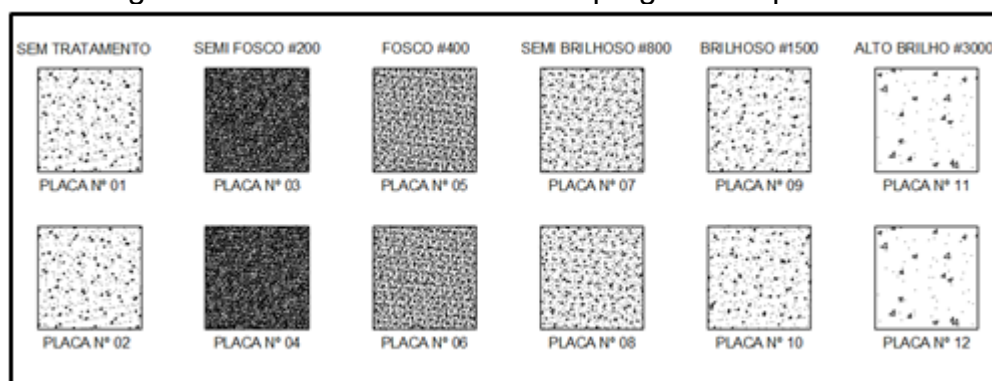
Os resultados do programa experimental foram obtidos por meio de ensaios destrutivos, como resistência à abrasão, dureza superficial, resistência ao ataque químico e resistência ao manchamento, e ensaios não destrutivos, como medição de brilho, rugosidade e dureza superficial pela escala de Mohs. Esses ensaios permitiram avaliar os fatores controláveis e sua influência sobre as propriedades do concreto.

3.1.2 Fatores Controláveis

Os fatores controláveis foram definidos para analisar sua influência nos fatores de avaliação. Nesta pesquisa, foram considerados os seguintes fatores controláveis: lixas de polimento com granulometrias entre #200, #400, #800, #1500 e #3000, conforme o tipo de acabamento superficial.

A escolha dessas variáveis foi baseada no tipo de acabamento desejado para a superfície do substrato. Para este estudo, foram aplicados cinco tratamentos distintos, conforme ilustrado na Figura 31: (1) duas placas sem tratamento, (2) duas placas com acabamento semi-fosco, utilizando grãos até #200, (3) duas placas com acabamento fosco, utilizando grãos até #400, (4) duas placas com acabamento semi-brilho, utilizando grãos até #800, (5) duas placas com acabamento brilhoso, utilizando grãos até #1500 e (6) duas placas com acabamento de alto brilho, utilizando grãos até #3000.

Figura 31 – Variáveis controláveis programa experimental



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.2 Caracterização dos materiais utilizados

As moldagens foram realizadas utilizando fôrmas de madeira com dimensões de 80x80x10 cm, a fim de atender às especificações necessárias para a confecção dos corpos de prova. No total, foram moldadas, simultaneamente, 12 placas de concreto para obtenção dos corpos de prova, seguindo o traço de referência.

Os materiais empregados nesta pesquisa, em sua maioria, foram provenientes do estado do Rio Grande do Sul, incluindo cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivo, selador de superfície à base de água e endurecedor de superfície à base de silicato. As exceções foram os materiais abrasivos diamantados, os abrasivos para polimento e o injetor de argamassa à base de polímero elastomérico (GM 3000). A seguir, apresenta-se a caracterização de cada material utilizado neste estudo.

3.2.1 Dosagem experimental para as placas de concreto

A dosagem do concreto foi definida com base na normativa americana ACI COMMITTEE 302 (2015), que recomenda uma resistência à compressão mínima de 21 MPa aos 28 dias de cura e um abatimento do tronco de cone de 125 mm, para pisos de concreto de classe 1. Essa classe abrange aplicações em pisos de concreto para uso comercial, corporativo e residencial, incluindo pisos decorativos. Além disso, foram seguidas as diretrizes da ABNT NBR 8953 (ABNT, 2015b) para concreto de fins estruturais, adotando o produto C30, que apresenta resistência característica à compressão de 40 MPa e pertence à classe de consistência S100,

com abatimento entre 100 e 160 mm, adequado para elementos estruturais com lançamento convencional do concreto.

Para este programa experimental, foi utilizada a dosagem em massa do concreto C30 B1 140±20 mm, fornecido pela empresa Concresul. A Tabela 10 apresenta a carta traço do concreto empregado na moldagem das 12 placas de concreto utilizadas na pesquisa.

Tabela 10 – Carta traço Concresul	
Parâmetro	Valor
Traço unitário (cimento:areia:brita)	1:2,5:3,5
Relação água/cimento (a/c)	0,6
Resistência potencial - 28 dias (MPa)	31,3
Consumo de cimento (kg/m³)	226
Adição mineral (kg)	88
Areia natural média (kg)	495
Areia de britagem (kg)	361
Brita 0 - 12,5 mm (kg)	209
Brita 1 - 19,0 mm (kg)	835
Aditivo (kg)	3,14
H (%)	8,15
Abatimento (mm)	140 ± 20
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).	

Antes da aplicação dos tratamentos, as placas de concreto foram analisadas em seu estado original, após 28 dias de cura, conforme ilustrado na Figura 32, que mostra as superfícies ainda sem qualquer tipo de intervenção e já preparadas para receber os tratamentos definidos no programa experimental.

Figura 32 – Placas de concreto sem tratamento, após 28 dias de cura e preparadas para receber os tratamentos superficiais



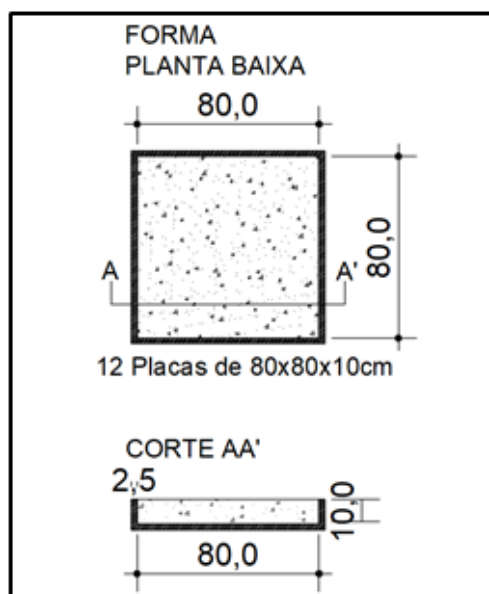
Fonte: Arquivo próprio (2024).

Antes da aplicação dos tratamentos, foi possível observar que nenhuma manifestação patológica, como fissuras, ocorreu nas placas de concreto, preservando a integridade da superfície do substrato para a aplicação dos acabamentos. No entanto, ao término do período de cura úmida de 28 dias, verificou-se uma elevada porosidade na superfície de cada laje.

3.2.2 Fôrmas de madeira para as placas de concreto

As moldagens foram realizadas com fôrmas de madeira pinus e compensado naval, com as dimensões conforme a Figura 33, de 80x80x10cm.

Figura 33 – Detalhamento e dimensões das fôrmas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a confecção das fôrmas, foram utilizadas cinco unidades de compensado naval com dimensões de 210 x 110 cm para o fundo e 12 unidades de madeira pinus aplainada nos quatro lados, medindo 250 x 10 x 2,70 cm, para as paredes das placas de concreto. Conforme ilustrado nas Figuras 34 e 35, as fôrmas montadas e finalizadas seguiram o detalhamento previsto, apresentando dimensões padronizadas de 80 cm de comprimento, 80 cm de largura e 10 cm de espessura, adequadas para o recebimento do concreto.

Figura 34 – Estrutura das fôrmas finalizadas



Fonte: Arquivo próprio (2024).

Figura 35 – Fôrmas para moldagem



Fonte: Arquivo próprio (2024).

3.2.3 Diamantes abrasivos de granulometria de #50 e #120

Os diamantes abrasivos de granulometria #50 e #120 foram aplicados no início do processo de polimento abrasivo, sobre as placas de concreto após 28 dias de cura. Essa aplicação corresponde à etapa inicial de desbaste, cujo objetivo é remover imperfeições superficiais e regularizar o substrato, preparando-o para as

fases subsequentes de polimento com lixas mais finas. Alguns fatores justificam essa escolha:

- I. Variedade de propriedades mecânicas: diamantes policristalinos e nitreto cúbico de boro podem ser fabricados com diferentes características mecânicas, o que os torna adequados para uma ampla gama de aplicações de corte e para superfícies altamente resistentes ao desgaste.
- II. Facilidade de manuseio: esses abrasivos são compatíveis com diversas politrizes, tornando o processo de desbaste e polimento mais prático. Além disso, possuem um custo moderado em relação a outras ferramentas abrasivas.
- III. Resistência à temperatura: são os abrasivos mais utilizados no setor de concreto devido à sua alta resistência térmica, garantindo a manutenção da eficiência do processo de desbaste e polimento, além de contribuir para a longevidade do material utilizado.

As ferramentas abrasivas diamantadas utilizadas na etapa inicial de desbaste apresentaram granulometrias de #50 e #120, variando quanto às dimensões do suporte, modelo de inserção e limites operacionais de rotação e velocidade, conforme detalhado na Tabela 11. Essas características influenciam diretamente a eficiência do processo e a compatibilidade com os equipamentos empregados.

Tabela 11 – Ferramentas abrasivas diamantadas de diferentes granulometrias

Granulometria	Dimensão do Suporte (mm)	Modelo de Inserção	Rotação Máxima (rpm)	Velocidade Máxima (m/s)	Fabricante
#50	125	M14	12.200	80	Husqvarna / Sikaamo
#120	115	M14	9.800	80	Husqvarna / Sikaamo

Fonte: Catálogo Técnico Husqvarna (2021).

3.2.4 Lixas de polimento com granulometria entre #50 a #3000

As lixas para polimento são ferramentas diamantadas flexíveis utilizadas em operações de polimento tanto a seco quanto a úmido. Elas consistem em um conjunto de oito discos, com diâmetros de 100 mm e 125 mm, fixados de maneira prática e rápida por meio de um prato de velcro. Quando em contato com a

superfície, geram fricção, promovendo o polimento. Além disso, essas lixas possuem um ligante sintético com abrasivos diamantados, variando o tamanho de grão entre #50 e #3000. Para garantir um desempenho satisfatório das ferramentas de tratamento de superfície, é essencial uma seleção adequada dos grãos abrasivos, considerando o nível de brilho desejado, a sequência de aplicação das lixas e a dureza apropriada do ligante sintético (Rajczyk *et al.*, 2019; Lyukshin *et al.*, 2020; Xie; Bhushan, 1996).

Segundo Lüsis (2011), após a conclusão do ciclo de desbaste agressivo com ferramentas diamantadas e considerando um período de 28 dias de cura do concreto, é possível iniciar o processo de polimento abrasivo. Esse processo utiliza lixas com partículas de diamante cujas dimensões variam entre 70 e 10 micrômetros. A sequência de aplicação das lixas, conforme indicado por Lüsis (2011), é demonstrada na Tabela 12.

Neste programa experimental, foram empregadas lixas de polimento abrasivo do fabricante Holer Diamond Tools, modelo para uso a seco, com discos de 100 mm e 125 mm de diâmetro, conforme ilustrado na Tabela 12.

Granulometria	Diâmetro do Suporte (mm)	Cor	Aplicação	Referência / Fabricante
#50	100	Marrom	Seco	DR W0010 / DR SYS 000-00
#100	100	Preto	Seco	DR W0010 / DR SYS 000-00
#200	100	Azul	Seco	DR W0010 / DR SYS 100-00
#400	100	Amarelo	Seco	DR W0010 / DR SYS 200-00
#800	100	Branco	Seco	DR W0010 / DR SYS 400-00
#1500	100	Amarelo	Seco	DR W0010 / DR SYS 800-00
#3000	100	Verde	Seco	DR W0010 / DR SYS 1500-00
#50	125	Marrom	Seco	DR W0010 / DR SYS 000-00
#100	125	Preto	Seco	DR W0010 / DR SYS 000-00
#200	125	Azul	Seco	DR W0010 / DR SYS 100-00
#400	125	Amarelo	Seco	DR W0010 / DR SYS 200-00
#800	125	Branco	Seco	DR W0010 / DR SYS 400-00
#1500	125	Amarelo	Seco	DR W0010 / DR SYS 800-00
#3000	125	Verde	Seco	DR W0010 / DR SYS 1500-00

Fonte: Catálogo Técnico Husqvarna (2021).

3.2.5 Cimento

Conforme exposto por Xerez Neto (2022), pelo Comitê Técnico de Pisos de Concreto (2018) e por Wendland e Polesello (2022), o cimento Portland composto com material carbonático (CP II-F) com classe de resistência de 40 MPa é o mais indicado para aplicações em pisos de concreto. Essa escolha se deve à sua alta resistência ao desgaste, característica essencial para esse tipo de aplicação.

Xerez Neto (2022) também destaca que o cimento tipo 40 é utilizado em situações em que se requer uma geração mínima de calor durante o processo de cura, sendo recomendado para obras de grande porte, como represas, além de ambientes sujeitos à presença de água e sistemas de esgoto. Esse tipo de cimento endurece de forma gradual, evitando o acúmulo excessivo de calor e minimizando o risco de falhas estruturais no concreto.

Para esta pesquisa, foi utilizado o cimento CP II-F-40, fornecido pela companhia de cimento Itambé. A Tabela 13 apresenta a composição do cimento empregado no estudo, conforme os critérios estabelecidos pela norma NBR 16697 (ABNT, 2018).

Tabela 13 – Limites de composição do cimento Portland CP II-F (porcentagem de massa)

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Classe de Resistência	Composição (% em massa)
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F	25, 32 ou 40	Clínquer + gesso (sulfato de cálcio): 75 - 89%
			Escória granulada de alto forno: 0%
			Material pozzolânico: 0%
			Material carbonático: 11 - 25%

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018, p. 05).

A Tabela 14 apresenta as características mecânicas e físicas do cimento, de acordo com a NBR 16697 (ABNT 2018), sendo que, o cimento Portland deve respeitar os requisitos físicos e mecânicos em função do seu tipo e classe.

Tabela 14 – Requisitos físicos e mecânicos

Sigla	Classe	Resíduo em peneira 75 µm (%)	Tempo de início de pega (min.)	Expansibilidade na pasta (mm)	Resistência à compressão (MPa)	Índice de finura
CP II-F	40	≤ 10,0	≥ 100,0	≤ 5,0	1 dia: ≥ 7,0 3 dias: ≥ 16,0 7 dias: ≥ 25,0 28 dias: ≥ 40,0	-

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018 p.07).

Essas características estão diretamente relacionadas ao processo de fabricação do cimento, sendo a escolha do tipo e da classe do material definida com base em sua aplicação na pavimentação de concreto. Conforme estudos de Xerez Neto (2022), do Comitê Técnico de Pisos de Concreto (2018) e de Wendland e Polesello (2022), essa seleção proporciona benefícios significativos, resultando em melhores propriedades físicas e mecânicas para o piso de concreto, como uma elevada resistência ao desgaste.

3.2.6 Agregados

Neste estudo, o concreto foi dosado em um caminhão betoneira e entregue diretamente no *itt Performance*, onde foi mantido em movimento de forma controlada para evitar a segregação dos materiais. O concreto, doado pela Coneresul, foi produzido com agregado miúdo proveniente do Rio Jacuí e da Pedreira Incopel, além de agregado graúdo fornecido pela Pedreira Incopel, ambos localizados no Rio Grande do Sul. A especificação e caracterização desses materiais estão detalhadas nos itens a seguir.

3.2.6.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa foi composto por areia natural média e areia de britagem, sendo caracterizado conforme a composição granulométrica, de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022), a determinação da massa unitária segundo a NBR 16972 (ABNT, 2021), a massa específica conforme a NBR 16916 – massa específica e absorção (ABNT, 2021) e a absorção de água conforme a NBR NM 30 (ABNT, 2000).

Os agregados foram submetidos a processos de quarteamento e secagem antes da realização dos ensaios de caracterização, garantindo que as amostras fossem representativas do material em sua totalidade. Os ensaios foram conduzidos no laboratório da Concesul, localizado em Estância Velha – RS, sendo disponibilizado pela concreteira o relatório de ensaio de análise dos agregados. Os resultados da caracterização física dos agregados miúdos utilizados nesta pesquisa estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Caracterização física do agregado miúdo areia de britagem

Parâmetro	Areia Natural Média	Areia de Britagem	Abertura das Peneiras (mm)	Retida (%) - Areia Natural Média	Retida Acumulada (%) - Areia Natural Média	Retida (%) - Areia de Britagem	Retida Acumulada (%) - Areia de Britagem
Módulo de Finura	1,89	3,32	4,8	–	–	4	4
Dimensão Máxima Característica (mm)	1,2	4,8	2,4	–	–	31	35
Pulverulento (< 0,075 mm) (%)	2	8,2	2,4	–	–	20	55
Material Fino (< 0,30 mm) (%)	26	24	0,6	16	16	13	68
Massa Específica (g/cm ³)	2,63	2,88	0,3	58	74	9	76
			0,15	25	99	8	84
			Fundo	–	100	16	100

Fonte: Laboratório Concesul (2024) (ANEXOS A e B).

Conforme estabelecido na NBR 7211 (ABNT, 2022), os resultados da caracterização física do agregado miúdo estão em conformidade com os requisitos da normativa, atendendo aos critérios estabelecidos para sua utilização.

3.2.6.2 Agregado graúdo

Para a realização desta pesquisa, foi utilizado agregado graúdo do tipo brita 0 e brita 1, de origem basáltica, proveniente da Pedreira Incopel, localizada em Estância Velha – RS. A caracterização física desses agregados seguiu as normativas vigentes, incluindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) para determinação da composição granulométrica, a NBR NM 53 (ABNT, 2009) para determinação da

massa específica, massa específica aparente e absorção de água, e a NBR NM 45 (ABNT, 2006) para determinação da massa unitária.

Os ensaios de caracterização foram conduzidos no Laboratório da Concresul, também situado em Estância Velha – RS, sendo disponibilizado pela concreteira o relatório de ensaio de análise de agregados. Os resultados da caracterização física do agregado graúdo utilizado nesta pesquisa estão apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Caracterização física do agregado graúdo B0

Abertura das peneiras (mm)	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)
19	–	–
12,5	–	–
9,5	–	–
6,3	63	67
4,8	24	91
2,4	8	100
1,2	1	100
0,6	1	100
0,3	1	100
0,15	0	100
Fundo	0	100
Módulo de Finura		5,95
Dimensão Máxima Característica (mm)		9,5
Massa Específica (g/cm³)		2,88
Massa Unitária (g/cm³)		–
Absorção de água (%)		–
Pulverulento (< 0,075 mm) (%)		0,3
Material fino (< 0,30 mm) (%)		0

Fonte: Laboratório Concresul (2024) (ANEXOS A e B).

Tabela 17 - Caracterização física do agregado graúdo B1

Abertura das peneiras (mm)	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)
19	0	0
12,5	54	54
9,5	39	93
6,3	7	100
4,8	-	100
2,4	-	100
1,2	-	100
0,6	-	100
0,3	-	100
0,15	0	100

Fundo	0	100
Módulo de Finura		6,92
Dimensão Máxima Característica (mm)		19
Massa Específica (g/cm³)		2,88
Massa Unitária (g/cm³)		-
Absorção de água (%)		-
Pulverulento (< 0,075 mm) (%)		0,2
Material fino (< 0,30 mm) (%)		0

Fonte: Laboratório Coneresul (2024) (ANEXOS A e B).

Conforme prescrito na norma, os resultados obtidos na caracterização física do agregado graúdo estão em conformidade e atendimento à normativa NBR 7211 (ABNT, 2022).

3.2.7 Endurecedor de superfície à base de silicato de sódio

O endurecedor de superfície é um produto à base de silicatos que reage com a camada superficial do concreto, reduzindo sua porosidade e aumentando a impermeabilidade do substrato. Sua aplicação minimiza a penetração de substâncias como óleos, umidade e sais, contribuindo para a redução da formação de eflorescências secundárias. Além disso, o uso do endurecedor melhora a resistência à abrasão e diminui a formação de poeira sobre a camada superior do piso (Ficha Técnica Acor, 2021; Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ; Dong *et al.*, 2023).

Para este programa experimental, foi utilizado o endurecedor de superfície à base de silicato, fornecido pelo fabricante Acor Indústria de Tintas. Conforme especificado na FISPQ, a Tabela 18 apresenta as propriedades físicas e químicas desse endurecedor de superfície.

Tabela 18 – Propriedades físicas e mecânicas do endurecedor de superfície

Propriedade	Valor
Estado físico	Líquido
Forma	Líquido
Cor	Incolor
Odor	Inodoro
pH	13 - 14
Ponto de fusão / ponto de congelamento	1088 °C (Vidro de Silicato)
Ponto de ebulição inicial	≥ 100 °C

Solubilidade	Solúvel em água
Densidade	1,26 g/mL

Fonte: Acor Indústria de Tintas (2021, p.04).

De acordo com Dong *et al.* (2023), Medeiros *et al.* (2012) e as especificações da Ficha Técnica Acor (Acor Indústria de Tintas, 2021), para aplicação do endurecedor de superfície, a superfície precisa estar seca e completamente limpa, livre de partículas soltas, resíduos de óleo, graxa, desmoldantes e agentes de cura. O consumo estimado para um tratamento completo é de aproximadamente 2,2 litros do produto para cada 10 m² de superfície de concreto. A massa específica do endurecedor é de 1,230 ± 0,020 g/cm³ (Acor Indústria de Tintas, 2021).

3.2.8 Selador à base de água

Para o processo de selagem da superfície do substrato, foi utilizado o selador de superfície *Premium Guard Water Based* (WB), conforme especificação técnica e recomendação do fabricante Husqvarna. De acordo com o fabricante, esse selante apresenta alta eficiência de penetração e possui composição à base de água, proporcionando ao concreto maior resistência contra agentes manchantes, como óleo e gorduras, além de dificultar a penetração de água. Ademais, o produto permite que a superfície de concreto mantenha sua capacidade de respiração.

Segundo Thissen *et al.* (2024) e a Ficha Técnica do fabricante Husqvarna (*Data Sheet*) (Husqvarna, 2021), o selante possui fácil aplicação e atua na criação de uma barreira hidrofóbica, prevenindo a penetração de líquidos na superfície. Sua eficácia, no entanto, está diretamente relacionada ao tipo de material no qual é aplicado, ao grau de absorção do piso e ao volume do agente manchante em contato com o substrato.

O fabricante ressalta que a aplicação principal do selador ocorre em superfícies de concreto lapidado, podendo ser utilizada ao final do processo de polimento com lixas abrasivas. Além disso, o produto também pode ser aplicado em rochas ornamentais, como granito, mármore e calcário, bem como em revestimentos do tipo terrazzo cimentício e epóxi. Em relação aos ambientes recomendados, sua aplicação abrange pisos industriais, estabelecimentos comerciais, residenciais e hospitalares.

A Tabela 19 apresenta a caracterização e as propriedades físicas e mecânicas do selador de superfície.

Tabela 19 – Propriedades físicas e mecânicas do selador de superfície

Propriedade	Valor
Estado físico	Líquido
Forma	Líquido
Cor	Branco
Odor	Inodoro
pH	9
Solubilidade	Solúvel em água
Temperatura de Aplicação	15 - 30 °C
Taxa de Consumo	90 - 185 m ² /G
VOC	< 0,06 g/L
Tempo de Secagem	24 h
Referência Produto Fabricante	501 19 79-10

Fonte: Ficha Técnica (*Data Sheet*), Fabricante Husqvarna (2021, p.01).

O fabricante recomenda que a aplicação do selante ocorra com a superfície devidamente limpa e seca. Além disso, uma camada fina do produto deve ser uniformemente espalhada ao longo de todo o perfil do piso, garantindo cobertura homogênea. Também é indicado que, entre três e cinco minutos após a aplicação, a superfície seja polida novamente com lixa de granulometria #3000, a fim de intensificar o brilho do substrato.

3.2.9 Injetor de argamassa à base de látex – Polímero Elastomérico natural ou Sintético – GM 3000

Conforme a ficha técnica do fabricante Husqvarna (Husqvarna, 2021) e a FISPQ (Acor Indústria de Tintas, 2021), o GM 3000 é um aditivo de ligação à base de látex, desenvolvido especificamente para o rejuntamento e preenchimento de poros em superfícies de concreto. Esse produto desempenha um papel fundamental no processo de polimento, pois promove o fechamento do substrato e preenche pequenas bolsas de ar e poros que surgem durante o polimento do piso de concreto.

De acordo com a ficha técnica, o GM 3000 apresenta estado físico líquido e levemente viscoso, coloração branca e odor suave de amônia. Sua densidade varia

entre 0,98 e 1,020 g/cm³, com pH entre 7 e 8. Além disso, o produto não é inflamável e é solúvel em água.

Para sua aplicação, o fabricante recomenda o uso de um pulverizador de bomba e uma vassoura de cerdas finas. Inicialmente, deve-se borrifar uma leve camada de água sobre a superfície para facilitar a absorção do aditivo, evitando a formação de poças. Com a superfície ainda úmida, aplica-se o GM 3000, espalhando-o com a vassoura para remover poeira dos poros do concreto. Em seguida, utiliza-se o diamante abrasivo de granulometria #120, que gerará poeira fina. Essa poeira se combinará com o polímero elastomérico aquoso natural e sintético, formando uma pasta que será incorporada aos interstícios da superfície. Esse processo preenche os poros resultantes das bolhas de ar e do desgaste causado pelo corte e desgaste do concreto e dos agregados.

O fabricante Husqvarna destaca os principais benefícios da aplicação do polímero elastomérico – látex, incluindo: preenchimento eficiente dos microporos da superfície; facilidade na limpeza do piso; melhoria no brilho do concreto lapidado; produto ecologicamente correto e de fácil aplicação.

3.3 Procedimentos dos ensaios experimentais

O programa experimental foi estruturado com a realização de ensaios não destrutivos e destrutivos, aplicados sobre diferentes placas de concreto moldadas com dimensões originais de 80 x 80 x 10 cm.

Os ensaios não destrutivos compreenderam:

- Medição de brilho, realizada com equipamento específico para avaliar o índice de reflexão luminosa da superfície;
- Medição de rugosidade (ISO 4288): que quantifica as irregularidades da superfície tratada,
- Dureza superficial (NBR 7584): ensaio por esclerometria, utilizando um corpo de prova por amostragem com dimensões de 20 x 20 x 10 cm, e através da escala de Mohs, que avalia a resistência da superfície ao risco, utilizando minerais de referência com durezas crescentes.

Esses ensaios foram conduzidos nas placas de número 01, 03, 05, 07, 09 e 11, mantendo suas dimensões integrais.

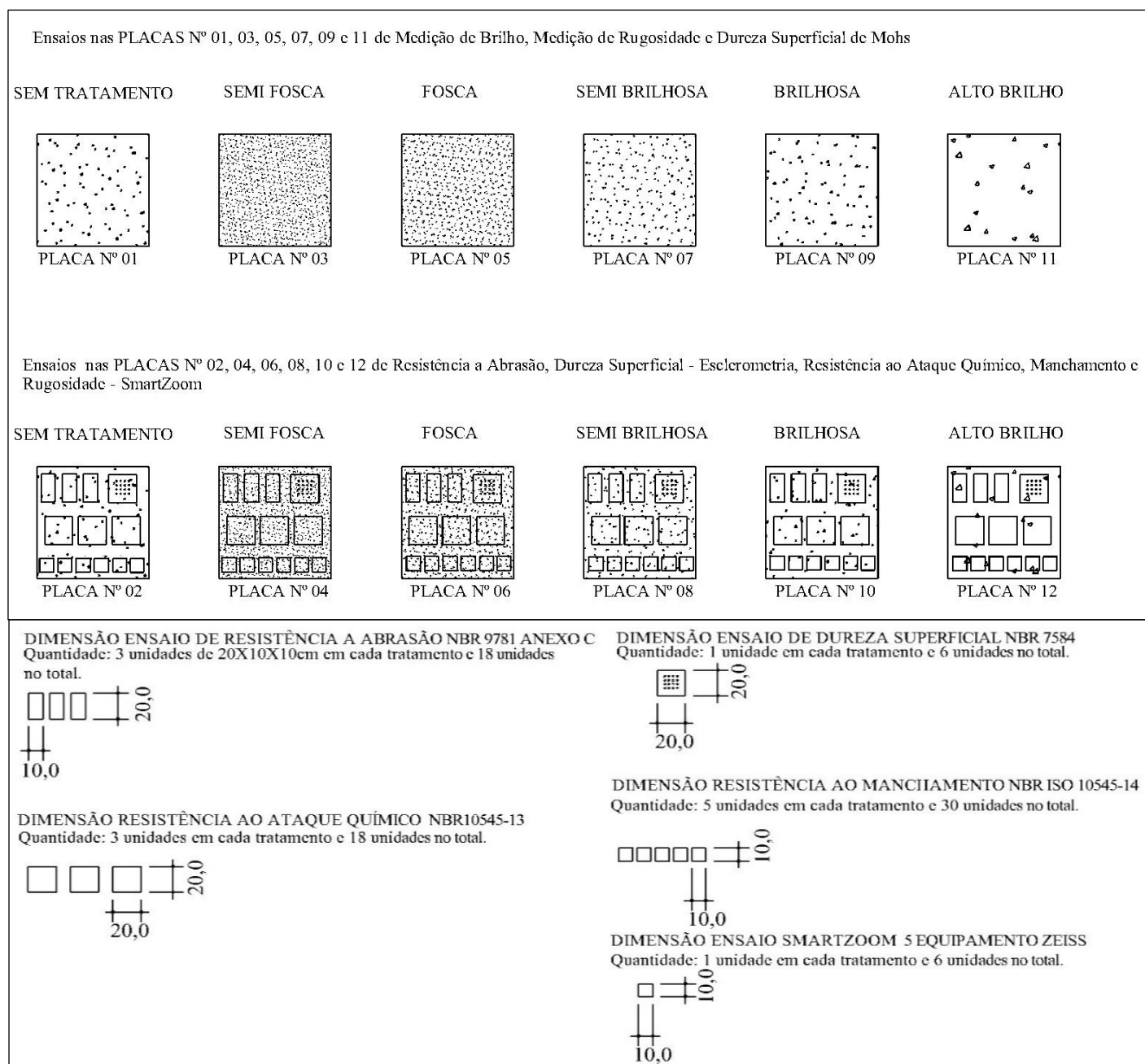
Os ensaios destrutivos, por sua vez, foram realizados conforme as seguintes normas técnicas:

- Resistência à abrasão (NBR 9781): ensaio que avalia a perda de massa por desgaste superficial, aplicando três corpos de prova por amostragem com dimensões de 10 x 20 x 10 cm;
- Resistência ao ataque químico (NBR 10545-13): avalia a estabilidade da superfície frente a agentes químicos agressivos, com três corpos de prova por amostragem de 20 x 20 x 10 cm;
- Resistência ao manchamento (NBR 10545-14): verifica a capacidade da superfície de resistir à penetração de agentes pigmentantes, aplicando cinco corpos de prova por amostragem com dimensões de 10 x 10 x 10 cm.

Esses ensaios foram executados nas placas de número 02, 04, 06, 08, 10 e 12, as quais foram segmentadas com o uso de serra, disco e água para obtenção dos corpos de prova nas dimensões exigidas por cada norma.

A Figura 36 apresenta a estrutura geral do programa experimental, detalhando a quantidade de amostras utilizadas, os tratamentos aplicados e as dimensões específicas empregadas em cada tipo de ensaio.

Figura 36 – Representação da divisão das placas de concreto conforme cada ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.3.1 Ensaio de compressão

O concreto foi produzido em caminhão betoneira na Unisinos, e foram coletadas amostras para verificar a resistência e confirmar a adequação do material. Para isso, foram moldados corpos de prova cilíndricos com 100 mm x 200 mm, preenchidos em duas camadas, sendo cada uma compactada com 12 golpes da barra de adensamento, conforme ilustrado na Figura 37 e seguindo os

procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2015a). De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2015), foram preparadas seis amostras desse lote de concreto. Os ensaios de resistência foram realizados em três períodos distintos de cura, aos 7, 14 e 28 dias, permitindo acompanhar a evolução da resistência ao longo do tempo.

Figura 37 - CPs moldados conforme NBR 5738



Fonte: Arquivo próprio (2024).

3.3.2 Ensaio para resistência à abrasão em pisos

O ensaio de resistência à abrasão foi conduzido conforme os procedimentos descritos no Anexo C da norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que trata da determinação da resistência à abrasão em peças de concreto. As amostras utilizadas foram extraídas das placas nº 02, 04, 06, 08, 10 e 12, com 28 dias de idade, totalizando 18 corpos de prova (três para cada tipo de tratamento superficial aplicado).

Para a obtenção dessas amostras, foram realizados cortes nas placas utilizando serra equipada com disco diamantado e refrigeração à base de água, a fim de minimizar o aquecimento e evitar microfissuras por atrito. Embora o uso de água no corte seja necessário para preservar a integridade do material, ele foi executado com controle rigoroso para evitar alterações nas propriedades superficiais que pudessem comprometer os resultados do ensaio.

As amostras extraídas apresentaram dimensões finais de 20 cm x 10 cm x 10 cm, conforme especificado pela norma. Cada conjunto de três amostras foi

posicionado no equipamento de ensaio, com o corpo de prova centralizado em relação ao disco rotativo. O reservatório de material abrasivo foi abastecido para garantir um fluxo contínuo de $(100 \pm 0,05)$ g a cada (100 ± 5) rotações.

A válvula de controle do abrasivo foi aberta simultaneamente à ativação do motor, configurado para realizar 75 rotações em (60 ± 3) segundos. Durante o processo, foi verificada a regularidade do fluxo abrasivo até o encerramento do ciclo de rotações.

Finalizado o ensaio, o corpo de prova foi retirado e submetido à medição do comprimento da cavidade gerada pela abrasão, sendo avaliado um único ponto por amostra, conforme exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013). O procedimento foi replicado em todas as amostras das seis condições de tratamento, garantindo representatividade e comparabilidade entre os resultados.

3.3.3 Avaliação do brilho – *Glossmeter* CS 380-SE

A avaliação do brilho teve como objetivo analisar a intensidade de reflexão superficial nas placas de concreto lapidado, considerando os diferentes tratamentos aplicados. Para isso, foram observadas as variações nas medições realizadas com o equipamento *Glossmeter*, utilizando o método aleatório como estratégia de coleta dos dados.

As medições foram realizadas nas placas de nº 01, 03, 05, 07, 09 e 11, todas com dimensões de 80x80x10 cm. As placas 1 e 2 foram utilizadas como referência, pois não recebeu nenhum tipo de tratamento superficial, ao passo que as demais passaram por diferentes níveis de polimento, conforme o protocolo experimental.

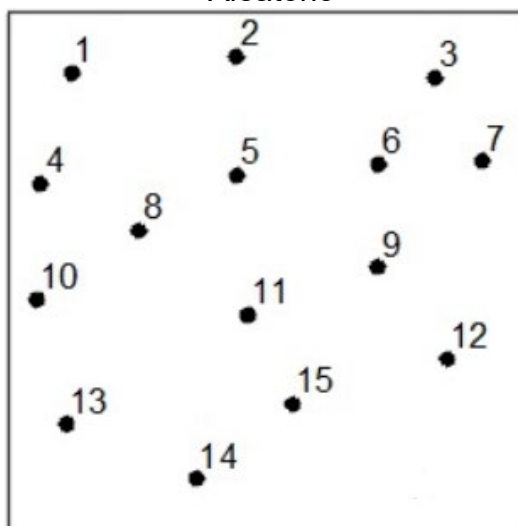
Antes das medições, o cabeçote do equipamento foi calibrado e o ângulo de incidência do brilho foi selecionado conforme os padrões técnicos estabelecidos: 20° para superfícies de alto brilho (acima de 70 GU), conforme especificado pela norma ASTM D523-14 (ASTM, 2018). Para essa análise, utilizou-se o aparelho CS 380-SE, do fabricante *CHNSpec Technology Zhejiang*, com resultados expressos em *Gloss Units* (GU).

A coleta de dados foi conduzida por meio do método aleatório, no qual foram realizadas 15 medições distribuídas aleatoriamente na superfície da placa, em uma área delimitada de 20x20 cm. Essa abordagem buscou representar de forma ampla

e imparcial a variabilidade do brilho em função da heterogeneidade do polimento, sem seguir um padrão fixo ou sistemático de posicionamento dos pontos.

A Figura 38 apresenta o esquema detalhado da metodologia aplicada para cada uma das placas de concreto.

Figura 38 – Diagrama esquemático dos pontos de coleta de brilho – Método Aleatório



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3.4 Avaliação da rugosidade superficial

3.3.4.1 Rugosímetro – Starrett SR 200

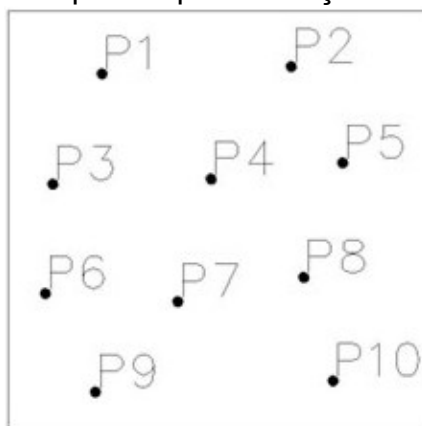
O ensaio de rugosidade foi realizado conforme os procedimentos estabelecidos na norma NBR 4288 (2008), que orienta a medição de perfis de rugosidade com ampliação óptica e parâmetros definidos. As medições foram efetuadas nas placas de número 02, 04, 06, 08, 10 e 12, todas com dimensões de 80 cm x 80 cm x 10 cm, representando os diferentes tratamentos superficiais avaliados neste estudo, incluindo a placa nº 01, utilizada como amostra de referência sem tratamento.

Para esse procedimento, utilizou-se o rugosímetro modelo SR 200, da fabricante *Starrett*. O equipamento opera por meio de um apalpador com sensor indutivo, que se desloca mecanicamente sobre a superfície do concreto. À medida

que percorre o material, o apalpador detecta as variações verticais da superfície e converte esses dados em um perfil digital.

O parâmetro principal avaliado foi a rugosidade média aritmética (R_a), expressa em micrômetros (μm). Esse parâmetro representa a média das distâncias absolutas das irregularidades da superfície em relação à linha média do perfil medido, refletindo o grau de textura da superfície. Os dados obtidos permitiram comparar o efeito dos diferentes tratamentos aplicados sobre a uniformidade e aspereza do concreto lapidado (Figura 39).

Figura 39 – Diagrama de pontos para medição da rugosidade superficial



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3.4.2 *Smartzoom5 - Zeiss*

Após a extração dos corpos de prova com dimensões de 10 x 10 x 10 cm das placas nº 2, 4, 6, 8, 10 e 12, referentes a cada tratamento proposto nesta pesquisa, bem como da placa nº 2 sem tratamento superficial (placa de referência), os corpos de prova foram encaminhados para análise microscópica da superfície do substrato. Para isso, foi utilizado o equipamento digital *Zeiss*, modelo *Smartzoom 5*, disponibilizado pelo *itt Fuse*, localizado na Universidade Unisinos, no município de São Leopoldo, RS.

Todas as imagens geradas pelo *Smartzoom 5* durante esta etapa do programa experimental foram obtidas a partir da seleção de três pontos aleatórios na interface, priorizando regiões com maior exposição dos agregados. Além das imagens da superfície, foi também gerado o perfil do modelo 3D da região analisada. Para isso, traçou-se uma reta no sentido longitudinal do perfil, permitindo a geração

de um gráfico que ilustra os diferentes níveis de rugosidade superficial, com escala em micrômetros (μm).

Conforme indicado na Tabela 20, é possível identificar cada amostra, o tipo de tratamento superficial aplicado, o peso de cada corpo de prova e as especificações das lentes utilizadas para a captura das imagens da superfície. Segundo informações técnicas fornecidas pelo laboratório do *itt Fuse*, o *Smartzoom 5* possui uma capacidade de 4 kg e suporta amostras com dimensões máximas de 10 x 10 x 10 cm para análise.

Tabela 20 - Análise dos CPs utilizados para avaliação no Smartzoom 5

Placa Analisada	Tipo de Tratamento Recebido	Dimensões (cm)	Peso do CP (kg)	Abertura da Lente Utilizada
Nº 2	Sem tratamento	10x10x10	2,1	PlanApo D 1.6x/0.1 FWD 36mm e PlanApo D 0.5x/0.03 FWD 78mm
Nº 4	Semifosco #200	10x10x10	2,3	PlanApo D 1.6x/0.1 FWD 36mm
Nº 6	Fosco #400	10x10x10	1,96	PlanApo D 1.6x/0.1 FWD 36mm
Nº 8	Semibrilho #800	10x10x10	2	PlanApo D 1.6x/0.1 FWD 36mm
Nº 10	Brilhoso #1500	10x10x10	1,94	PlanApo D 1.6x/0.1 FWD 36mm
Nº 12	Altobrilho #3000	10x10x10	1,98	PlanApo D 1.6x/0.1 FWD 36mm e PlanApo D 0.5x/0.03 FWD 78mm

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3.5 Ensaio de dureza superficial

3.3.5.1 Esclerometria

A avaliação da dureza superficial do concreto foi realizada com base nos procedimentos da norma NBR 7584 (ABNT, 2012), que trata do uso do esclerômetro de reflexão para ensaios em concreto endurecido. Foram selecionadas seis amostras com 28 dias de idade, sendo uma unidade para cada tipo de acabamento superficial e uma amostra referente ao concreto sem tratamento. As dimensões adotadas para os corpos de prova foram de 20 cm x 20 cm x 10 cm.

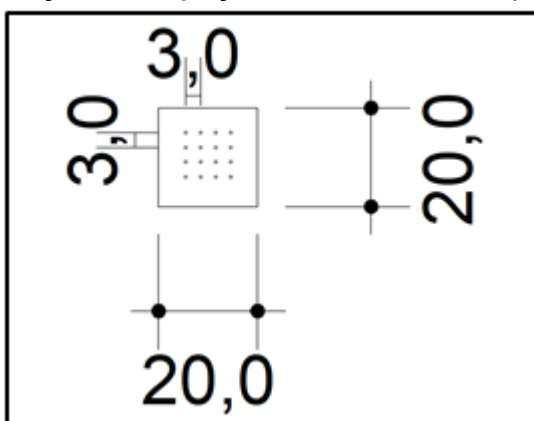
O método esclerométrico permite avaliar a dureza superficial e, indiretamente, a qualidade do concreto endurecido, com base no índice esclerométrico (IE). O ensaio foi executado utilizando um martelo de impacto com mola calibrada, que impulsiona uma haste metálica contra a superfície do concreto. A energia de recuo, após o impacto, é registrada pelo equipamento, refletindo a dureza local.

Cada amostra foi submetida a 16 impactos, distribuídos de forma uniforme na superfície, com espaçamento mínimo de 30 mm entre os centros dos pontos de impacto, conforme recomenda a norma.

Observação: embora os procedimentos gerais tenham seguido a NBR 7584 (ABNT, 2012), destaca-se que a norma recomenda a execução do ensaio em elementos com espessura mínima de 10 cm de concreto efetivo. Considerando que parte da energia de impacto pode se dissipar se o corpo de prova não possuir massa suficiente, o uso de amostras com exatamente 10 cm de espessura pode representar uma limitação técnica, a ser considerada na interpretação dos resultados. Diante disso, os valores obtidos devem ser analisados com cautela, e o método alternativo pela escala de Mohs também foi utilizado como recurso complementar de avaliação da dureza superficial.

A distância mínima entre os centros de dois pontos de impacto foi de 30 mm, conforme ilustrado na Figura 40.

Figura 40 – Demonstração do espaçamento necessário para efetuar os golpes



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a realização deste ensaio, foi realizada a calibração do equipamento utilizando uma bigorna de aço, conforme as recomendações e especificações da norma NBR 7584 (ABNT, 2012). Foram registrados 16 impactos sobre a bigorna de

aço, a fim de verificar se o equipamento estava devidamente calibrado e apto para uso.

Ainda de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012), a partir das 16 leituras, foi calculado o coeficiente de correção (K), que foi posteriormente aplicado aos valores do índice esclerométrico (IE) obtidos no ensaio. O valor de K foi determinado por meio da Equação 1.

$$K = \frac{n.IE_{nom}}{\sum_{i=1}^n IE_i} \quad (1)$$

Sendo que:

K – coeficiente de correção do índice esclerométrico;

n – número de impactos na bigorna de aço (9);

IE_{nom} – índice esclerométrico nominal do aparelho na bigorna de aço, fornecido pelo fabricante;

IE_i – índice esclerométrico obtido em cada impacto do esclerômetro na bigorna de aço.

Ainda segundo a norma NBR 7584 (ABNT, 2012), que estabelece que, após a realização de cada ensaio, é necessário calcular a média aritmética dos 16 valores individuais dos índices esclerométricos (IE). Além disso, qualquer valor que apresentasse um desvio superior a 10% da média obtida foi desconsiderado. Após a determinação do IE para cada uma das seis amostras analisadas, foi calculado o índice esclerométrico efetivo (IE_{ef}), conforme a Equação 2.

$$IE_{ef} = IE.K \quad (2)$$

Sendo que:

IE_{ef} – índice esclerométrico efetivo;

K – coeficiente de correção, obtido conforme equação 1;

IE – índice esclerométrico médio (média dos impactos);

O valor do IEef foi determinado para cada uma das seis amostras de piso de concreto.

3.3.5.2 Avaliação da resistência ao risco – Escala da Mohs

A resistência ao risco das superfícies de concreto foi avaliada utilizando o método baseado na escala de Mohs, conforme descrito por Schumann (2008), Richardson (2001) e Klein (2015). Essa técnica permite a estimativa da dureza superficial relativa por meio da comparação com materiais de dureza conhecida, sendo amplamente utilizada para testes in loco, especialmente quando a composição do material a ser analisado não é previamente conhecida.

Neste estudo, a avaliação foi aplicada nas placas de concreto com 28 dias de cura, abrangendo todas as superfícies submetidas a diferentes tratamentos, além da amostra de referência sem polimento. Os ensaios foram realizados diretamente no centro de cada placa, em área representativa e não afetada por bordas ou cantos, a fim de garantir a uniformidade da resposta superficial.

Foram utilizados riscadores com extremidades de materiais-padrão de durezas distintas, conforme a escala de Mohs:

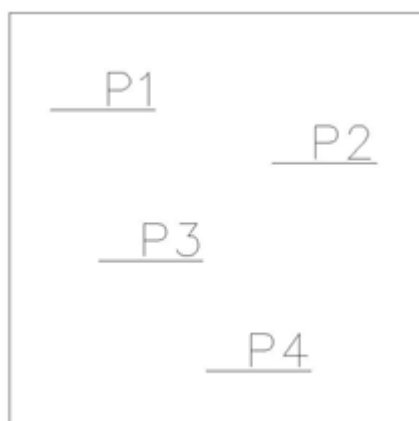
- Prego de metal (dureza aproximada de 4,0);
- Vidro (dureza de 5,5);
- Fragmento de quartzo (dureza de 7,0).

Os riscadores apresentavam comprimento de aproximadamente 10 cm e ponta de contato padronizada com diâmetro inferior a 2 mm, garantindo precisão no ponto de aplicação da força.

A metodologia consistiu na tentativa de riscar a superfície com cada material, avaliando se a marca permanecia visível ou não após o contato. Caso o riscador deixasse uma marca perceptível, considerou-se que sua dureza era superior à da superfície testada. A dureza superficial estimada foi, assim, determinada com base no material mais duro que não conseguiu riscar a amostra.

Este procedimento ofereceu uma avaliação complementar à esclerometria, especialmente útil para amostras com espessura limitada, nas quais o método esclerométrico apresenta restrições normativas (Figura 41).

Figura 41 - Diagrama de Pontos para análise de resistência ao risco por Mohs



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3.6 Ensaio de resistência ao ataque químico

Para a avaliação da resistência ao ataque químico das superfícies de concreto, foi aplicada uma metodologia adaptada da norma NBR 10545-13 (ABNT, 2020), originalmente voltada para revestimentos cerâmicos. O objetivo foi submeter os corpos de prova à ação de soluções químicas agressivas e, após um período de exposição controlado, realizar uma avaliação visual e comparativa dos efeitos observados.

O ensaio foi conduzido com corpos de prova de 28 dias de idade, previamente curados, garantindo que o concreto estivesse em sua condição mecânica e química estável antes da exposição aos reagentes. Para cada tipo de tratamento superficial, foram utilizados três corpos de prova com dimensões de 20 cm x 20 cm x 10 cm, extraídos das placas nº 02, 04, 06, 08, 10 e 12. A placa nº 02, sem aplicação de tratamento superficial, foi adotada como amostra de referência para efeito de comparação, conforme evidenciado na Tabela 21.

Tabela 21 – Número de corpos de prova	
Placa - Área Máxima (A)* (cm²)	Número Total de Corpos de Prova (Placas)
200 ≤ A ≤ 3.600	3
A > 3.600	3

* Quando $A \leq 200 \text{ cm}^2$, convém que o número total de corpos de prova (placas) seja suficiente para cobrir uma área de 200 cm^2 .

Fonte: NBR 10545-13 (ABNT, 2020, p.03).

As amostras foram totalmente imersas ou expostas de forma parcial, conforme exigência da substância aplicada, e os efeitos do ataque químico foram registrados de maneira qualitativa, observando alterações de cor, brilho, textura superficial e integridade física. Essas observações permitiram comparar a eficácia de cada tratamento na proteção contra agentes químicos.

Para a realização do ensaio de ataque químico, foram utilizados corpos de prova com dimensões de 20 cm x 20 cm, resultando em uma área de 400 cm², em conformidade com a normativa, que exige uma área mínima de 200 cm².

Inicialmente, os corpos de prova passaram por preparação e limpeza, com a remoção completa de impurezas da superfície utilizando etanol como solvente. Amostras que apresentassem defeitos superficiais foram descartadas. Após a extração das placas de concreto e a correta limpeza da superfície, iniciou-se o procedimento de ensaio.

Cada corpo de prova foi seco em estufa (conforme item 6.3 da norma) a (105 ± 5) °C por, no mínimo, duas horas. Em seguida, foram resfriados até atingirem a temperatura ambiente e submetidos ao ensaio em até três horas após esse resfriamento.

Para a aplicação das soluções, utilizou-se uma camada de material de vedação (item 6.6) com 3 mm de espessura na borda do cilindro (item 6.2). O cilindro foi então invertido sobre uma nova área da superfície preparada e vedado ao seu redor. A solução de ensaio foi inserida no cilindro até atingir uma altura de (20 ± 1) mm.

As soluções utilizadas no ensaio foram classificadas em diferentes categorias:

1. Produto químico doméstico: solução de cloreto de amônio (100 g/L);
2. Sais de piscina: solução de hipoclorito de sódio (20 mg/L);
3. Ácidos e álcalis de baixas concentrações: soluções de ácido hidrocloreídrico (3%), ácido cítrico (100 g/L) e hidróxido de potássio (30 g/L);
4. Ácidos e álcalis de altas concentrações: soluções de ácido hidrocloreídrico (18%), ácido láctico (5%) e hidróxido de potássio (100 g/L).

A norma determina que, caso não seja viável manter um nível constante da solução, os corpos de prova devem ser imersos verticalmente a uma profundidade

de 25 mm no recipiente contendo a solução de ensaio (conforme item 6.1). Após a imersão, o recipiente deve ser coberto com tampa (item 6.1).

As soluções de ensaio mencionadas devem seguir as especificações dos itens 5.1, 5.2 e 5.3.1 da norma. Caso necessário, as soluções listadas no item 5.3.2 também podem ser utilizadas. Por fim, o conjunto de ensaio foi mantido a uma temperatura de (20 ± 5) °C durante todo o procedimento.

3.3.7 Ensaio de resistência ao manchamento

O ensaio de resistência ao manchamento foi realizado com base na normativa NBR 10545-14 (ABNT, 2017b).

De acordo com essa norma, devem ser utilizados cinco corpos de prova sem uso e sem danos, que podem ser placas inteiras ou peças cortadas. Embora a norma não especifique dimensões exatas, ela exige que a área dos corpos de prova seja suficiente para garantir a separação dos agentes manchantes. Caso as amostras sejam muito pequenas, a norma permite o uso de peças adicionais. Além disso, os corpos de prova não devem apresentar defeitos superficiais, e sua superfície deve ser limpa com um solvente adequado, como etanol, antes do ensaio.

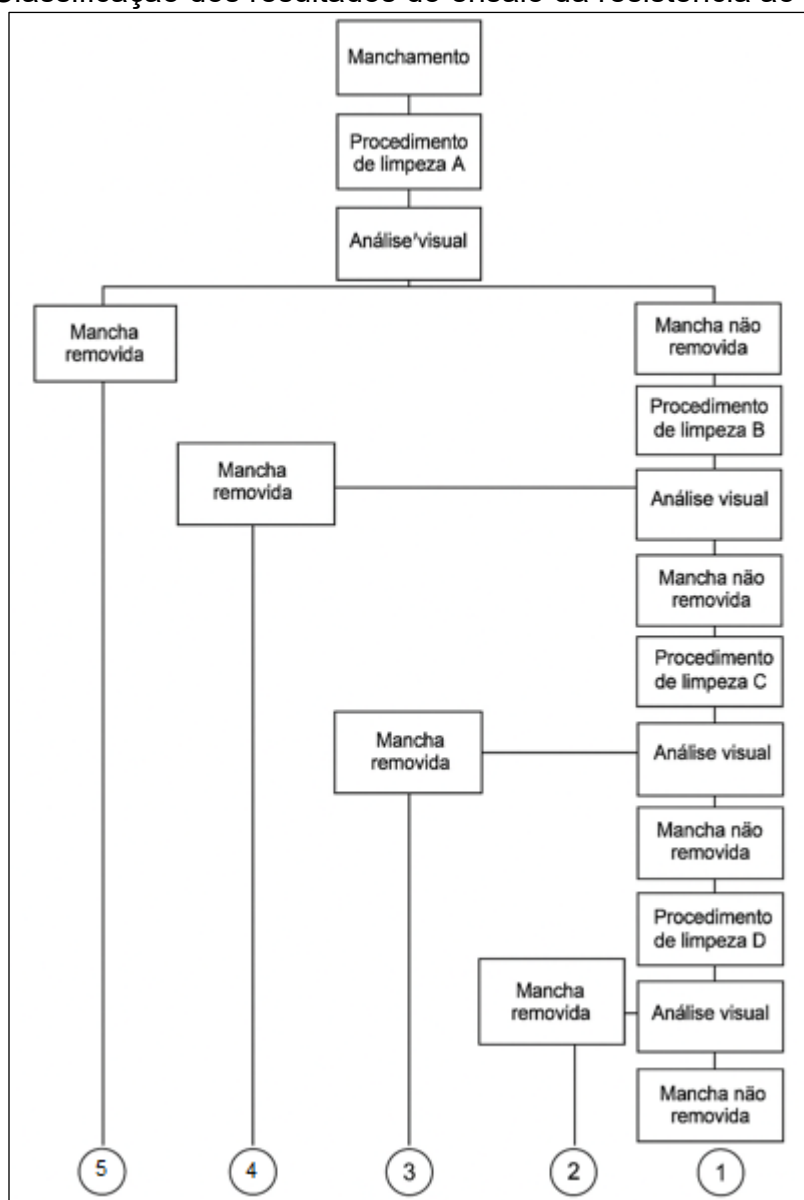
Seguindo essas orientações, foram definidos cinco corpos de prova com dimensões de 10 cm x 10 cm, totalizando 30 amostras — sendo cinco unidades para cada tipo de tratamento e para a placa de referência sem tratamento. Posteriormente, os corpos de prova foram secos em estufa, conforme especificado no item 5.3 da NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), a uma temperatura de (105 ± 5) °C por, no mínimo, duas horas, e posteriormente resfriados até atingirem a temperatura ambiente. O ensaio foi realizado em até três horas após o resfriamento.

Conforme estabelecido na NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), foram aplicadas três ou quatro gotas da pasta dos agentes manchantes na superfície de cada amostra, conforme os itens 4.1.1 e 4.1.2 da norma. De acordo com os itens 4.2.1 e 4.3.1, as áreas contaminadas foram cobertas com um vidro de relógio convexo de aproximadamente 30 mm de diâmetro (com o lado convexo voltado para baixo) sobre as gotas aplicadas, garantindo a dispersão uniforme do agente manchante em uma área circular. O tempo de exposição foi de 24 horas.

Para a remoção das manchas, os corpos de prova foram submetidos aos procedimentos de limpeza descritos no item 5.2, seguindo os métodos A, B, C e D descritos na norma. Após cada tentativa de remoção, os corpos de prova foram secos novamente em estufa a (105 ± 5) °C por, no mínimo, duas horas, antes de passarem por análise visual.

A inspeção foi realizada a olho nu ou com lentes corretivas, a uma distância de 25 cm a 30 cm, sob iluminação artificial mínima de 300 lux. No caso dos agentes manchantes listados no item 4.1, o manchamento foi considerado apenas quando os pigmentos permaneceram visíveis. Quando a mancha foi removida completamente da superfície, foi registrada a classe de limpeza conforme Figura 42 da norma. Se a mancha não fosse removida, a amostra avançava para a etapa seguinte do processo de limpeza.

Figura 42 – Classificação dos resultados do ensaio da resistência ao manchamento



Fonte: NBR 10545-14 (ABNT, 2017b, p.11).

Para a classificação dos resultados obtidos, a norma NBR 10545-14 (ABNT, 2017b) estabelece que, como consequência das etapas e procedimentos descritos nos itens 7.1 e 7.2, as superfícies cerâmicas — e, por analogia, as superfícies de concreto lapidado utilizadas neste estudo experimental — são classificadas em cinco classes, conforme ilustrado na figura correspondente.

Após a realização do ensaio, o resultado deve ser registrado para cada corpo de prova, em relação a cada agente manchante aplicado. A classificação varia de classe 5 a classe 1, sendo: classe 5: maior facilidade na remoção do agente

manchante; classe 1: impossibilidade de remoção do agente manchante, seja por qualquer um dos procedimentos de limpeza previstos ou devido a danos irreversíveis à superfície da amostra.

Essa classificação permite avaliar a resistência ao manchamento das superfícies de concreto lapidado e sua compatibilidade com diferentes condições de uso, conforme os critérios da NBR 10545-14 (ABNT, 2017b).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos em cada ensaio realizado: resistência à compressão, resistência à abrasão, medição de brilho superficial, análise de rugosidade por meio do rugosímetro e do microscópio *Smartzoom 5*, dureza superficial por esclerometria, resistência ao risco, resistência ao ataque químico e resistência ao manchar. A partir dos dados gerados no programa experimental, procede-se à análise crítica e à discussão dos achados, verificando-se o atendimento aos objetivos propostos para esta pesquisa. Além disso, busca-se compreender o impacto dos diferentes tratamentos aplicados ao substrato de concreto e sua contribuição para a melhoria das propriedades físicas, mecânicas e químicas do material.

4.1 Resistência à compressão

Uma das propriedades mais relevantes para a avaliação de estruturas de concreto é a resistência à compressão, diretamente relacionada à pasta de cimento endurecida e amplamente utilizada como indicador da qualidade do material. Sua importância decorre da capacidade do elemento estrutural em suportar esforços sem apresentar colapso, motivo pelo qual esse parâmetro é considerado o principal critério de desempenho em estruturas de concreto. No presente programa experimental, os resultados obtidos por meio do ensaio de compressão encontram-se apresentados na Tabela 22, enquanto a relação completa dos valores está disponibilizada no Anexo C, em conformidade com a norma NBR 5739 (ABNT, 2018).

Tabela 22 - Resultados de resistência à compressão

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				
CIMENTO PORTLAND CP II-F				
ID	Material	Idade (dias)	Resistência a Compressão (MPa)	Relação h/d
CP1	C30 B1 140±20 mm	7	23,2	1,90
CP2	C30 B1 140±20 mm		22,5	1,96
CP3	C30 B1 140±20 mm	14	26,8	1,94
CP4	C30 B1 140±20 mm		25,1	1,91
CP5	C30 B1 140±20 mm	28	31,3	1,92
CP6	C30 B1 140±20 mm		30,5	1,94

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise da Tabela 22 evidencia que, considerando os fatores controláveis como o traço do concreto definido e o tipo de cimento empregado (CP II-F), já aos 7 dias de idade o material apresentou desempenho satisfatório, alcançando o valor mínimo necessário para a aplicação de tratamentos em concretos utilizados em ambientes corporativos, residenciais e decorativos. Esse requisito segue as recomendações do ACI COMMITTEE 302.1R (2015), que estabelece resistência mínima à compressão de 21 MPa aos 28 dias para pisos das classes: (1) pisos expostos ao tráfego de pedestres, (2) pisos expostos ao tráfego de pedestres em maior intensidade e (3) pisos de cobertura destinados ao tráfego de pedestres.

Ressalta-se, ainda, que os cinco diferentes tratamentos propostos nesta pesquisa foram aplicados apenas aos 28 dias de idade do concreto, ocasião em que se obteve resistência média à compressão de 30,4 MPa, valor que demonstra não apenas o atendimento às exigências normativas, mas também a superioridade da qualidade do material e de seu substrato.

4.2 Resistência à abrasão

Para a obtenção dos resultados de resistência à abrasão referentes a cada tratamento aplicado no substrato de concreto, foi realizada uma adaptação da NBR 9781 (ABNT, 2013) – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (ANEXO C). Tal escolha se deveu à indisponibilidade de equipamentos adequados para a execução do ensaio conforme a normativa

americana ASTM C779 (2019) – *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces*. Este último método prevê a avaliação da resistência em áreas mais amplas de piso, por meio de três procedimentos distintos, com a finalidade de simular condições reais de abrasão e analisar os efeitos dos materiais constituintes, da cura e do acabamento sobre o desempenho do concreto. Apesar de útil como parâmetro de aceitação da qualidade superficial exposta ao desgaste, essa norma não fornece métricas quantitativas para estimar a vida útil de serviço da estrutura.

Conforme discutem Ridtirud e Chindaprasirt (2019), um dos maiores desafios na aplicação de pisos de concreto em ambientes industriais e de pavimentação é a elevada solicitação abrasiva, decorrente do tráfego intenso de máquinas e da sobrecarga estrutural, fatores que causam erosão e danos significativos à superfície. Os autores ainda destacam que a deterioração da camada superficial decorre, em grande parte, de sua menor resistência relativa quando comparada às demais frações da mistura do concreto.

Como alternativa tecnológica, salientam que o polimento aliado à aplicação de revestimentos à base de silicatos (de sódio, potássio ou lítio) pode proporcionar ganhos expressivos na durabilidade, aumentando a resistência à abrasão e reduzindo a suscetibilidade a riscos.

Os resultados médios de resistência à abrasão obtidos nesta pesquisa para os diferentes tratamentos encontram-se apresentados na Tabela 23, permitindo a comparação direta entre as superfícies tratadas e a amostra de referência.

Tabela 23 - Resultados da resistência à abrasão média

RESISTÊNCIA ABRASÃO- NBR 9781/2013 - VALORES MÉDIOS				
Tipologia	Grão (#)	Número de amostras ensaiadas	Médias (mm³)	CV (%)
Placa 1-2	0	3	22,00	0,37
Placa 3-4	200	3	18,07	3,79
Placa 5-6	400	3	17,37	2,99
Placa 7-8	800	3	17,53	2,10
Placa 9-10	1500	3	16,53	2,23
Placa 11-12	3000	3	16,70	5,51

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados médios da resistência à abrasão encontram-se na Tabela 23, evidenciando reduções progressivas do índice de desgaste conforme o avanço das etapas de polimento abrasivo. As placas de referência (1 e 2), sem tratamento superficial, apresentaram o maior valor médio (22,00 mm³), dentro do limite normativo da NBR 9781 (ABNT, 2013). Já as amostras tratadas com lixas de diferentes granulometrias mostraram valores inferiores, variando de 18,07 mm³ (lixa #200) a 16,53 mm³ (lixa #1500), com redução máxima de 24,86% em relação às amostras não tratadas. O coeficiente de variação (CV) manteve-se baixo em todos os ensaios, reforçando a consistência dos resultados.

Os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à abrasão, conduzido de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), foram submetidos à análise estatística com o objetivo de verificar a influência do fator controlável e suas interações sobre o fator de resposta (resistência à abrasão).

Para o tratamento dos dados experimentais, empregou-se o método de análise de variância (ANOVA), que permitiu identificar a significância estatística tanto dos efeitos isolados da variável de controle quanto de suas interações com a variável de resposta. Os resultados dessa análise estão apresentados na Tabela 24, possibilitando uma avaliação mais precisa da confiabilidade dos ensaios e da contribuição dos tratamentos para o desempenho do substrato de concreto.

Tabela 24 - Análise de variância (ANOVA) – Resistência à abrasão

Tipologia	GDL	QMG	F (calc)	p	SIGNIFICÂNCIA
Lixa abrasiva de lapidação	4	12,27	26,37	0.000008842	S

GDL: graus de liberdade (n-1); QMG: Quadrado Médio do Grupo; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância S: valor significativo; Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise estatística por meio de ANOVA, apresentada na Tabela 24, confirmou que o efeito do fator “tipo de lixa abrasiva” foi estatisticamente significativo sobre a variável de resposta (resistência à abrasão), com $F(\text{calc}) = 26,37$ e $p = 0,000008842$ ($p < 0,05$). Esse resultado indica que os diferentes níveis de polimento exercem influência direta no desempenho frente ao desgaste. O refinamento progressivo da superfície contribuiu não apenas para a redução do volume de material removido, mas também para a melhora da durabilidade do substrato de

concreto, corroborando a importância da escolha adequada do tratamento superficial.

4.2.1 Amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

As placas de referência (1 e 2), que não receberam qualquer tipo de tratamento superficial, apresentaram o maior índice de cavidade média entre os concretos avaliados, com valor de 22,00 mm³ e coeficiente de variação de 0,37%, conforme demonstrado na Tabela 24. Ao comparar esse resultado com os limites estabelecidos pela Tabela 3 da NBR 9781 (ABNT, 2013), observa-se que, para solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, a cavidade máxima permitida é de 23 mm, de modo que as amostras de referência atenderam às exigências normativas.

Entretanto, apesar da conformidade com a norma, a resistência à abrasão apresentada pelas placas sem tratamento foi significativamente inferior àquela registrada nas amostras submetidas ao processo de polimento abrasivo. Esse comportamento evidencia a maior vulnerabilidade da camada superficial do concreto quando não há intervenção, tornando-a mais suscetível a desgastes por atrito e solicitações mecânicas. Essa constatação corrobora o que é apontado na literatura (Kumar, 2017; Mehta; Monteiro, 2014; Pyo *et al.*, 2018), segundo a qual a abrasão superficial constitui um dos principais mecanismos de degradação do concreto, promovendo perda progressiva de massa e deterioração precoce da camada superior da estrutura.

Quando relacionados esses resultados com a classe de piso definida para esta pesquisa (Classe 1 – 21 MPa aos 28 dias, conforme ACI COMMITTEE 302.1R, 2015), verifica-se que as placas de referência atendem ao requisito mínimo estabelecido. Contudo, a comparação com as amostras submetidas ao polimento abrasivo evidencia um ganho expressivo em resistência à abrasão, demonstrando que o refinamento progressivo da superfície contribui diretamente para o aumento da durabilidade e do desempenho dos pisos internos de concreto.

4.2.2 Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

As placas de concreto 3 e 4, submetidas ao tratamento semi-fosco com acabamento de lixa #200, apresentaram cavidade média de 18,07 mm³ e coeficiente de variação de 3,79%, conforme a Tabela 24. Em comparação às placas de referência (22,00 mm³), observou-se uma redução de aproximadamente 17,9% no desgaste abrasivo, evidenciando os primeiros efeitos positivos do processo de polimento superficial na melhoria do desempenho frente à abrasão.

Segundo Chodounsky e Viecili (2007) e o ACI Committee 201 (2016), o desgaste superficial por abrasão em concretos ocorre de forma progressiva e está diretamente associado à qualidade da camada superficial do substrato. Oliveira e Tula (2006) acrescentam que esse processo tende a ser mais acentuado em concretos de menor resistência mecânica e com baixa aderência. Nesse contexto, os resultados obtidos para as placas 3 e 4 confirmam que o tratamento inicial com lixa #200 contribuiu para a redução da cavidade de abrasão, indicando melhora significativa da resistência superficial em relação às amostras sem tratamento.

Para Farny (2001), atributos como resistência à abrasão e durabilidade constituem propriedades fundamentais para pisos de concreto. Em consonância, Padilha *et al.* (2017) ressaltam que a aplicação de tratamentos superficiais, como endurecedores e polimentos progressivos, favorece ganhos expressivos de desempenho. Dessa forma, o acabamento semi-fosco proporcionado pelo uso da lixa #200 se apresenta como uma etapa inicial relevante para a otimização da durabilidade e da funcionalidade dos pisos internos de concreto.

4.2.3 Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

As placas de concreto 5 e 6, submetidas ao tratamento fosco com acabamento de lixa #400, apresentaram cavidade média de 17,37 mm³ e coeficiente de variação de 2,99%, conforme a Tabela 24. Em comparação às placas de referência (22,00 mm³), observou-se uma redução de aproximadamente 21% no desgaste abrasivo, demonstrando que a aplicação da lixa #400 contribuiu de forma significativa para o aumento da resistência à abrasão do concreto.

Quando comparados aos resultados obtidos com a lixa #200 (18,07 mm³), verifica-se que o ganho adicional de desempenho foi modesto, representando uma redução de apenas 3,9% no índice de cavidade. Esse comportamento indica que, embora a progressão do polimento para granulometria mais fina tenha promovido melhorias, o salto de desempenho entre as duas primeiras etapas do processo não foi tão expressivo quanto a diferença em relação às amostras sem tratamento.

Ainda assim, a redução consistente da cavidade de abrasão confirma a efetividade do polimento superficial como estratégia de melhoria da durabilidade da camada exposta do concreto. Ressalta-se que a resistência à abrasão é um parâmetro fundamental para assegurar a vida útil de pisos internos, especialmente em ambientes sujeitos a solicitações mecânicas frequentes.

4.2.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

As placas de concreto 7 e 8, submetidas ao tratamento semi-brilho com acabamento de lixa #800, apresentaram cavidade média de 17,53 mm³ e coeficiente de variação de 2,10%, conforme demonstrado na Tabela 24. Ao comparar com as placas 5 e 6 (17,37 mm³), observa-se que a resistência média à abrasão permaneceu praticamente estável, indicando que a progressão do polimento para granulometria #800 não resultou em ganhos expressivos de desempenho frente ao desgaste.

Ainda assim, em relação às placas de referência (22,00 mm³), o tratamento com lixa #800 promoveu uma redução de aproximadamente 20,3% no índice de cavidade, confirmando a efetividade do processo de polimento abrasivo quando comparado à condição sem intervenção. Esse resultado reforça que, mesmo nos estágios intermediários do polimento, já se observam benefícios relevantes na durabilidade da superfície de concreto.

Em consonância, Martín-Perez *et al.* (2022) destacam que fatores como as forças atuantes no contato superficial e o deslocamento relativo entre as superfícies em atrito influenciam diretamente a resistência à abrasão, repercutindo no desempenho e na vida útil dos pisos de concreto. Assim, o acabamento semi-brilho com lixa #800, embora não tenha proporcionado avanços significativos em relação à

etapa anterior, contribuiu para consolidar a melhoria frente à abrasão em comparação às amostras de referência.

4.2.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

As placas de concreto 9 e 10, submetidas ao tratamento brilhoso com acabamento de lixa #1500, apresentaram cavidade média de 16,53 mm³ e coeficiente de variação de 2,23%, conforme a Tabela 24. Esse resultado representa uma redução de aproximadamente 24,9% no índice de cavidade em relação às placas de referência (22,00 mm³), evidenciando ganhos expressivos na resistência à abrasão.

Quando comparado ao tratamento anterior, realizado com lixa #800 (17,53 mm³), observa-se uma redução adicional de 5,7% no desgaste abrasivo, confirmando a efetividade da progressão no processo de polimento. Esse ganho indica que o incremento para uma granulometria mais elevada contribuiu para o refinamento da superfície e maior resistência frente ao atrito.

Embora fosse esperado um aumento ainda mais significativo devido ao maior número de etapas de polimento e à diferença mais acentuada de granulometria em relação à lixa #800, o resultado obtido reforça que o acabamento brilhoso com lixa #1500 promoveu benefícios importantes para a durabilidade da superfície. Assim, confirma-se que a evolução do processo de polimento abrasivo até estágios mais avançados contribui de maneira consistente para a melhoria da resistência à abrasão do concreto.

4.2.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

As placas de concreto 11 e 12, submetidas ao tratamento de alto brilho com acabamento de lixa #3000, apresentaram cavidade média de 16,70 mm³ e coeficiente de variação de 5,51%, conforme a Tabela 24. Esse resultado indica que a resistência média à abrasão permaneceu próxima ao valor obtido com a lixa #1500 (16,53 mm³), revelando que a etapa final de polimento não promoveu ganhos expressivos adicionais na propriedade estudada.

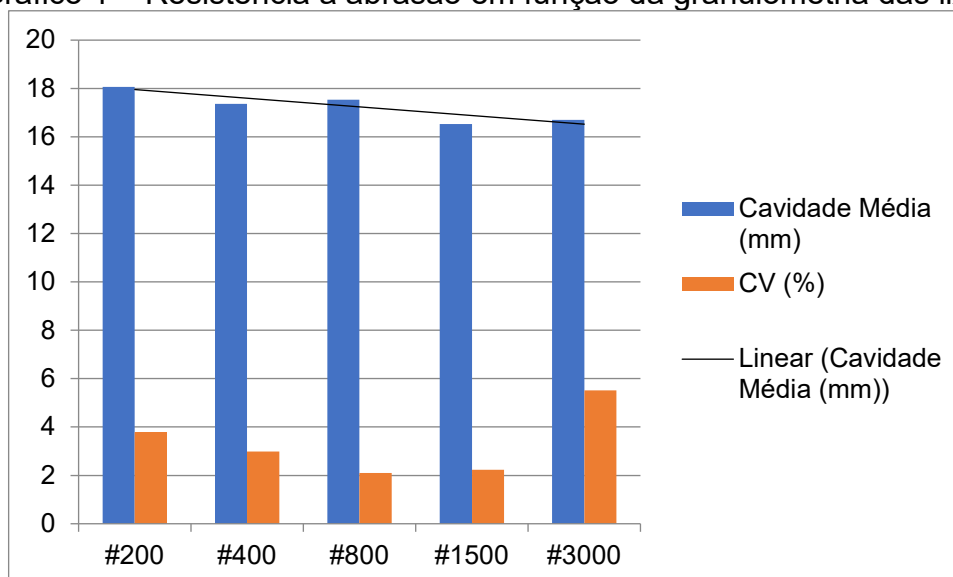
Ainda assim, em relação às placas de referência (22,00 mm³), verificou-se

uma redução de 24,1% no índice de cavidade, confirmando a efetividade do processo de polimento abrasivo para o aumento da resistência ao desgaste. Contudo, a análise comparativa entre os dois últimos níveis de tratamento sugere que, a partir de determinada granulometria, o efeito incremental do polimento sobre a resistência à abrasão tende a se estabilizar, limitando os benefícios da progressão para lixas mais finas.

Cabe destacar que esse comportamento corrobora a hipótese de que o polimento em níveis avançados atua mais diretamente sobre parâmetros como brilho e rugosidade, enquanto a resistência à abrasão apresenta tendência de saturação após certo refinamento superficial.

Para sintetizar os resultados apresentados nas subseções 4.2.1 a 4.2.6, elaborou-se o Gráfico 1, que demonstra a perda de massa por abrasão em cada nível de tratamento superficial, desde o acabamento semi-fosco (#200) até o alto brilho (#3000). Essa análise permite visualizar a tendência global de desempenho e subsidiar a discussão comparativa com outras propriedades, como brilho e rugosidade, abordadas nas próximas seções.

Gráfico 1 – Resistência à abrasão em função da granulometria das lixas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O gráfico apresentado ilustra a variação da resistência à abrasão em função da granulometria das lixas de polimento, expressa pela cavidade média obtida nos

ensaios realizados conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013). Observa-se uma tendência de redução contínua da cavidade de desgaste à medida que a granulometria das lixas aumenta, indicando que o refino superficial do concreto contribui para maior resistência ao desgaste por abrasão. As placas de referência (sem tratamento) apresentaram o maior índice de cavidade média (22,0 mm), enquanto o tratamento com lixa de acabamento mais fino (#3000) registrou o menor valor (13,6 mm), representando um ganho expressivo na durabilidade da camada superficial.

As barras relativas ao coeficiente de variação (CV%) demonstram que a dispersão dos dados foi baixa em todas as condições, variando de 3,8% a 6,2%, o que reforça a confiabilidade dos resultados experimentais e a consistência das medições obtidas.

Quando esses valores são analisados em conjunto com os resultados estatísticos da ANOVA (Tabela 24), verifica-se que o fator “granulometria da lixa de polimento” exerceu influência estatisticamente significativa sobre a variável de resposta. Tal constatação confirma que a aplicação progressiva dos tratamentos superficiais foi determinante para a melhoria da resistência à abrasão, evidenciando que o processo de polimento abrasivo não apenas aumenta a resistência mecânica e a dureza superficial, mas também contribui para a redução da rugosidade e para a maior vida útil da superfície de concreto destinada a pisos internos.

4.3 Medição do Brilho – *Glossmeter*

Para a obtenção dos resultados do teor de brilho das superfícies de concreto avaliadas, utilizou-se o equipamento *Glossmeter* CS 380-SE, em conformidade com a normativa americana ASTM D523-14 (2018). Este método de ensaio, em conjunto com o equipamento fornecido pela *CHNSpec Technology (Zhejiang)*, possibilita a medição do brilho de amostras não metálicas nos ângulos de geometria de 20°, 60° e 85°, aos quais os tratamentos analisados foram submetidos.

A definição dos ângulos de medição seguiu os critérios estabelecidos pela ASTM D523-14 (2018): o ângulo de 60° foi aplicado para a maioria das amostras e utilizado como referência para determinar quando a geometria de 20° seria mais indicada; o ângulo de 20° foi empregado quando os valores de brilho obtidos em 60° foram maiores ou iguais a 70 GU (*gloss units*); já o ângulo de 85° foi utilizado para as amostras que apresentaram resultados em 60° iguais ou inferiores a 10 GU.

Segundo o fabricante, o Glossmeter CS 380-SE está em conformidade com os padrões DIN 67530 (1982), ISO 2813 (2014), ASTM D523 (2018), JIS Z8741 (1997), BS 3900 – Parte D5 (2010) e JJG696 (China, 2015), atendendo integralmente às normas internacionais de medição de brilho.

De acordo com os estudos de Sani e Sousa (2020), os resultados de brilho (GU) medidos na direção tangencial da superfície apresentam relação inversamente proporcional à rugosidade superficial (Ra). Assim, acabamentos mais finos tendem a resultar em maiores índices de brilho, uma vez que essa propriedade está diretamente associada ao reflexo da luz em função do ângulo de incidência sobre a microestrutura da superfície.

Os resultados referentes à incidência de brilho para cada tratamento, bem como para as placas de referência, estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Resultados médios - medição de brilho

INDICE DE BRILHO - MEDIÇÃO GLOSSMETER (GU) - VALORES MÉDIOS						
Tipologia	Grão (#)	Nível de brilho	Aparência	Número de leitura do Glossmeter	Médias (GU)	CV (%)
Placa 1-2	0	NA	Superfície sem nenhuma refletividade	15	n / D	0,00
Placa 3-4	200	Baixo	Aspecto acetinado ou fosco com ou sem leve reflexo difuso.	15	42,33	5,12
Placa 5-6	400	Baixo/Médio	Aspecto acetinado ou fosco com ou sem leve reflexo difuso.	15	48,01	4,11
Placa 7-8	800	Médio	Semipolido. Os objetos refletidos não apresentam tanta nitidez, mas podem ser facilmente identificados.	15	56,95	6,73
Placa 9-10	1500	Médio/Alto	Altamente polido. Os objetos refletidos são nítidos e definidos, com uma nitidez semelhante à de um espelho.	15	66,01	6,16
Placa 11-12	3000	Alto	Altamente polido. Os objetos refletidos são nítidos e definidos, com uma nitidez semelhante à de um espelho.	15	76,86	5,04

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados obtidos para os níveis de teor de brilho de cada superfície dos tratamentos analisados foram avaliados estatisticamente. A análise possibilitou identificar a influência de cada fator controlável e de seus impactos na variável de resposta teor de brilho.

Os dados coletados através deste ensaio foram analisados por intermédio da ANOVA (análise de variância), o qual está demonstrado na Tabela 26. Para essa avaliação, foram observados de forma isolada os efeitos de cada uma das variáveis independentes, assim como, suas interferências e interações.

Tabela 26 – Análise de variância (ANOVA) – teor de brilho

Tipologia	GDL	QMG	F (calc)	p	SIGNIFICÂNCIA
Lixa abrasiva de lapidação	4	2873,96	244,63	0,000000000000	S

GDL: graus de liberdade (n-1); QMG: Quadrado Médio do Grupo; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância S: valor significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo,

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado na Tabela 26, verifica-se que o fator “granulometria das lixas de polimento” exerceu efeito estatisticamente significativo sobre a variável de resposta ($p < 0,05$), confirmando a influência direta do processo de polimento abrasivo na geração de brilho superficial. Esse resultado era esperado, uma vez que os tratamentos progressivos promoveram aumento consistente nos índices de brilho das amostras, acompanhados pela redução da rugosidade e pelo refinamento da camada superficial do concreto.

Os valores médios obtidos pelo *glossmeter* (Tabela 25) evidenciam a evolução do brilho ao longo das etapas de polimento: as placas de referência apresentaram 0,00 GU, caracterizando uma superfície sem refletividade; já o acabamento com lixa #200 alcançou 42,33 GU, enquanto os níveis subsequentes mostraram incrementos graduais, chegando a 76,86 GU no polimento de alto brilho (#3000).

A análise dos resultados demonstra, portanto, uma relação clara entre a maior granulometria das lixas e a intensificação do brilho superficial, reforçando a efetividade do processo como estratégia para aprimorar tanto o desempenho funcional quanto a aparência final dos pisos internos de concreto.

4.3.1 Amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

Para as placas de referência 1 e 2 (sem tratamento), o teor de brilho superficial obtido foi de 0,0 GU, resultado esperado, uma vez que essas amostras não foram submetidas à variável de controle (lixa de polimento). Dessa forma, não houve qualquer incremento no brilho da superfície do substrato.

4.3.2 Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

As placas de concreto 3 e 4, submetidas ao tratamento semi-fosco com acabamento em lixa de polimento #200, apresentaram valor médio de 42,33 GU no ângulo de reflexão de 60°, conforme medição realizada com o *Glossmeter CS 380-SE* e em conformidade com a norma ASTM D523-14 (2018). O coeficiente de variação foi de 5,12%, evidenciando boa consistência nos resultados. Na inspeção visual, a superfície mostrou-se com aspecto acetinado ou fosco, acompanhado de leve reflexo difuso, característico desse estágio inicial de polimento.

Verificou-se que, mesmo nessa primeira etapa, a variável de controle (granulometria da lixa de polimento) exerceu influência significativa sobre o brilho superficial, produzindo um ganho expressivo em comparação às placas de referência, que não apresentaram refletividade. Esse comportamento confirma que, embora o número de etapas de polimento tenha sido reduzido, já se observa melhora relevante na aparência da superfície.

Conforme salientado por Coelho *et al.* (2022), o teor de brilho está associado não apenas à granulometria aplicada, mas também a fatores operacionais, como a eficiência da máquina de polimento linear, sendo o desempenho final dependente da correta aplicação das velocidades transversal e rotacional sobre a superfície de concreto. Nesse sentido, o tratamento com lixa #200 representa uma etapa inicial importante para a progressão do acabamento, ao proporcionar incremento mensurável no brilho e uniformidade na superfície.

4.3.3 Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

O teor de brilho obtido para as placas de concreto 5 e 6, submetidas ao tratamento fosco com acabamento em lixa #400, apresentou valor médio de 48,01 GU no ângulo de reflexão de 60°, conforme medição realizada com o *Glossmeter CS 380-SE*, seguindo as orientações da ASTM D523-14 (2018). O coeficiente de variação foi de 4,11%, demonstrando consistência nos resultados.

Em comparação ao tratamento anterior (lixa #200, 42,33 GU), verificou-se um incremento de brilho relativamente modesto, embora suficiente para indicar a progressão do processo de polimento. Na avaliação visual, as superfícies ainda apresentaram aspecto acetinado ou fosco, com reflexo difuso, característico de um acabamento intermediário.

Esse aumento no nível de brilho está diretamente associado à variável de controle (granulometria da lixa), confirmando o que apontam Sani e Sousa (2020): o polimento, por meio da aplicação sequencial de abrasivos de granulometria progressivamente menor, é capaz de promover ganhos contínuos na refletividade e uniformidade superficial, mesmo em etapas iniciais do processo.

4.3.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

As placas de concreto 7 e 8, submetidas ao tratamento semi-brilho com acabamento em lixa #800, apresentaram valor médio de 56,95 GU no ângulo de reflexão de 60°, conforme determinação realizada com o *Glossmeter* CS 380-SE e em conformidade com a norma ASTM D523-14 (2018). O coeficiente de variação foi de 6,73%, indicando maior dispersão em relação às etapas anteriores, mas ainda dentro de limites aceitáveis para ensaios experimentais.

Na inspeção visual, constatou-se que a superfície passou a exibir um aspecto semipolido, no qual os objetos refletidos ainda não apresentaram total nitidez, mas puderam ser identificados com clareza, caracterizando o estágio de semi-brilho. Em relação ao tratamento anterior (lixa #400, 48,01 GU), verificou-se um incremento expressivo no teor de brilho, da ordem de 18,6%, evidenciando que a progressão do polimento abrasivo exerce influência significativa sobre a refletividade da superfície.

Esse comportamento confirma a relação entre o aumento da granulometria da lixa e a elevação do brilho, em consonância com o observado por estudos de Sani e Sousa (2020), que ressaltam a importância do uso sequencial de abrasivos de menor granulometria para intensificar a refletividade e a uniformidade superficial do concreto. Assim, o tratamento com lixa #800 representou um avanço notável na transição entre o acabamento intermediário e os estágios de polimento de alto desempenho.

4.3.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

As placas de concreto 9 e 10, submetidas ao tratamento brilhoso com acabamento em lixa #1500, apresentaram valor médio de 66,01 GU no ângulo de reflexão de 60°, conforme medição realizada pelo *Glossmeter* CS 380-SE em atendimento à norma ASTM D523-14 (2018). O coeficiente de variação foi de 6,16%, confirmando a consistência dos resultados.

Na inspeção visual, as superfícies passaram a exibir um acabamento altamente polido, no qual os objetos refletidos se mostraram mais nítidos e definidos, com maior proximidade do aspecto espelhado. Em relação ao tratamento anterior (lixa #800, 56,95 GU), verificou-se um incremento de aproximadamente 15,9% no teor de brilho, indicando ganhos significativos proporcionados pelo avanço na granulometria da lixa utilizada.

Esse resultado demonstra que a progressão do polimento abrasivo até níveis mais elevados intensifica de maneira consistente a refletividade e a uniformidade superficial do concreto. Em consonância com os achados de Sani e Sousa (2020), confirma-se que a aplicação sequencial de lixas mais finas é determinante para o alcance de acabamentos de alto desempenho estético e funcional, assegurando maior qualidade à superfície final do piso.

4.3.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

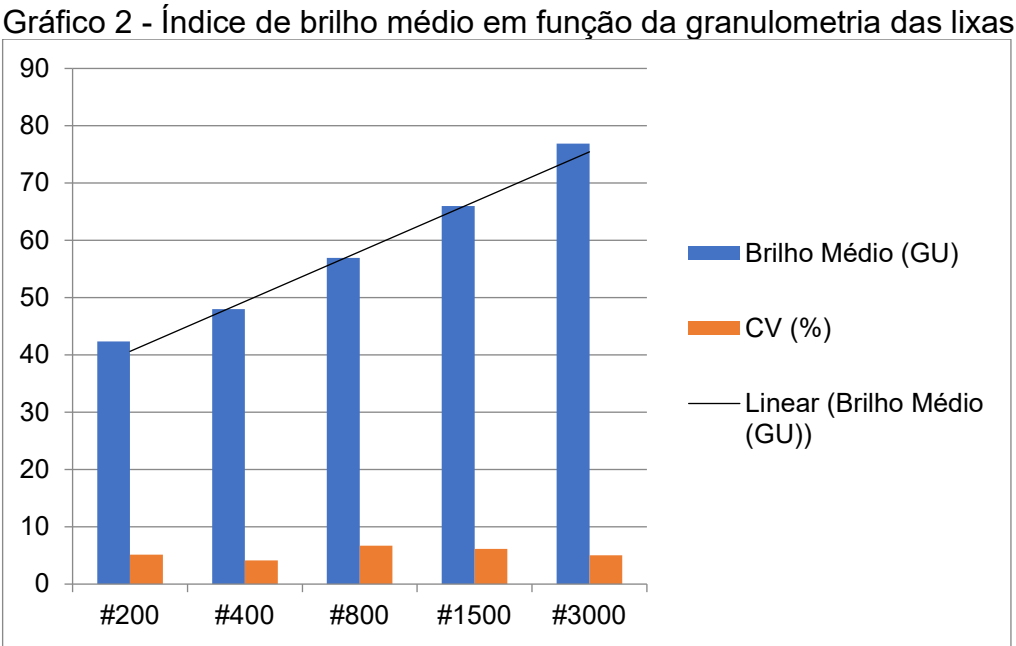
As placas de concreto 11 e 12, submetidas ao tratamento de alto brilho com acabamento em lixa #3000, apresentaram valor médio de 76,86 GU no ângulo de reflexão de 60°, conforme determinação realizada pelo *Glossmeter* CS 380-SE em conformidade com a ASTM D523-14 (2018). O coeficiente de variação foi de 5,04%, confirmando a boa reprodutibilidade dos resultados experimentais.

Na inspeção visual, observou-se que as superfícies atingiram um nível elevado de polimento, no qual os objetos refletidos puderam ser visualizados de forma nítida e definida, com aspecto semelhante ao de um espelho. Em comparação ao tratamento anterior (lixa #1500, 66,01 GU), verificou-se um incremento adicional

de cerca de 16,4% no teor de brilho, consolidando o efeito positivo do avanço nas etapas de polimento abrasivo.

Esses resultados demonstram que a aplicação da lixa #3000 representa o ponto máximo de desempenho em termos de brilho superficial, reforçando que a progressão sequencial de granulometrias mais finas intensifica de forma consistente a refletividade e a uniformidade da superfície de concreto. Assim, o acabamento de alto brilho configura-se não apenas como a etapa final do processo, mas também como a que garante a maior qualidade visual e funcional do substrato, tornando-o mais adequado para pisos internos de alto padrão estético e durabilidade.

A seguir, o Gráfico 2 apresenta a relação entre o índice de brilho médio e a granulometria utilizada, de modo a sintetizar visualmente o desempenho dos diferentes tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado no gráfico, o índice de brilho superficial (GU) apresentou crescimento progressivo à medida que a granulometria das lixas de polimento foi refinada. O avanço do acabamento, desde a lixa #200 até a lixa #3000, resultou em aumento contínuo dos valores médios de brilho, confirmando a influência direta do nível de polimento sobre a refletividade da superfície de concreto.

Os valores de coeficiente de variação (CV%) permaneceram baixos, entre aproximadamente 4% e 7%, o que reforça a confiabilidade dos resultados obtidos.

Esse comportamento demonstra que, além de proporcionar maior intensidade de reflexão, o processo de polimento abrasivo apresentou boa repetibilidade entre as medições.

A análise estatística de variância (Tabela 26) confirmou esse padrão, ao indicar que o fator controlável “lixa de polimento abrasivo” exerceu efeito estatisticamente significativo ($p < 0,05$) sobre a variável de resposta. Dessa forma, valida-se que os diferentes níveis de tratamento resultaram em diferenças consistentes nos valores de brilho, comprovando que a utilização de granulometrias mais finas é determinante para alcançar superfícies de concreto progressivamente mais polidas e com aspecto espelhado.

4.4 Rugosidade superficial

Os resultados da análise de rugosidade superficial foram obtidos por meio de dois procedimentos complementares: inicialmente, utilizando-se o Rugosímetro *Starrett* SR 200, com capacidade de medição de R_a na faixa de 10 μm a 80 μm , e, em seguida, por meio do microscópio digital *Smartzoom* 5, do fabricante *Zeiss*. A aplicação conjunta desses métodos buscou garantir maior confiabilidade aos resultados, especialmente porque, para as placas de referência (sem tratamento), o rugosímetro não apresentou capacidade de leitura em função de seus limites operacionais.

Com base nos procedimentos normativos da NBR 4288 (ABNT, 2008), foi possível determinar, por meio do rugosímetro, os valores de rugosidade superficial referentes a R_a e R_t (ou R_y). Já a utilização do microscópio digital *Smartzoom* 5 permitiu a obtenção de resultados adicionais para os parâmetros de rugosidade superficial relacionados a R_y (ou R_t), complementando as leituras e ampliando a precisão da análise.

4.4.1 Rugosímetro – *Starrett* SR 200

A propriedade de rugosidade superficial abrange características relacionadas à textura do material e aspectos da superfície, como ondulação, irregularidades e perfil topográfico, exercendo impacto direto em propriedades como resistência ao desgaste ou abrasão, comportamento à fadiga e desempenho de aderência do

substrato. Dessa forma, a rugosidade constitui um parâmetro fundamental para a avaliação da qualidade da superfície desbastada (Zhong, 2020; Revuelta, 2021).

Os parâmetros avaliados para a medição da rugosidade superficial, por meio do rugosímetro, foram:

- Ra – média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil em relação à linha média, dentro do percurso de medição (Lm);
- Rt ou Ry – distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação (Lm), independentemente dos valores de rugosidade parcial (Zi).

Os resultados médios de rugosidade (Ra e Ry ou Rt) obtidos para as placas de referência (REF) e para os diferentes tratamentos analisados nesta pesquisa, referentes a perfis de avaliação não periódicos, estão apresentados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27 – Resultados da rugosidade média (Ra) – valores médios

RUGOSIDADE SUPERFICIAL - RUGOSIDADE MÉDIA Ra - VALORES MÉDIOS						
Tipologia	Grão (#)	Número de leitura Rugosímetro (Ra)	Cut off	Comprimento amostragem	Ra Médias (µm)	CV (%)
Placa 1-2 (REF)	0	n/D	n/D	n/D	n/D	n/D
Placa 3-4	200	10	2,5	12,5	2,99	14,85
Placa 5-6	400	10	2,5	12,5	2,67	23,16
Placa 7-8	800	10	0,80	4,0	1,56	25,83
Placa 9-10	1500	10	0,80	4,0	1,20	26,49
Placa 11-12	3000	10	0,80	4,0	0,85	28,56

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 28 - Resultados da rugosidade máxima (Ry ou Rt) – valores médios

RUGOSIDADE SUPERFICIAL - RUGOSIDADE MÁXIMA Ry - VALORES MÉDIOS						
Tipologia	Grão (#)	Número de leitura Rugosímetro (Ra)	Cut off	Comprimento amostragem	Ry Médias (μm)	CV (%)
Placa 1-2 (REF)	0	n/D	n/D	n/D	n/D	n/D
Placa 3-4	200	10	2,5	12,5	34,12	16,59
Placa 5-6	400	10	2,5	12,5	28,14	6,70
Placa 7-8	800	10	0,80	4,0	19,85	19,94
Placa 9-10	1500	10	0,80	4,0	14,26	46,04
Placa 11-12	3000	10	0,80	4,0	9,09	35,47

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os dados experimentais obtidos por meio das medições realizadas com o Rugosímetro *Starrett* SR 200 foram submetidos à análise estatística pelo método de análise de variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 29. Para a avaliação da rugosidade (Ra e Rt ou Ry), foi examinado o efeito isolado da variável independente (lixa de polimento), bem como suas interações sobre a variável de resposta.

Tabela 29 - Análise de Variância (ANOVA) – Rugosidade superficial média (Ra)

Tipologia	GDL	QMG	F (calc)	p	SIGNIFICÂNCIA
Lixa abrasiva de lapidação	4	8,71	43,47	0.000000000000013	S

GDL: graus de liberdade (n-1); QMG: Quadrado Médio do Grupo; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância S: valor significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 30 - Análise de Variância (ANOVA) – Rugosidade superficial máxima (Ry ou Rt)

Tipologia	GDL	QMG	F (calc)	p	SIGNIFICÂNCIA
Lixa abrasiva de lapidação	4	1029,17	44,21	0.000000000000001	S

GDL: graus de liberdade (n-1); QMG: Quadrado Médio do Grupo; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância S: valor significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme demonstrado nas Tabelas 29 e 30, verifica-se que o efeito dos diferentes tipos de lixas de polimento abrasivo foi significativo sobre a variável de resposta. Esse resultado já era esperado, uma vez que os tratamentos aplicados promoveram incremento da resistência mecânica e da dureza superficial, ao mesmo tempo em que reduziram a rugosidade.

Ao analisar isoladamente a variável de controle (lixa de polimento abrasivo) em relação à resistência à abrasão, constatou-se a interação direta entre o processo de polimento e a melhora da propriedade de resistência ao desgaste, o que contribui para maior durabilidade da superfície de concreto.

4.4.1.1 Influência das Amostras Sem Tratamento – Placas de Referência 1 e 2

Para as placas de referência 1 e 2 (sem tratamento), não foi possível obter dados de rugosidade por meio do Rugosímetro SR 200 (*Starrett*), em razão dos limites de medição do equipamento para perfis não periódicos. O rugosímetro possui limite de *cut-off* de 8 mm, comprimento de onda de 40 mm e faixa máxima de leitura de R_a (rugosidade média do perfil) entre 10 e 80 μm , o que inviabilizou as leituras para esse tipo de amostra.

Com o objetivo de complementar a análise da rugosidade superficial nas placas de referência, recorreu-se ao uso do microscópio digital *Smartzoom 5* (*Zeiss*), que permitiu, por meio das imagens obtidas e do perfil gerado, a determinação da rugosidade máxima entre o ponto mais elevado e o vale mais profundo da superfície. Esses resultados, correspondentes ao parâmetro R_y , encontram-se descritos no item 4.4.2.1.

4.4.1.2 Influência do Tratamento Semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

Para as placas 3 e 4 (tratamento semi-fosco), a análise das medições realizadas com o Rugosímetro SR 200 (*Starrett*) indicou uma rugosidade média (R_a) de 2,99 μm (Tabela 27) e uma rugosidade máxima (R_y ou R_t) de 34,12 μm (Tabela 28). O parâmetro R_a corresponde à média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil em relação à linha média, dentro do trecho de medição (L_m). Já o parâmetro R_y ou R_t representa o maior valor de rugosidade parcial ao longo do percurso de medição considerado (L_m).

A rugosidade média relativamente baixa ($R_a = 2,99 \mu\text{m}$) e a rugosidade máxima observada ($R_y = 34,12 \mu\text{m}$) eram resultados esperados para o primeiro tratamento, realizado com acabamento em lixa #200. Isso se deve ao fato de que os tratamentos propostos neste estudo basearam-se em polimento abrasivo, que promove a remoção gradual das irregularidades e reentrâncias da superfície do

concreto, ao mesmo tempo em que contribui para o incremento das propriedades mecânicas, como a resistência à abrasão.

4.4.1.3 Influência do Tratamento Fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

Com relação às placas 5 e 6 (tratamento fosco), a análise das medições realizadas com o Rugosímetro SR 200 (*Starrett*) indicou uma rugosidade média (R_a) de $2,67\text{ }\mu\text{m}$ (Tabela 28) e uma rugosidade máxima (R_y ou R_t) de $28,14\text{ }\mu\text{m}$ (Tabela 29). O parâmetro R_a corresponde à média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos do perfil em relação à linha média, dentro do trecho de medição (L_m). Já o parâmetro R_y ou R_t representa o maior valor de rugosidade parcial registrado ao longo do percurso de medição considerado (L_m).

Verificou-se, para as placas de tratamento 5 e 6, uma redução tanto da rugosidade média (R_a) quanto da rugosidade máxima (R_y) em relação ao tratamento anterior (placas 3 e 4). Esse resultado corrobora a tendência de que, quanto maior o número de etapas de polimento abrasivo — ou seja, tratamentos com aplicação progressiva de lixas de maior granulometria —, menor a rugosidade superficial observada. Tal comportamento reflete não apenas a melhoria no acabamento, mas também o incremento em propriedades do substrato, como a resistência ao desgaste, reforçando a rugosidade como um importante indicativo de qualidade no polimento e no desempenho da superfície ensaiada.

4.4.1.4 Influência do Tratamento Semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

Para as placas de concreto 7 e 8 (tratamento semi-brilho), com acabamento em lixa de granulometria #800, os resultados médios obtidos indicaram uma rugosidade média (R_a) de $1,56\text{ }\mu\text{m}$ e uma rugosidade máxima (R_y ou R_t) de $19,85\text{ }\mu\text{m}$. Esses valores representam nova redução da rugosidade superficial, tanto média quanto máxima, em comparação aos tratamentos anteriores, conforme demonstrado na Tabela 27 (R_a) e na Tabela 28 (R_y ou R_t).

A diminuição observada reforça o efeito da variável de controle (lixa de polimento) e do incremento progressivo dos tratamentos, evidenciando que quanto

maior o número de etapas de polimento abrasivo aplicadas, menor a rugosidade superficial e, conseqüentemente, menores as irregularidades presentes nas superfícies analisadas.

4.4.1.5 Influência do Tratamento Brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

Para as placas de concreto 9 e 10 (tratamento brilhoso), com acabamento em lixa de granulometria #1500, os resultados médios obtidos indicaram uma rugosidade média (R_a) de 1,20 μm e uma rugosidade máxima (R_y ou R_t) de 14,26 μm . Esses valores demonstram nova redução da rugosidade superficial, tanto média quanto máxima, em comparação aos tratamentos anteriores, conforme apresentado na Tabela 28 (R_a) e na Tabela 29 (R_y ou R_t).

A diminuição observada para ambos os parâmetros evidencia, mais uma vez, o efeito da variável de controle (lixa de polimento de diferentes granulometrias) sobre as variáveis de resposta (rugosidade média e máxima). Esse resultado reforça a tendência de que, quanto maior o número de etapas de polimento abrasivo aplicadas ao substrato, menor será a rugosidade e as irregularidades da superfície, resultando em melhores características no acabamento e desempenho do concreto, conforme previamente discutido.

4.4.1.6 Influência do Tratamento Alto Brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

Por fim, na análise das placas de concreto 11 e 12 (tratamento alto brilho), com acabamento em lixa de granulometria #3000, os resultados médios obtidos indicaram uma rugosidade média (R_a) de 0,85 μm e uma rugosidade máxima (R_y ou R_t) de 9,09 μm , conforme apresentado na Tabela 27 (R_a) e na Tabela 28 (R_y ou R_t). Esses valores confirmam nova redução da rugosidade superficial, tanto média quanto máxima, em comparação aos tratamentos anteriormente estudados.

Essa diminuição reitera o efeito da variável de controle (lixa de polimento) e o impacto do incremento progressivo dos tratamentos, corroborando o que já foi exposto: quanto maior o número de etapas de polimento abrasivo aplicadas, menor a rugosidade superficial observada no substrato, resultando em uma superfície mais uniforme, com menos irregularidades e de maior qualidade no acabamento.

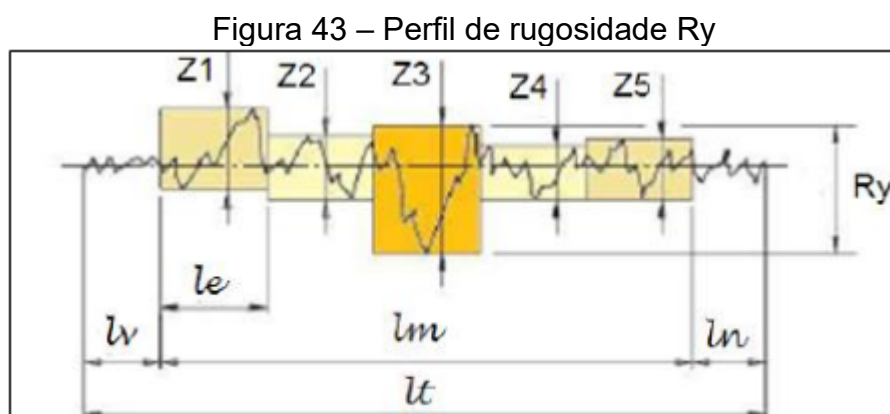
4.4.2 Smartzoom 5 – Zeiss

A análise visual realizada por meio do microscópio digital *Smartzoom 5* (Zeiss) permitiu observar, após a conclusão dos processos de tratamento das superfícies de concreto, a progressiva redução das irregularidades e até de geometrias aparentes no substrato, em função do aumento das etapas de polimento abrasivo aplicadas às amostras estudadas.

Na Tabela 31, encontram-se a identificação das placas de concreto, a tipologia de tratamento aplicada e as respectivas lixas de polimento utilizadas. A aplicação do microscópio *Smartzoom 5* buscou complementar a avaliação da rugosidade superficial do substrato, possibilitando compreender seu comportamento ao longo do incremento dos diferentes tratamentos.

De acordo com Zhong (2020), Coelho *et al.* (2022) e Ridditurd e Chindaprasirt (2019), a rugosidade é uma propriedade essencial a ser monitorada, pois interfere diretamente em características como: qualidade de deslizamento; resistência ao desgaste; resistência da superfície ao escoamento; capacidade de aderência da estrutura a camadas protetoras; resistência à corrosão e à fadiga; além de influenciar na vedação e na aparência final.

O parâmetro de rugosidade avaliado por meio do *Smartzoom 5* foi o R_y – rugosidade máxima, definido como o maior valor entre as rugosidades parciais (Z_y) ao longo do percurso de medição (L_m), conforme ilustrado na Figura 43.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 31 - Identificação dos CPs analisados

IDENTIFICAÇÃO DAS PLACAS DE CONCRETO			
Nº Placa	Tipo de Tratamento	Granulometria da Lixa (#)	Dimensões (cm)
1-2 (REF)	Sem tratamento	–	10x10x10
3-4	Semi Fosco	200	10x10x10
5-6	Fosco	400	10x10x10
7-8	Semi Brilhoso	800	10x10x10
9-10	Brilhoso	1500	10x10x10
11-12	Alto Brilho	3000	10x10x10

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados da rugosidade (R_y) média para as placas de referência (REF) e para tratamentos estudados nesta pesquisa encontram-se na Tabela 32.

Tabela 32 – Resultados da rugosidade (R_y) média através *SmartZoom 5*

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE R_y - SMARTZOOM 5 - VALORES MÉDIOS				
Tipologia	Grão (#)	Número de imagens	Médias (μm)	CV (%)
Placa 1-2	0	3	1719,67	35,89
Placa 3-4	200	3	101,00	40,49
Placa 5-6	400	3	60,67	4,11
Placa 7-8	800	3	51,17	5,99
Placa 9-10	1500	3	47,33	5,55
Placa 11-12	3000	3	7,67	13,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os dados experimentais obtidos por meio das medições realizadas com o microscópio digital *Smartzoom 5* foram submetidos à análise estatística pelo método de análise de variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 33. Para essa análise de rugosidade (R_y), avaliou-se o efeito isolado da variável independente (lixa de polimento), bem como suas interações sobre a variável de resposta.

Tabela 33 – Análise de Variância (ANOVA) – Rugosidade superficial R_y

Tipologia	GDL	QMG	F (calc)	p	SIGNIFICÂNCIA
Lixa abrasiva de lapidação	4	1390615,66	14,54	0.00019533	S

GDL: graus de liberdade (n-1); QMG: Quadrado Médio do Grupo; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância S: valor significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme demonstrado na Tabela 33, observa-se que o efeito dos diferentes tipos de lixas de polimento abrasivo foi significativo sobre a variável de resposta.

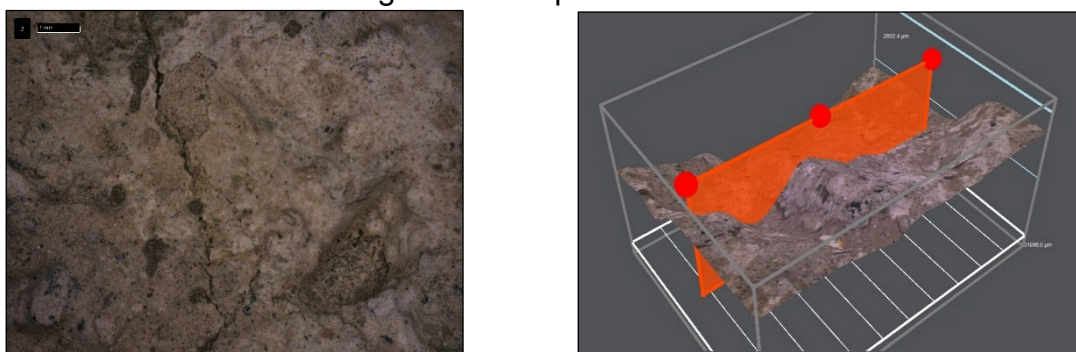
Esse resultado já era esperado, uma vez que os tratamentos aplicados promoveram incremento da resistência mecânica e da dureza superficial, ao mesmo tempo em que reduziram a rugosidade.

Ao analisar isoladamente a variável de controle (lixa de polimento abrasivo) em relação à resistência à abrasão, constatou-se a interação direta entre o processo de polimento e a melhoria da propriedade de resistência ao desgaste, o que contribui para maior durabilidade da superfície de concreto.

4.4.2.1 Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

Para as placas 1 e 2 (REF) – sem tratamento superficial do concreto –, a análise das imagens obtidas por meio do microscópio digital *Smartzoom 5* (Zeiss) indicou uma rugosidade máxima (R_y ou R_t) de 1.719,67 μm , correspondente ao maior valor de rugosidade parcial registrado ao longo do percurso de medição (L_m). A elevada rugosidade (R_y) já era esperada para as placas de referência, uma vez que, pela inspeção visual, foi possível identificar irregularidades acentuadas, geometrias superficiais irregulares e elevada porosidade aparente nas amostras de concreto não tratadas.

Figura 44 - Superfície REF



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De acordo com a Figura 44, é possível visualizar o perfil obtido pelo *Smartzoom 5*, evidenciando as irregularidades e geometrias presentes nas placas de concreto de referência. Constatou-se ainda que, em razão do perfil de rugosidade identificado, não foi possível realizar a medição por meio do Rugosímetro *Starrett SR 200*, visto que o equipamento não dispõe de *cut-off* (comprimento de

amostragem) adequado para esse tipo de superfície, conforme os limites estabelecidos pela NBR 4288 (ABNT, 2008).

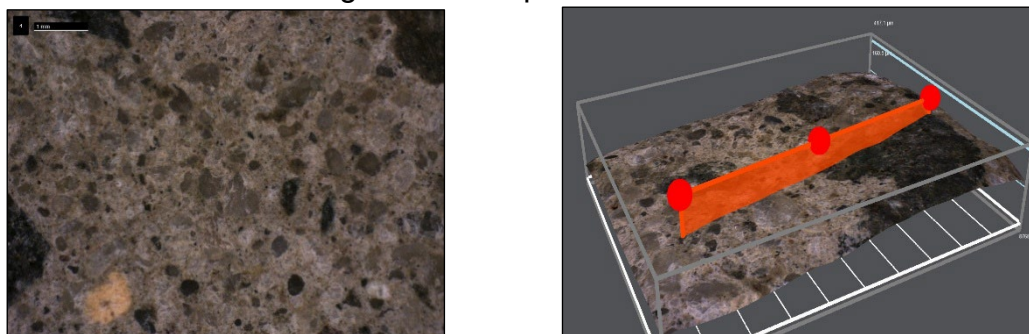
4.4.2.2 Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

Com relação aos resultados obtidos para as placas 3 e 4 (tratamento semi-fosco, acabamento em lixa #200), a análise realizada por meio do microscópio digital *Smartzoom 5*, a partir das imagens geradas e dos gráficos de perfil da rugosidade máxima (R_y ou R_t), evidenciou uma queda significativa em relação às placas de referência 1 e 2. A rugosidade máxima média registrada foi de 101 μm , conforme apresentado na Tabela 32.

Essa redução já era esperada para o primeiro tratamento proposto, ainda que tenha envolvido um menor número de etapas de polimento abrasivo. Além da aplicação da lixa de granulometria #200, as amostras também foram submetidas ao início do tratamento químico, que incluiu: injeção de argamassa elastomérica à base de látex, aplicação de endurecedor de superfície à base de silicato e uso de selador à base de água e solvente.

A associação desses processos mecânicos e químicos contribuiu para a redução das irregularidades do substrato, bem como para o fechamento dos poros, resultando em melhora significativa das propriedades da superfície, em especial da rugosidade superficial.

Figura 45 – Superfície #200



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 45 apresenta, por meio de análise visual, uma maior regularidade da camada superficial da amostra tratada. Complementarmente, a Figura 43 reitera

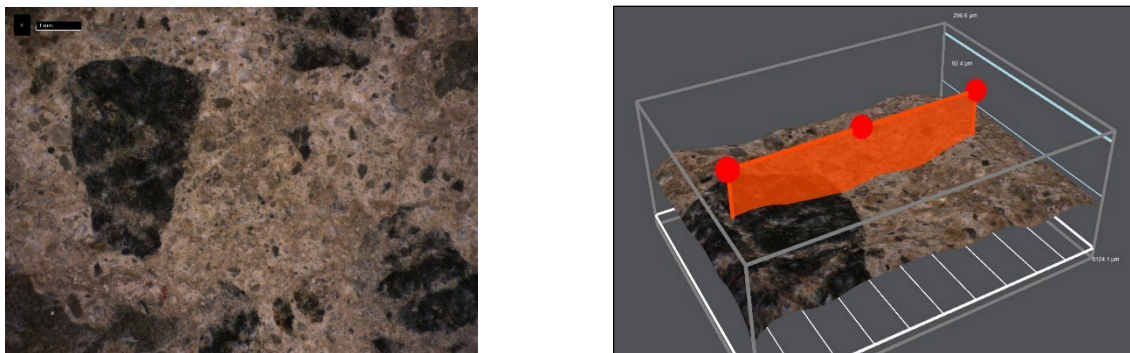
esse resultado ao exibir o perfil gerado pelo microscópio *Smartzoom 5*, no qual se observa uma redução significativa da rugosidade máxima em comparação às amostras de referência (sem tratamento superficial). Nota-se, ainda, uma diminuição expressiva nos picos e vales do perfil, confirmando a melhoria obtida no tratamento semi-fosco.

4.4.2.3 Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

Para as placas de concreto 5 e 6 (tratamento fosco), com acabamento em lixa de polimento de granulometria #400, a análise realizada por meio do microscópio digital *Smartzoom 5*, a partir das imagens geradas e dos gráficos de perfil da rugosidade máxima (R_y ou R_t), evidenciou nova redução dos valores em relação às placas 3 e 4 (tratamento semi-fosco). A rugosidade máxima média registrada foi de 60,67 μm , conforme apresentado na Tabela 32.

Esse resultado já era esperado para o tratamento fosco, considerando o incremento do processo mecânico com maior número de etapas de polimento abrasivo. Além disso, o efeito do tratamento químico aplicado — composto pela injeção de argamassa elastomérica à base de látex, endurecedor de superfície à base de silicato e selador à base de água e solvente — contribuiu para a melhora do substrato. Esse conjunto de procedimentos promoveu a redução das irregularidades superficiais, com eliminação de pequenas saliências e reentrâncias, bem como maior fechamento da superfície do concreto, resultando em acabamento mais uniforme.

Figura 46 – Superfície #400



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

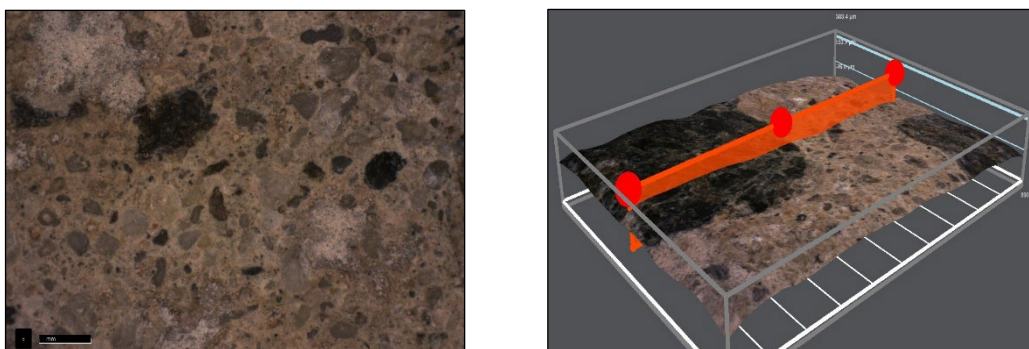
A Figura 46 ilustra o perfil de rugosidade obtido pelo microscópio *Smartzoom* 5, evidenciando a redução da rugosidade máxima (R_y ou R_t) em relação ao tratamento anterior. Observa-se também a diminuição das irregularidades e saliências presentes na superfície analisada, bem como um maior fechamento da camada superficial, resultado do incremento das etapas de polimento com acabamento em lixa de #400.

4.4.2.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

Para as placas de concreto 7 e 8 (tratamento semi-brilho), com acabamento em lixa de polimento de granulometria #800, a análise realizada por meio do microscópio digital *Smartzoom* 5, a partir das imagens obtidas e dos gráficos de perfil da rugosidade máxima (R_y ou R_t), evidenciou nova redução nos valores em relação às placas de referência e aos tratamentos anteriormente analisados. A rugosidade máxima média registrada pelo perfil gerado foi de 51,17 μm , conforme apresentado na Tabela 32.

Essa redução já era esperada, considerando a progressão observada nos tratamentos anteriores. Para as placas 7 e 8, o maior número de etapas de polimento abrasivo, associado à aplicação do tratamento químico (injeção de argamassa elastomérica à base de látex, endurecedor de superfície à base de silicato e selador à base de água e solvente), contribuiu para a melhora da resistência superficial e para o maior fechamento da estrutura do concreto ensaiado, resultando em desempenho superior da camada superficial.

Figura 47 – Superfície #800



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme ilustrado na Figura 47, o resultado da rugosidade máxima média (R_y) de 51,17 μm evidenciou a diminuição dos erros microgeométricos da superfície. Observa-se que o conjunto de irregularidades e reentrâncias característico do substrato foi reduzido em função do incremento no processo de tratamento mecânico, com acabamento em lixa de granulometria #800. Essa melhoria resultou no aumento de propriedades relevantes da superfície, como a resistência ao desgaste e a maior aderência do substrato às camadas superiores de proteção do piso.

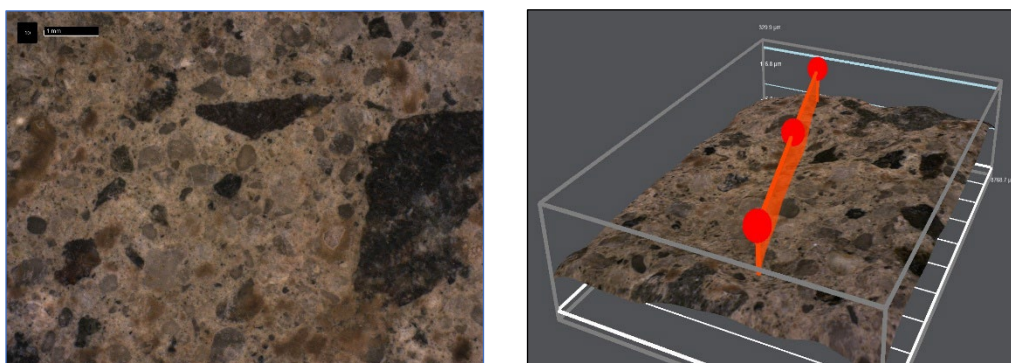
4.4.2.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

Os resultados obtidos para as placas de concreto 9 e 10 (tratamento brilhoso), com acabamento em lixa de polimento de granulometria #1500, analisados por meio do microscópio digital *Smartzoom 5* a partir das imagens geradas e dos gráficos de perfil da rugosidade máxima (R_y ou R_t), demonstraram nova redução dos valores em comparação às placas de referência e aos tratamentos anteriormente avaliados. A rugosidade máxima média registrada foi de 47,33 μm , conforme apresentado na Tabela 32.

Essa diminuição já era esperada, tendo em vista o maior número de etapas do processo mecânico de polimento abrasivo com lixa #1500, aliado à aplicação dos mesmos tratamentos químicos empregados nas etapas anteriores — injeção de argamassa elastomérica à base de látex, endurecedor de superfície à base de silicato e selador à base de água e solvente.

A combinação entre o tratamento mecânico e químico neste estágio de polimento promoveu uma melhoria ainda mais importante da rugosidade máxima superficial, especialmente quando comparada às placas de referência (1 e 2). Esse desempenho resultou em uma superfície com maior performance funcional, refletindo em melhor resistência à abrasão do piso de concreto e em maior durabilidade da estrutura.

Figura 48 - Superfície #1500



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados estão apresentados na Figura 48, na qual a rugosidade máxima média (R_y) obtida foi de $47,33 \mu\text{m}$. Observa-se uma diminuição das irregularidades superficiais nas placas de concreto 9 e 10, o que contribui para o aumento da resistência mecânica e da durabilidade da superfície do substrato avaliado.

4.4.2.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

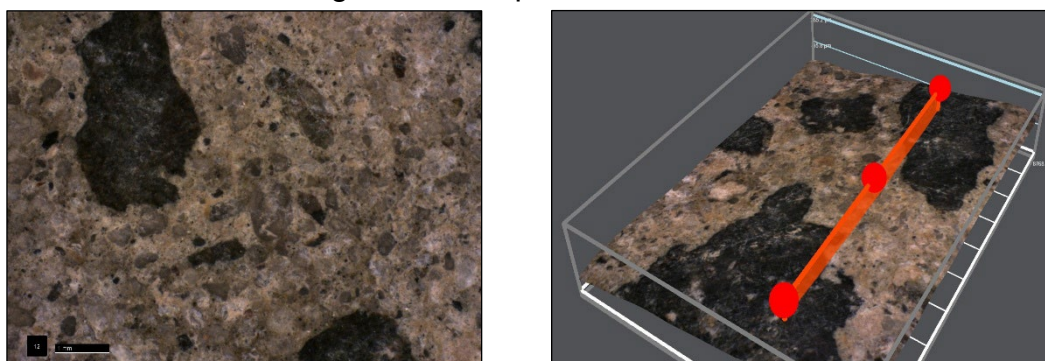
Referente às placas de concreto 11 e 12 (tratamento alto brilho), com acabamento em lixa de polimento de granulometria #3000, a análise realizada por meio do microscópio digital *Smartzoom 5*, a partir das imagens obtidas e dos gráficos de perfil da rugosidade máxima (R_y ou R_t), indicou nova redução dos valores em relação às placas de referência e aos tratamentos anteriormente estudados. A rugosidade máxima média registrada foi de $7,67 \mu\text{m}$, conforme demonstrado na Tabela 32.

Esse resultado representa a maior redução de rugosidade e de irregularidades superficiais observada entre todos os tratamentos. Tal desempenho deve-se à aplicação do processo de polimento abrasivo completo, finalizado com lixa

#3000, associado ao tratamento químico previamente utilizado — injeção de argamassa elastomérica à base de látex, endurecedor de superfície à base de silicato e selador à base de água e solvente.

A execução de todas as etapas de polimento abrasivo até a granulometria #3000, em conjunto com o tratamento químico, promoveu uma melhora ainda mais significativa da rugosidade máxima superficial, especialmente em comparação às placas de referência. Esse resultado reflete em ganhos expressivos para o substrato, traduzidos em maior resistência à abrasão do piso de concreto e em maior durabilidade da estrutura.

Figura 49 – Superfície #3000

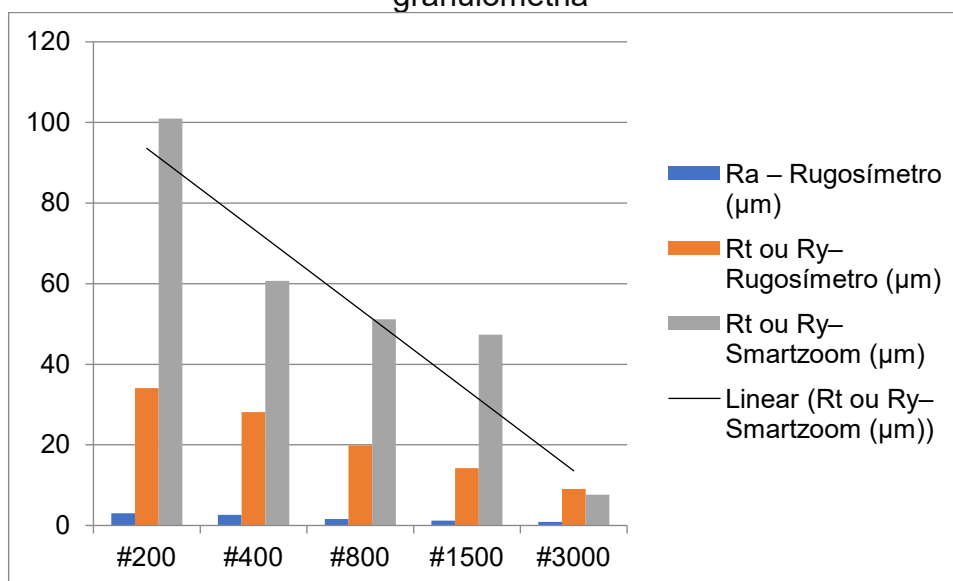


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados estão apresentados na Figura 49, na qual a rugosidade máxima média (R_y) obtida foi de $7,67 \mu\text{m}$. Esse valor representa a maior redução das irregularidades superficiais entre todas as amostras, correspondente às placas de concreto 11 e 12. Tal desempenho proporciona ao substrato maior resistência mecânica e maior durabilidade da superfície avaliada.

Para sintetizar os resultados obtidos na análise da rugosidade superficial, elaborou-se um gráfico (Gráfico 3) comparativo entre os diferentes parâmetros de medição (R_a e R_y) e instrumentos empregados (Rugosímetro e *Smartzoom 5*). Essa representação permite visualizar, de forma integrada, o comportamento da rugosidade em função da granulometria das lixas de polimento, destacando a influência progressiva do refino da superfície no acabamento final.

Gráfico 3 – Comparação da rugosidade superficial (Ra e Ry) em função da granulometria



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados apresentados no Gráfico 3 evidenciam a influência direta do polimento abrasivo na redução da rugosidade superficial do concreto. Observa-se que, à medida que a granulometria das lixas aumenta, de #200 até #3000, ocorre uma diminuição progressiva e significativa dos valores de rugosidade (Ra, Rt e Ry), indicando a formação de uma superfície cada vez mais uniforme e lisa. A análise comparativa entre os métodos empregados mostrou que os valores obtidos pelo *Smartzoom 5* foram sistematicamente superiores aos medidos pelo rugosímetro, o que pode ser atribuído à maior sensibilidade do método óptico na detecção de picos e vales da superfície.

Destaca-se que, no estágio final de polimento com a lixa #3000, os valores de rugosidade atingiram níveis bastante reduzidos, confirmando a eficiência do tratamento em promover a melhoria das características superficiais. Esses resultados reforçam a relação direta entre o polimento abrasivo, a qualidade superficial do substrato e a expectativa de maior resistência ao desgaste, durabilidade e facilidade de manutenção do concreto lapidado.

4.5 Dureza superficial

A dureza superficial é uma propriedade fundamental para estruturas de piso, pois está diretamente associada à durabilidade do substrato e da matriz cimentícia

como um todo. De acordo com Toshiro *et al.* (2003) e Rajczyk *et al.* (2019), na execução do processo de polimento abrasivo, a seleção do abrasivo — seja diamante ou lixa de polimento — com dureza adequada constitui um fator decisivo, tanto para o desempenho dos materiais abrasivos quanto para a eficiência na remoção controlada de material da superfície.

4.5.1 Esclerometria

O equipamento utilizado para a obtenção dos resultados de dureza superficial foi o esclerômetro digital *Silver Schmidt*, do fabricante *Proceq*. Por meio dele, foi possível medir a dureza superficial das placas de referência e das placas submetidas aos tratamentos propostos nesta pesquisa, após 28 dias de cura, período em que o concreto já se encontrava no estado endurecido.

A determinação da dureza superficial seguiu os procedimentos estabelecidos pela NBR 7584 (ABNT, 2012), utilizando como parâmetro de controle o Índice Esclerométrico (IE), o que possibilitou avaliar a qualidade de cada placa de concreto no estado endurecido.

Os resultados obtidos por esclerometria, referentes à dureza superficial das amostras de concreto de acordo com cada tipo de tratamento aplicado, estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Resultados da dureza superficial média por esclerometria

DUREZA SUPERFICIAL - ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO - VALORES MÉDIOS				
Tipologia	Grão (#)	Número de leitura Esclerômetro	Médias (IE)	CV (%)
Placa 1-2	0	16	36,60	7,75
Placa 3-4	200	16	55,85	5,11
Placa 5-6	400	16	57,86	4,81
Placa 7-8	800	16	60,06	5,00
Placa 9-10	1500	16	60,94	6,53
Placa 11-12	3000	16	66,72	5,29

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os dados experimentais obtidos por meio das medições realizadas com o esclerômetro foram analisados pelo método de análise de variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 35. Nessa análise de dureza superficial, avaliou-se

o efeito isolado da variável independente (lixa de polimento) e suas interações sobre a variável de resposta (dureza superficial).

Tabela 35 - Análise de variância (ANOVA) – Esclerometria

Tipologia	GDL	QMG	F (calc)	p	SIGNIFICÂNCIA
Lixa abrasiva de lapidação	4	182,23	16,00	0.000000004991	S

GDL: graus de liberdade (n-1); QMG: Quadrado Médio do Grupo; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância S: valor significativo Se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme demonstrado na Tabela 35, verifica-se que o efeito dos diferentes tipos de lixas de polimento abrasivo foi significativo sobre a variável de resposta. Esse resultado já era esperado, uma vez que os tratamentos aplicados promoveram aumento da resistência mecânica e da dureza superficial, ao mesmo tempo em que reduziram a rugosidade.

Ao analisar isoladamente a variável de controle (lixa de polimento abrasivo) em relação à resistência à abrasão, constatou-se a interação direta entre o processo de polimento e a melhoria da propriedade de resistência ao desgaste, resultando em maior durabilidade da superfície do concreto.

4.5.1.1 Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

Em relação ao resultado da média de dureza superficial das placas de referência, sem tratamento aplicado (ou seja, sem etapas de polimento abrasivo e sem aplicação do tratamento químico), observou-se um baixo índice esclerométrico (IE) de 36,60, quando comparado aos concretos que receberam tratamento superficial com polimento abrasivo em diferentes granulometrias associado ao tratamento químico, conforme demonstrado na Tabela 34.

No que se refere ao tratamento químico complementar aplicado nesta pesquisa em conjunto com o polimento abrasivo, estudos de Padilha *et al.* (2017) apontam que a utilização de endurecedores de superfície promove uma melhora expressiva na dureza superficial de pisos de concreto. Assim, ao analisar isoladamente as placas de referência 1 e 2, confirmou-se o resultado esperado: a variável de resposta (dureza superficial) apresentou valores inferiores em relação às amostras tratadas, evidenciando a importância da aplicação dos tratamentos superficiais para o aprimoramento dessa propriedade.

4.5.1.2 *Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4*

Para as placas de concreto 3 e 4, submetidas ao tratamento semi-fosco com acabamento em lixa de granulometria #200, os resultados indicaram maior eficácia no aumento da variável de resposta (dureza superficial) em comparação às placas de referência. O índice esclerométrico (IE) alcançou o valor de 55,85, conforme apresentado na Tabela 34.

Ao avaliar isoladamente a variável de controle (lixa de polimento), constatou-se a melhora da propriedade de dureza do substrato. Entretanto, conforme destacado por Padilha *et al.* (2017), esse incremento também está diretamente relacionado à aplicação de endurecedores de superfície, utilizados como parte integrante do sistema de tratamentos analisados.

A dureza superficial é uma propriedade determinante para a qualidade da camada superior em pisos de concreto, influenciando diretamente sua resistência ao desgaste e sua durabilidade. Dessa forma, a melhora observada já no primeiro estágio de tratamento (com lixa #200) representa um ganho significativo para a vida útil da superfície de concreto.

4.5.1.3 *Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6*

A variável de resposta (dureza superficial) apresentou nova melhora para as placas de concreto 5 e 6, submetidas ao tratamento fosco com acabamento em lixa de granulometria #400, em comparação às placas de referência e ao tratamento anterior. O índice esclerométrico (IE) alcançou o valor de 57,86, conforme apresentado na Tabela 34.

Ao correlacionar o tratamento com acabamento em lixa #400 ao obtido com lixa #200, verificou-se que o incremento no índice esclerométrico foi de apenas 3,48%. Ainda assim, o resultado confirma que o aumento no número de etapas de polimento abrasivo, mantendo-se o mesmo traço de concreto para as amostras, demonstra que a variável de controle (lixas de polimento) exerce influência direta sobre a variável de resposta (dureza superficial).

Diante desses resultados, o incremento observado já era esperado, reforçando a relação entre o processo de polimento e a melhoria da camada superficial, o que proporciona maior resistência mecânica e contribui para a durabilidade das placas analisadas.

4.5.1.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

Para as placas de concreto 7 e 8, submetidas ao tratamento semi-brilho com acabamento em lixa de granulometria #800, os resultados evidenciaram nova melhora da variável de resposta (dureza superficial) em relação às placas de referência e aos tratamentos anteriormente analisados. O índice esclerométrico (IE) atingiu o valor de 60,06, conforme demonstrado na Tabela 34.

Como já discutido nas análises anteriores, esse incremento no IE era esperado em função do maior número de etapas de polimento abrasivo aplicadas às amostras 7 e 8, aliado à manutenção do tratamento químico, especialmente pela aplicação do endurecedor de superfície à base de silicato. Esse conjunto de procedimentos contribuiu para o ganho adicional nas propriedades mecânicas do substrato, refletindo em maior resistência da camada superficial do concreto.

4.5.1.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

Referente aos resultados obtidos para as placas de concreto 9 e 10 (tratamento brilhoso) com acabamento em lixa de polimento de granulometria #1500, observou-se apenas um pequeno ganho na variável de resposta (dureza superficial) em relação às placas 7 e 8, tratadas com lixa #800. O índice esclerométrico (IE) alcançou o valor de 60,94, conforme demonstrado na Tabela 34.

O baixo incremento evidenciou que a transição do processo de polimento de #800 para #1500 apresentou pouca eficácia na melhoria da dureza superficial. Ainda que tenha ocorrido um ganho, este não foi estatisticamente significativo. Quando analisado de forma isolada, o tratamento com lixa #1500 mostrou-se pouco eficiente em elevar a variável de resposta, indicando que o acréscimo nas etapas de polimento, nesse estágio, não impactou de forma relevante na propriedade de dureza superficial do substrato.

4.5.1.6 *Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12*

Para as placas de concreto 11 e 12 (tratamento alto brilho), com acabamento em lixa de polimento de granulometria #3000, os resultados apresentaram uma melhora mais expressiva na variável de resposta (dureza superficial), em comparação às placas de referência e aos tratamentos anteriormente analisados. O índice esclerométrico (IE) atingiu o valor de 66,72, conforme demonstrado na Tabela 34.

Esse incremento mais significativo evidencia um ganho consistente na propriedade de dureza superficial, superando os resultados obtidos nos tratamentos anteriores e, sobretudo, nas placas de referência. Considerando o IE inicial de 36,60 para as amostras sem tratamento, o tratamento de alto brilho proporcionou um aumento de aproximadamente 81,5%, reforçando a eficiência da combinação entre o polimento abrasivo em múltiplas etapas e o tratamento químico aplicado.

4.5.2 *Avaliação da resistência ao risco – Mohs*

A dureza é uma propriedade física que pode ser avaliada por meio da resistência ao risco, utilizando-se a escala de Mohs. De acordo com Moreno e Ibáñez (2008) e Gonçalves *et al.* (2004), a dureza corresponde à resistência que uma superfície lisa oferece à abrasão, estando diretamente relacionada à durabilidade do material e da superfície. Essa propriedade é particularmente relevante em estruturas de piso de concreto, que estão sujeitas a elevadas solicitações de tráfego, por exemplo.

A análise da superfície pela escala de Mohs consiste em um método ordinal e qualitativo, no qual se identifica a capacidade de um material de maior dureza riscar outro de menor dureza.

Os resultados da resistência ao risco obtidos por meio da escala de Mohs para os tratamentos de concreto estudados encontram-se na Tabela 36, considerando os materiais de referência utilizados: apatita, feldspato, quartzo e topázio.

Tabela 36 – Resultados da resistência ao risco, conforme escala de Mohs

Mineral	Dureza Mohs	Tipologia	Nº de Riscos	Avaliação Visual	Classificação
Apatita	5	Placas 1-2 - REF	4	A	REF < 5
		Placas 3-4 - #200	4	NA	#200 > 5
		Placas 5-6 - #400	4	NA	#400 > 5
		Placas 7-8 - #800	4	NA	#800 > 5
		Placas 9-10 - #1500	4	NA	#1500 > 5
		Placas 11-12 - #3000	4	NA	#3000 > 5

Mineral	Dureza Mohs	Tipologia	Nº de Riscos	Avaliação Visual	Classificação
Feldspato	6	Placas 1-2 - REF	4	A	REF < 6
		Placas 3-4 - #200	4	A	#200 < 6
		Placas 5-6 - #400	4	NA	#400 > 6
		Placas 7-8 - #800	4	NA	#800 > 6
		Placas 9-10 - #1500	4	NA	#1500 > 6
		Placas 11-12 - #3000	4	NA	#3000 > 6

Mineral	Dureza Mohs	Tipologia	Nº de Riscos	Avaliação Visual	Classificação
Quartzo	7	Placas 1-2 - REF	4	A	REF < 7
		Placas 3-4 - #200	4	A	#200 < 7
		Placas 5-6 - #400	4	A	#400 < 7
		Placas 7-8 - #800	4	A	#800 < 7
		Placas 9-10 - #1500	4	NA	#1500 > 7
		Placas 11-12 - #3000	4	NA	#3000 > 7

Mineral	Dureza Mohs	Tipologia	Nº de Riscos	Avaliação Visual	Classificação
Topázio	8	Placas 1-2 - REF	4	A	REF < 8
		Placas 3-4 - #200	4	A	#200 < 8
		Placas 5-6 - #400	4	A	#400 < 8
		Placas 7-8 - #800	4	A	#800 < 8
		Placas 9-10 - #1500	4	A	#1500 < 8
		Placas 11-12 - #3000	4	A	#3000 < 8

Legenda: A: alterou; NA: não alterou; 5 – apatita; 6 – feldspato; 7 – quartzo; 8 – topázio.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados de resistência ao risco, conforme apresentado na Tabela 36, foram analisados de forma qualitativa por meio da escala de dureza de Mohs. Essa análise teve como objetivo avaliar a influência do fator controlável (lixas de polimento) e verificar se este provocou efeito e interação significativos sobre a variável de resposta, representada pela resistência ao risco e pela dureza superficial medida pela escala de Mohs.

4.5.2.1 Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

Ao analisar de forma isolada os efeitos do risco sobre a superfície não tratada, verificou-se que, para as placas de referência (sem aplicação de tratamento superficial), a dureza foi inferior a 5 na escala de Mohs. Nesses casos, observou-se

alteração do risco quando submetidas aos minerais apatita (dureza 5), feldspato (dureza 6), quartzo (dureza 7) e topázio (dureza 8).

Entretanto, é importante destacar que o concreto é um material composto, o que impede sua classificação direta em uma escala mineralógica como a de Mohs, uma vez que esta foi desenvolvida para determinar a dureza relativa de minerais puros. No caso do concreto, a dureza pode variar em função de sua composição, da proporção entre agregados, água e cimento e da dosagem utilizada.

Um exemplo dessa variação pode ser observado nos próprios constituintes: os agregados miúdos e graúdos frequentemente contêm quartzo (comum na areia), que possui dureza 7 na escala de Mohs, além do cimento, que também apresenta elevada dureza. Dessa forma, a resposta à resistência ao risco nas amostras de concreto resulta da interação entre seus diferentes componentes e não de um único material mineralógico.

4.5.2.2 Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

Para o tratamento realizado com lixa de polimento de granulometria #200 (tratamento semi-fosco), conforme demonstrado na Tabela 36, a superfície tratada não apresentou alterações quando submetida ao risco com o mineral apatita (dureza 5). Entretanto, para os demais minerais avaliados — feldspato (dureza 6), quartzo (dureza 7) e topázio (dureza 8) —, verificaram-se alterações superficiais nos quatro pontos analisados das placas de concreto ensaiadas.

4.5.2.3 Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

Para o tratamento realizado com lixa de polimento de granulometria #400 (tratamento fosco), conforme apresentado na Tabela 36, a superfície tratada não apresentou alterações quando submetida ao risco com os minerais apatita (dureza 5) e feldspato (dureza 6). No entanto, para os minerais de maior dureza — quartzo (dureza 7) e topázio (dureza 8) —, observaram-se alterações de risco em todos os quatro pontos avaliados das placas de concreto ensaiadas.

4.5.2.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

Para o tratamento das placas 7 e 8, finalizado com lixa de polimento de granulometria #800 (tratamento semi-brilho), conforme apresentado na Tabela 36, a superfície tratada, assim como observado no tratamento anterior, não apresentou alterações quando submetida ao risco com os minerais apatita (dureza 5) e feldspato (dureza 6). Entretanto, para os minerais de maior dureza — quartzo (dureza 7) e topázio (dureza 8) —, verificaram-se alterações superficiais em todos os quatro pontos avaliados das placas de concreto ensaiadas.

4.5.2.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

Os resultados obtidos para o tratamento das placas 9 e 10, finalizado com lixa de polimento de granulometria #1500 (tratamento brilhoso), conforme apresentado na Tabela 36, demonstraram que a superfície tratada não apresentou alterações quando submetida ao risco com os minerais apatita (dureza 5), feldspato (dureza 6) e quartzo (dureza 7). Alterações foram observadas apenas para o mineral topázio (dureza 8), com identificação de risco nos quatro pontos avaliados das placas de concreto.

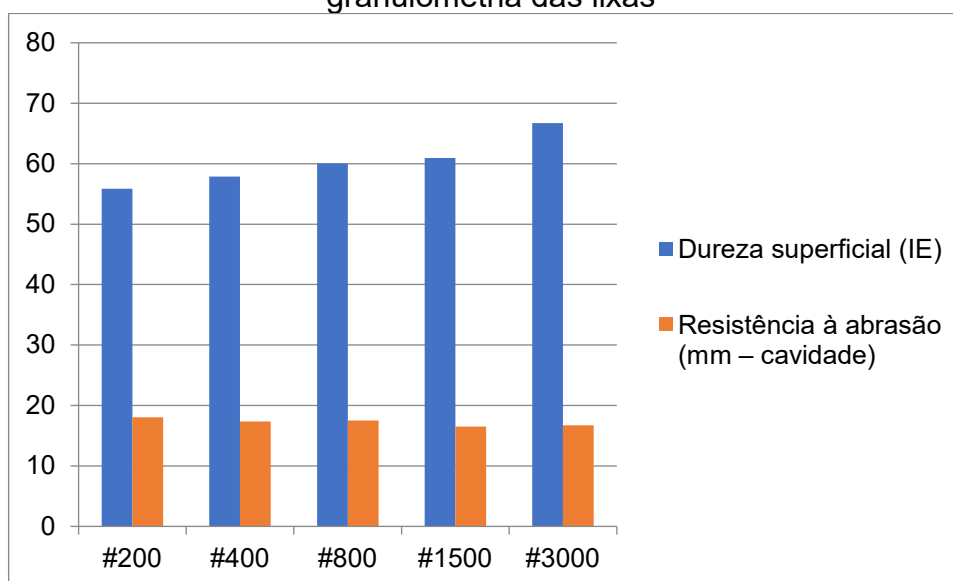
4.5.2.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

Para as placas 11 e 12, os resultados obtidos para o tratamento com acabamento da lixa de polimento de granulometria #3000 tratamento (alto brilho), de acordo com a Tabela 36, a superfície tratada, assim como identificado no tratamento anterior (brilhoso), não apresentou alteração para o mineral de dureza 5 – apatita, para o mineral feldspato de dureza 6 e para o mineral quartzo de dureza 7, apresentando alterações na superfície apenas para o mineral topázio de dureza 8, permitindo a identificação do risco nos 4 pontos da placa de concreto avaliada.

A dureza superficial constitui um parâmetro essencial na avaliação do desempenho do concreto submetido a diferentes tratamentos, pois reflete diretamente a capacidade da superfície em resistir a esforços mecânicos e

processos de desgaste. Neste estudo, a propriedade foi mensurada por meio do índice esclerométrico (IE), permitindo identificar o efeito do polimento em distintas granulometrias de lixa sobre o substrato. O Gráfico 4 apresenta os valores médios obtidos para cada condição de tratamento, além de uma análise comparativa entre a dureza superficial e a resistência à abrasão, possibilitando compreender a relação existente entre o incremento da dureza e a redução do desgaste superficial.

Gráfico 4 – Relação entre dureza superficial e resistência à abrasão em função da granulometria das lixas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os resultados apresentados no Gráfico 4 evidenciam a relação direta entre o aumento da dureza superficial (IE) e a melhoria no desempenho à abrasão do concreto. Observa-se que, à medida que se utilizam lixas de granulometria mais fina, ocorre um incremento gradual na dureza superficial, alcançando o valor máximo para a lixa #3000. Em contrapartida, os valores médios de resistência à abrasão (avaliados pela cavidade em milímetros) mantiveram-se estáveis em níveis inferiores, demonstrando que o polimento progressivo não apenas intensifica a compactação e o adensamento da superfície, mas também contribui para a redução da perda de massa por desgaste. Essa correlação confirma a influência positiva do tratamento superficial na durabilidade do material, reforçando que a elevação da

dureza está associada ao aumento da resistência frente às solicitações mecânicas de abrasão.

4.6 Resistência ao ataque químico

As propriedades de resistência ao ataque químico em superfícies sujeitas à ação de agentes agressivos — como solução de cloreto de amônio, solução de hipoclorito de sódio, bem como diferentes concentrações de ácidos e álcalis — assumem papel de grande relevância na avaliação do desempenho de materiais. Essa propriedade está diretamente associada à durabilidade das estruturas, especialmente em pisos de concreto e cerâmica, nos quais a exposição contínua a ambientes agressivos pode comprometer tanto a conservação estética (alteração de cor, textura, brilho e capacidade de reflexão) quanto a integridade funcional do substrato, ocasionando processos de deterioração e perda de desempenho.

No presente programa experimental, tais soluções foram aplicadas de forma controlada sobre os diferentes tratamentos de superfície propostos, possibilitando a análise comparativa entre as condições estudadas. Os resultados de resistência ao ataque químico obtidos encontram-se apresentados nas Tabelas 37, 38, 39 e 40, as quais sintetizam o comportamento do concreto frente a cada agente químico aplicado, permitindo identificar a influência dos tratamentos de polimento abrasivo e dos tratamentos químicos complementares na preservação e proteção da superfície.

Tabela 37 – Resultados obtidos em cada tratamento para cloreto de amônio – 100g/L – Produto químico doméstico

PRODUTOS QUÍMICOS DOMÉSTICOS					
Cloreto de amônio - 100 g/L - Agente 5.1					
Placa Amostral	Tipo de tratamento	Classificação	Avaliação Visual (8.2.2.1)	Ensaio do Lápis (8.2.2.2)	Classe
Placa 1-2 (REF)	S/ Tratamento	Normal	S/ Alteração	Não Remove	B
Placa 3-4	#200	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 5-6	#400	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 7-8	#800	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 9-10	#1500	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 11-12	#3000	Normal	S/ Alteração	Remove	A

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 38 - Resultados obtidos em cada tratamento para solução hipoclorito de sódio – 20 mg/L – Sais de piscina

SAIS DE PISCINA

Hipoclorito de Sódio - 20 mg/L - Agente 5.2					
Placa Amostral	Tipo de tratamento	Classificação	Avaliação Visual (8.2.2.1)	Ensaio do Lápis (8.2.2.2)	Classe
Placa 1-2 (REF)	S/ Tratamento	Normal	S/ Alteração	Não Remove	B
Placa 3-4	#200	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 5-6	#400	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 7-8	#800	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 9-10	#1500	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 11-12	#3000	Normal	S/ Alteração	Remove	A

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 39 - Resultados obtidos em cada tratamento para solução de hidróxido de potássio – 30 mg/L – Ácidos e álcalis de baixa concentração

ÁCIDOS E ÁLCALIS - BAIXAS CONCENTRAÇÕES

Hidróxido de Potássio - 30 g/L - Agente 5.3.1					
Placa Amostral	Tipo de tratamento	Classificação	Avaliação Visual (8.2.2.1)	Ensaio do Lápis (8.2.2.2)	Classe
Placa 1-2 (REF)	S/ Tratamento	Normal	S/ Alteração	Não Remove	B
Placa 3-4	#200	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 5-6	#400	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 7-8	#800	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 9-10	#1500	Normal	S/ Alteração	Remove	A
Placa 11-12	#3000	Normal	S/ Alteração	Remove	A

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 40 – Comparação dos resultados do ensaio de resistência ao ataque químico dos tratamentos para concreto lapidado

Solução de Ensaio	Solução de Ensaio Superfície da amostra Concreto Polido NBR 10545 -13					
	Avaliação visual		Teste do Lápis			
	Placas 1-2 Sem Tratamento	Placas 3-12 Com Tratamento	Placas 1-2 Sem Tratamento	Classe	Placas 3-12 Com Tratamento	Classe
Número de corpos de prova - 3 amostras representativas para cada tratamento						
Número de corpos de prova por solução - 1 amostra						
Produtos químicos domésticos						
Cloreto de amônio 100 g/L	NA	NA	R	B	NA	A
Produtos para tratamento de água de piscina						
Solução de hipoclorito de sódio 20 mg/L	NA	NA	R	B	NA	A
Ácidos e Álcalis						
KOH 30 g/L	NA	NA	R	B	NA	A

Legenda NA: não afetado; R: Reagiu; KOH: Hidróxido de Potássio.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.6.1 Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

As Tabelas 37, 38, 39 e 40 apresentam os resultados de resistência ao ataque químico dos diferentes tratamentos de concreto lapidado, bem como das placas de referência 1 e 2, sem tratamento superficial. Essa disposição possibilita a comparação entre os comportamentos observados, considerando as distintas soluções químicas aplicadas ao substrato.

No caso das placas de referência, sem qualquer tratamento superficial, observou-se enquadramento na classificação normal, uma vez que o ensaio do teste do lápis foi removido da superfície. Para essas amostras, verificou-se que tanto frente às soluções aquosas — representadas por produtos químicos de uso doméstico e sais de piscina — quanto frente aos agentes de pH ácido, como a solução de hidróxido de potássio (KOH), estabelecidos na NBR 10545-13 (ABNT, 2020), houve comportamento correspondente à Classe B, ou seja, resistência média ao ataque químico.

É importante considerar que os tempos de exposição variaram de acordo com a natureza do agente químico: para o cloreto de amônio e a solução de hipoclorito de sódio, o período de contato foi de 24 horas, enquanto para os ácidos e álcalis, como o KOH, a NBR 10545-13 (ABNT, 2020) estabelece um tempo de 96 horas, em razão da execução do ensaio por imersão parcial.

Embora tanto as soluções aquosas quanto os ácidos e álcalis tenham resultado em classificação Classe B, deve-se ressaltar que a normativa nacional impõe uma condição mais agressiva de ataque para ácidos e álcalis, devido ao

maior tempo de contato (96 horas), em comparação com a ASTM C-650-04 (2004), que limita a exposição a 24 horas, porém com um número mais amplo de reagentes químicos avaliados. Além disso, a NBR 10545-13 (ABNT, 2020) exige uma área de contato maior para a análise, favorecendo uma avaliação visual mais precisa da região afetada pelo ataque químico.

4.6.2 Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

Com relação aos resultados de resistência ao ataque químico apresentados nas Tabelas 37, 38, 39 e 40, verificou-se que as placas de concreto lapidado 3 e 4, submetidas ao tratamento semi-fosco com acabamento em lixa de granulometria #200, conforme os procedimentos da NBR 10545-13 (ABNT, 2020), alcançaram desempenho classificado como de alta resistência ao ataque químico (Classe A). Adicionalmente, a classificação obtida foi definida como “normal”, considerando todos os agentes químicos testados.

Para a determinação dessa classificação e do método de avaliação da resistência química, foram realizados ensaios específicos, entre eles o teste do lápis, no qual se verificou a remoção completa das marcas aplicadas sobre a superfície. Esse resultado permitiu enquadrar as amostras na classificação normal, visto que não houve permanência das marcas.

A análise foi complementada por uma avaliação visual sob iluminação de $300 \text{ lx} \pm 10 \text{ lx}$, em que as placas tratadas foram comparadas com amostras de mesmo tratamento. Observou-se ausência de efeitos visíveis, como alteração de cor, perda de reflexão, mudança de textura superficial ou variação do brilho. Esse comportamento foi constatado frente a todos os agentes químicos utilizados na pesquisa, incluindo: cloreto de amônio (100 g/L), solução de hipoclorito de sódio (20 mg/L) e solução de hidróxido de potássio (30 g/L, baixa concentração).

Por fim, ao repetir a verificação por meio do teste do lápis, confirmou-se a Classe A de resistência, visto que nenhuma marca permaneceu na superfície, mesmo após o contato com ácidos e álcalis de baixa concentração. Destaca-se, ainda, que as amostras resistiram ao tempo de exposição mais severo exigido pela

norma, de 96 horas de imersão parcial, evidenciando a elevada resistência do tratamento semi-fosco frente ao ataque químico.

4.6.3 Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

Para as placas de concreto lapidado 5 e 6, submetidas ao tratamento fosco com acabamento em lixa de granulometria #400, os resultados obtidos de acordo com os procedimentos da NBR 10545-13 (ABNT, 2020) indicaram alta resistência ao ataque químico (Classe A), com classificação “normal”, frente a todos os agentes químicos avaliados. Entre eles destacam-se: cloreto de amônio (100 g/L), solução de hipoclorito de sódio (20 mg/L e 5% W/V) e hidróxido de potássio (30 g/L, baixa concentração), conforme demonstrado nas Tabelas 37, 38 e 39.

Observa-se que o tratamento fosco com acabamento em #400 promoveu maior fechamento e homogeneização da superfície em relação ao tratamento anterior (semi-fosco com #200). Esse comportamento foi particularmente relevante frente ao agente químico mais agressivo – hidróxido de potássio (30 g/L) –, submetido ao ensaio de imersão parcial por 96 horas, o qual representa condição de ataque químico mais severa. Mesmo nesse cenário, o resultado obtido foi classificado como não afetado (NA), evidenciando que não ocorreram alterações visuais significativas, como perda de brilho, mudança de textura ou modificação da reflexão da superfície.

Dessa forma, o tratamento com acabamento #400 demonstrou bom desempenho global frente a todos os agentes analisados, consolidando-se como um procedimento eficaz para elevar a resistência do concreto lapidado ao ataque químico, reforçando sua durabilidade e estabilidade estética em aplicações de pisos expostos a ambientes agressivos.

4.6.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

Para as placas de concreto lapidado 7 e 8, submetidas ao tratamento semi-brilho com acabamento em lixa de granulometria #800, os resultados obtidos de acordo com os procedimentos da NBR 10545-13 (ABNT, 2020) indicaram alta resistência ao ataque químico (Classe A, classificação normal) frente a todos os

agentes químicos analisados. Entre eles, destacam-se: cloreto de amônio (100 g/L), solução de hipoclorito de sódio (20 mg/L e 5% W/V) e hidróxido de potássio (30 g/L, baixa concentração), conforme demonstrado nas Tabelas 37, 38 e 39.

Conforme esperado, os resultados confirmaram a eficácia do incremento no processo de polimento abrasivo, que promoveu maior fechamento dos poros superficiais em comparação com os tratamentos anteriores (#200 e #400). Mesmo sob condição mais agressiva – imersão parcial em hidróxido de potássio (30 g/L) durante 96 horas – não foram observadas alterações visuais significativas, sendo os resultados classificados como não afetado (NA) segundo a normativa utilizada. Assim, mantiveram-se inalterados o brilho, a textura e a reflexão da superfície, reforçando a estabilidade do tratamento aplicado.

Outro aspecto relevante para o desempenho obtido foi a associação entre os tratamentos mecânicos e químicos. A aplicação do endurecedor de superfície à base de silicato e do selador de superfície à base de água contribuiu para a formação de uma barreira hidrofóbica na camada superficial, dificultando a penetração de agentes agressivos. Essa combinação potencializou a durabilidade da superfície frente a diferentes agentes químicos, sejam de origem doméstica, sais de piscina ou soluções ácidas e alcalinas.

Dessa forma, o tratamento com acabamento em #800 (semi-brilho) demonstrou resultados consistentes, alinhados com o desempenho esperado, consolidando-se como uma etapa intermediária eficaz no aumento da resistência ao ataque químico, com benefícios tanto estéticos quanto funcionais.

4.6.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

Para as placas de concreto lapidado 9 e 10, submetidas ao tratamento brilhoso com acabamento em lixa de granulometria #1500, os resultados obtidos conforme os procedimentos da NBR 10545-13 (ABNT, 2020) indicaram alta resistência ao ataque químico (Classe A, classificação normal) frente a todos os agentes avaliados. Entre eles, destacam-se: cloreto de amônio (100 g/L), solução de hipoclorito de sódio (20 mg/L e 5% W/V) e hidróxido de potássio (30 g/L, baixa concentração), conforme demonstrado nas Tabelas 37, 38 e 39.

As amostras mantiveram desempenho estável, classificadas como não afetadas (NA) de acordo com a normativa utilizada. A avaliação visual não identificou qualquer alteração na superfície, preservando-se integralmente o teor de brilho, a textura e a reflexão de luz, como evidenciado nos resultados da Tabela 40.

Assim como observado nos tratamentos anteriores, os resultados de alta resistência química média frente aos agentes analisados eram esperados. Isso porque o avanço no processo de polimento abrasivo até a granulometria #1500 proporcionou maior fechamento dos poros e compactação superficial, reforçando a barreira física contra a penetração de substâncias agressivas. Além disso, a aplicação complementar do endurecedor de superfície à base de silicato e do selador de superfície à base de água contribuiu para a formação de uma camada protetora hidrofóbica, intensificando a durabilidade e a estabilidade química da superfície.

Assim, o tratamento brilhoso (#1500) confirmou a tendência de melhoria progressiva na resistência ao ataque químico observada ao longo das etapas de polimento, consolidando resultados consistentes e compatíveis com o desempenho esperado para esse nível de acabamento.

4.6.6 Influência do tratamento alto brilho, com 4.7.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

Para as placas de concreto lapidado 11 e 12, submetidas ao tratamento de alto brilho com acabamento em lixa de granulometria #3000, os resultados obtidos de acordo com os procedimentos da NBR 10545-13 (ABNT, 2020) indicaram alta resistência ao ataque químico (Classe A e classificação normal) frente a todos os agentes testados. Entre estes, destacam-se: cloreto de amônio (100 g/L), solução de hipoclorito de sódio (20 mg/L e 5% W/V) e hidróxido de potássio (30 g/L, baixa concentração), conforme demonstrado nas Tabelas 37, 38 e 39.

As superfícies avaliadas não apresentaram qualquer alteração perceptível na inspeção visual, sendo classificadas como não afetadas (NA), em conformidade com a norma utilizada. O tratamento manteve integralmente o teor de brilho, a textura, a conservação da coloração e a reflexão de luz das placas analisadas, conforme registrado nos resultados da Tabela 40.

Assim como nos tratamentos anteriores, os resultados de alta resistência química média já eram esperados. O incremento do polimento até o estágio de grão #3000 proporcionou maior compactação superficial e fechamento dos poros, aumentando a proteção frente aos agentes químicos agressivos. Somado a isso, a aplicação do endurecedor de superfície à base de silicato e do selador de superfície à base de água contribuiu para a formação de uma camada protetora hidrofóbica, reforçando a barreira contra a penetração de agentes nocivos e assegurando maior durabilidade da superfície.

De forma geral, os tratamentos avaliados demonstraram desempenho satisfatório quanto à resistência ao ataque químico, inclusive frente a agentes de pH mais agressivo, como o hidróxido de potássio (KOH), mesmo sob elevado tempo de exposição (96 horas). Em contraste, as placas de referência 1 e 2, que não receberam qualquer tratamento, apresentaram menor resistência (Classe B, resultado R – reagiu), evidenciando a relevância do polimento e da aplicação de tratamentos químicos complementares na proteção da superfície de concreto.

4.7 Resistência ao manchamento

A avaliação da resistência ao manchamento das superfícies de concreto submetidas aos diferentes tratamentos foi conduzida conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 10545-14 (ABNT, 2017b). Para o ensaio, foram utilizados três tipos de agentes manchantes representativos: (i) agente de ação penetrante (pastas) – verde em óleo leve; (ii) agente de ação química/oxidante – iodo; e (iii) agente de formação de película – óleo de oliva.

Na comparação entre a normativa NBR 10545-14 (ABNT, 2017b) e o método da ASTM 1378-97/04 (2004), verifica-se que a norma americana contempla uma maior variedade de agentes manchantes, incluindo substâncias não contempladas pela ISO, como azul de metileno, permanganato de potássio 1%, tinta lavável e tinta não lavável. Entretanto, diferentemente da ISO, que estabelece uma classificação numérica para resistência ao manchamento, a ASTM limita-se a informar apenas se o material apresenta mancha ou não frente ao agente aplicado, sem graduação do desempenho.

A propriedade de resistência ao manchamento possui grande relevância, uma vez que, assim como a resistência ao ataque químico, está diretamente associada à durabilidade do material. Em estruturas de piso de concreto, tal característica contribui para a preservação da estética da superfície, evitando alterações indesejáveis na coloração, textura, teor de brilho e reflexão da luz, que comprometem tanto o aspecto visual quanto a vida útil do revestimento.

As tipologias de agentes manchantes e as quantidades empregadas em cada tratamento de superfície estão apresentadas na Tabela 41. A Tabela 42 reúne o resumo da metodologia prescrita pela norma para a verificação da resistência ao manchamento, discriminando os agentes utilizados e os procedimentos de limpeza empregados. Já os resultados obtidos para cada tratamento em superfície de concreto, frente aos diferentes agentes manchantes aplicados, encontram-se organizados na Tabela 43, permitindo a análise comparativa entre as condições de acabamento e seu desempenho frente ao manchamento.

Tabela 41 – Produtos avaliados pela metodologia de ensaio de resistência ao manchamento pela Norma NBR ISO 10545-14

Tipologia	Número de amostras	Dimensões (cm)
Placas 1-2 Sem tratamento	5	10x10x10
Placas 3-4 Tratamento Semi Fosco (Semi Mate)	5	10x10x10
Placas 5-6 Tratamento Fosco (Mate) #400	5	10x10x10
Placas 7-8 Tratamento Semi Brilho #800	5	10x10x10
Placas 9-10 Tratamento Brilhosos #1500	5	10x10x10
Placas 11-12 Tratamento Alto Brilho #3000	5	10x10x10

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 42 – Resumo da metodologia aplicada para obtenção dos resultados de resistência ao manchamento, de acordo com NBR ISO 10545-14

NBR ISO 10545 - 14	
Agentes Manchantes	Óxido de cromo verde em óleo leve Agentes com ação oxidante, ou seja, iodo em solução alcoólica (13 g/L). Agentes com formação de película, ou seja, óleo de oliva
Agentes de limpeza	Água quente Agente de limpeza fraco: agente comercial, não abrasivo, com pH de 6,5 a 7,5 Agente de limpeza forte: agente de limpeza comercial contendo partículas abrasivas, com pH de 9 a 10 KOH, solução 200g/L, preparada a partir de Hidróxido de Potássio 90% pela adição de 222g de KOH em 1L de água destilada
Metodologia	24 horas – com vidro de relógio sobre o agente manchante
Classificação	1 a 5, sendo: 5: máxima facilidade de limpeza 4: limpeza com detergente neutro 3: limpeza com saponáceo em escova rotativa 2: limpeza com solução de KOH 1: impossível remoção de manchas

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 43 – Classificação da resistência ao manchamento de diferentes tipologias de concreto lapidado

Amostra Placa Concreto	Tipologia	ISO 10545-14		
		Óxido de cromo em óleo leve	Solução alcoólica de iodo 13 g/L	Óleo de oliva
Placa 1-2	Sem tratamento	1	1	1
Placa 3-4	Semi Fosco #200	5	1	2
Placa 5-6	Fosco #400	5	2	2
Placa 7-8	Semi Brilho #800	5	3	3
Placa 9-10	Brilhoso #1500	5	4	4
Placa 11-12	Alto Brilho #3000	5	4	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De acordo com o procedimento de ensaio descrito pela NBR 10545-14 (ABNT, 2017b) e conforme os resultados apresentados na Tabela 43, todas as placas de concreto submetidas aos diferentes tratamentos apresentaram classe de limpabilidade 5 frente ao agente manchante de ação penetrante (pasta), o que corresponde à condição de facilidade máxima de limpeza. Esse resultado evidencia a eficácia dos tratamentos na prevenção da penetração e fixação desse tipo de agente no substrato.

Por outro lado, quando avaliados os agentes de ação oxidante e aqueles de formação de película, observou-se maior dificuldade para a remoção completa após a execução dos procedimentos de limpeza. Nessas condições, verificaram-se variações significativas entre as classificações das amostras, sendo necessária, em alguns casos, a aplicação de procedimentos mais agressivos de limpeza para obtenção da remoção total do agente manchante. Tal comportamento ressalta que a eficiência dos tratamentos é diferenciada conforme a natureza química e física do agente aplicado, revelando um desempenho superior frente às pastas de penetração, mas demandando maior esforço em situações de agentes oxidantes e de película.

4.7.5 Influência das amostras sem tratamento – Placas de Referência 1 e 2

Para as placas de concreto avaliadas, verificou-se que a maior tendência ao manchamento do substrato ocorreu frente ao agente manchante de ação oxidante, especificamente a solução de iodo 13 g/L em álcool, conforme evidenciado na Tabela 43. Contudo, para as placas de concreto sem tratamento superficial (placas 1 e 2), observou-se desempenho inferior frente a todos os agentes testados. Tanto para o agente de ação penetrante (pasta) – verde de cromo (Cr_2O_3) quanto para o agente de formação de película – óleo de oliva, as amostras não apresentaram remoção completa da mancha, mesmo após a execução sequencial de todos os procedimentos de limpeza (A, B, C e D), previstos pela NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), resultando em classificação 1 – impossível remoção da mancha.

Durante a aplicação e análise do agente oxidante (iodo 13 g/L), observou-se a necessidade de uma avaliação visual minuciosa, uma vez que a mancha tende a se atenuar gradualmente ao longo do tempo, podendo inclusive desaparecer completamente da superfície. Constatou-se que o processo de atenuação foi mais

perceptível nas primeiras cinco horas após a secagem das amostras em estufa, a qual foi realizada pelo período de duas horas, sugerindo que a evolução do manchamento está relacionada ao tempo de exposição e ao processo de evaporação residual do agente.

Adicionalmente, destaca-se que a aplicação desse agente manchante, segundo a NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), apresenta maior severidade em comparação ao procedimento descrito pela ASTM 1378-97/04 (2004), em função do método de deposição adotado. Enquanto a normativa brasileira utiliza um vidro de relógio convexo de 30 mm de diâmetro para aplicar a solução sobre a superfície, a norma americana adota a utilização de um tubo de ensaio.

Essa diferença metodológica amplia a área de contato entre o agente e o substrato no procedimento da ISO, tornando-o mais agressivo. Por esse motivo, a avaliação visual deve ser realizada imediatamente após o resfriamento das amostras, de modo a assegurar a correta identificação do grau de manchamento antes do início do processo de atenuação natural.

4.7.2 Influência do tratamento semi-fosco, com acabamento da lixa de #200 – Placas 3 e 4

Para o tratamento semi-fosco com acabamento em lixa de granulometria #200 (Placas 3 e 4), seguindo os procedimentos de ensaio da NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), observou-se comportamento diferenciado frente aos distintos agentes manchantes. Em relação ao agente de ação química e oxidante (iodo 13 g/L em álcool), verificou-se uma maior tendência ao manchamento do substrato, semelhante ao identificado nas placas de referência 1 e 2 (sem tratamento).

Mesmo após a execução sequencial de todos os procedimentos de limpeza (A, B, C e D) – incluindo lavagem com água quente (55 ± 5 °C), uso de agente de limpeza fraco (pH 6,5–7,5), agente de limpeza forte (pH 9–10) e imersão em solução de hidróxido de potássio (KOH) 200 g/L por 24 horas –, não foi possível a remoção completa da mancha, resultando em classificação 1 – impossível remoção da mancha.

Para o agente manchante de ação penetrante (verde de cromo em óleo leve, na forma de pasta), o desempenho foi superior. As superfícies tratadas

apresentaram classificação 5 – máxima facilidade de limpeza, com remoção completa do agente após simples lavagem com água quente (55 ± 5 °C) por 5 minutos.

No caso do agente de formação de película (óleo de oliva), identificou-se uma maior resistência do agente manchante à limpeza superficial. A remoção completa ocorreu apenas após a aplicação do procedimento D, que consistiu na imersão das amostras em solução de hidróxido de potássio (KOH) 200 g/L durante 24 horas. Após esse período, nova inspeção visual confirmou a completa remoção da mancha, resultando em classificação 2 – limpeza com solvente (hidróxido de potássio, imersão prolongada).

4.7.3 Influência do tratamento fosco, com acabamento da lixa de #400 – Placas 5 e 6

Para o tratamento fosco com acabamento em lixa de granulometria #400 (Placas 5 e 6), de acordo com os procedimentos de ensaio estabelecidos pela NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), os resultados evidenciaram remoção completa de todos os agentes manchantes testados sobre a superfície do substrato, indicando uma melhora significativa na resistência ao manchamento em relação aos tratamentos anteriores. Contudo, frente aos agentes de ação química/oxidante (iodo 13 g/L em álcool) e de formação de película (óleo de oliva), a remoção total demandou a execução de todos os procedimentos de limpeza previstos na normativa.

No caso do agente manchante de ação penetrante (verde de cromo em óleo leve – Cr_2O_3 , pasta), obteve-se classificação de limpabilidade 5 – máxima facilidade de limpeza, sendo sua remoção possível apenas com o procedimento A (lavagem em água quente a 55 ± 5 °C, durante 5 minutos), não permanecendo qualquer resíduo na superfície avaliada.

Já para o agente de ação química e oxidante (iodo 13 g/L em álcool), a superfície apresentou classificação de limpabilidade 2 – limpeza com solvente adequado, necessitando do procedimento D, que consistiu na imersão em solução de hidróxido de potássio (KOH) 200 g/L durante 24 horas, para obtenção da remoção completa. Resultado semelhante foi constatado para o agente de formação de película (óleo de oliva), que também apresentou classificação 2 – limpeza com solvente (KOH, imersão prolongada).

De forma comparativa, verificou-se que o incremento da resistência ao manchamento das Placas 5 e 6 está associado ao maior fechamento da superfície promovido pelo avanço nas etapas de polimento abrasivo, o que resultou em redução significativa da porosidade. Esse fator foi determinante para impedir a penetração dos agentes manchantes no material, contribuindo para o desempenho superior em relação ao tratamento anterior (semi-fosco, lixa #200).

4.7.4 Influência do tratamento semi-brilho, com acabamento da lixa de #800 – Placas 7 e 8

Para o tratamento semi-brilho, com acabamento em lixa de granulometria #800 (Placas 7 e 8), conforme os procedimentos de ensaio descritos na NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), verificou-se a remoção completa de todos os agentes manchantes aplicados ao substrato, demonstrando uma melhora ainda mais expressiva na resistência ao manchamento, quando comparado aos tratamentos anteriores (fosco e semi-fosco).

O agente manchante que apresentou maior facilidade de remoção foi o de ação penetrante (verde de cromo em óleo leve – Cr_2O_3 , pasta), que obteve classificação de limpabilidade 5 – máxima facilidade de limpeza. Para este agente, bastou a execução do procedimento A, com lavagem em água quente ($55 \pm 5^\circ\text{C}$) durante 5 minutos, não sendo constatados resquícios do manchante sobre a superfície analisada.

Quanto aos agentes de ação química/oxidante (iodo 13 g/L em álcool) e de formação de película (óleo de oliva), ambos demandaram a execução sequencial dos procedimentos de limpeza A, B e C para alcançar a remoção completa. Em ambos os casos, foi obtida a classificação de limpabilidade 3 – limpeza com saponáceo em escova rotativa, utilizando agente de limpeza comercial forte, com partículas abrasivas e pH entre 9 e 10, em rotação aproximada de 500 r/min durante 2 minutos (procedimento C). Após este processo, não foram observados resíduos dos agentes sobre as superfícies avaliadas.

De forma conclusiva, a análise comparativa dos resultados indica que a elevação da resistência ao manchamento no tratamento semi-brilho foi diretamente relacionada ao incremento nas etapas de polimento abrasivo, aliado à aplicação do

tratamento químico com endurecedor de superfície à base de silicato e selador à base de água. Este processo combinado promoveu um fechamento mais efetivo dos microporos do substrato, resultando em desempenho superior frente aos agentes manchantes, sobretudo em relação às tipologias avaliadas nos tratamentos anteriores.

4.7.5 Influência do tratamento brilhoso, com acabamento da lixa de #1500 – Placas 9 e 10

Para o tratamento brilhoso, com acabamento em lixa de granulometria #1500 (Placas 9 e 10), conforme os procedimentos de ensaio descritos na NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), constatou-se a remoção completa de todos os agentes manchantes aplicados, confirmando um incremento expressivo na resistência ao manchamento em comparação com os tratamentos anteriormente analisados.

O agente manchante de ação penetrante (verde de cromo em óleo leve – Cr_2O_3 , pasta) apresentou novamente a maior facilidade de remoção, obtendo classificação de limpabilidade 5 – máxima facilidade de limpeza. Para este caso, a remoção foi possível apenas com a execução do procedimento A, utilizando água quente ($55 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) durante 5 minutos, sem que fossem observados resquícios do agente na superfície avaliada.

No caso dos agentes de ação química/oxidante (iodo 13 g/L em álcool) e de formação de película (óleo de oliva), a remoção foi igualmente completa, embora tenha demandado a execução dos procedimentos de limpeza A e B. Ambos obtiveram classificação de limpabilidade 4 – limpeza com detergente neutro, empregando agente de limpeza comercial fraco, não abrasivo, com pH entre 6,5 e 7,5, aplicado com esponja natural (procedimento B). Após este processo, não foram constatados resíduos dos agentes sobre as superfícies avaliadas.

Os resultados para o tratamento com acabamento de lixa #1500 evidenciaram um avanço significativo no desempenho contra agentes manchantes, uma vez que a remoção ocorreu de maneira imediata já nas etapas iniciais de limpeza. Estes achados reforçam a relação direta entre o incremento nas etapas do polimento abrasivo e a melhoria da performance da superfície tratada, proporcionando maior durabilidade, conservação estética e resistência frente à ação de agentes nocivos.

4.7.6 Influência do tratamento alto brilho, com acabamento da lixa de #3000 – Placas 11 e 12

Para o tratamento alto brilho, com acabamento em lixa de granulometria #3000 (Placas 11 e 12), de acordo com os procedimentos descritos na NBR 10545-14 (ABNT, 2017b), verificou-se a remoção completa de todos os agentes manchantes aplicados, confirmando um aumento expressivo da resistência ao manchamento em relação aos tratamentos anteriores.

O agente manchante de ação penetrante (verde de cromo em óleo leve – Cr_2O_3 , pasta) apresentou a maior facilidade de remoção, obtendo classificação de limpabilidade 5 – máxima facilidade de limpeza (procedimento A). A remoção foi realizada apenas com a utilização de água quente ($55 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) por 5 minutos, sem deixar qualquer resquício do agente na superfície avaliada.

Para os agentes de ação química e oxidante (iodo 13 g/L em álcool) e de formação de película (óleo de oliva), a remoção também foi completa, embora tenha sido necessária a execução dos procedimentos A e B. Ambos os agentes obtiveram classificação de limpabilidade 4 – limpeza com detergente neutro, utilizando agente de limpeza comercial fraco, não abrasivo, com pH entre 6,5 e 7,5, aplicado com esponja natural (procedimento B). Após este processo, as superfícies não apresentaram resíduos visíveis dos agentes manchantes.

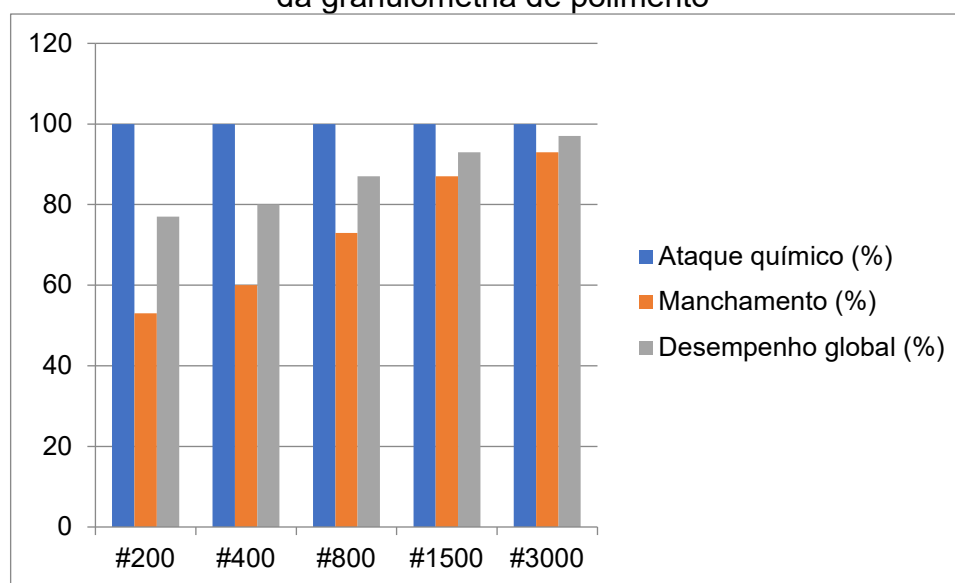
Os resultados obtidos para o tratamento com lixa #3000 evidenciam que a resistência ao manchamento atinge seu desempenho máximo dentro das condições analisadas, já que a remoção dos agentes foi imediata nas etapas iniciais de limpeza. Estes achados reforçam a constatação de que o aumento das etapas de polimento abrasivo, aliado ao tratamento químico da superfície (endurecedor de silicato e selador à base de água), promove o fechamento mais eficaz dos micro poros do substrato, elevando a durabilidade, a conservação estética e o desempenho da superfície frente à ação de agentes manchantes.

A resistência ao ataque químico e ao manchamento constitui parâmetros essenciais para avaliar a durabilidade e a manutenção estética de superfícies de concreto lapidado. Esses ensaios permitem verificar não apenas a capacidade do material em resistir à degradação causada por agentes químicos agressivos, mas

também a sua suscetibilidade a manchas, fator determinante em aplicações arquitetônicas e decorativas.

O Gráfico 5 apresenta a comparação do desempenho obtido em cada tratamento superficial, destacando as diferenças entre os níveis de polimento e evidenciando a influência da granulometria das lixas na preservação da integridade físico-química e da aparência do substrato de concreto.

Gráfico 5 - Desempenho global frente ao ataque químico e manchamento em função da granulometria de polimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em NBR 10545-13 (ABNT, 2021) e NBR 10545-14 (ABNT, 2021).

O Gráfico 5 ilustra o comportamento das amostras de concreto lapidado frente ao ataque químico e ao manchamento superficial, em função da granulometria de polimento. Para transformar os resultados qualitativos das Tabelas 37 a 43 em percentuais de desempenho (%), adotou-se um critério de conversão alinhado às classificações normativas das normas NBR 10545-13 (ABNT, 2021) e NBR 10545-14 (ABNT, 2021).

De acordo com a NBR 10545-13 (ABNT, 2021), a resistência ao ataque químico de superfícies cerâmicas é determinada por meio da exposição a agentes agressivos como cloreto de amônio, hipoclorito de sódio e hidróxido de potássio (KOH), sendo a superfície posteriormente classificada em Classes A, B, C ou D, conforme o grau de alteração observada. Nesse estudo, para efeito comparativo e estatístico, os resultados foram expressos em escala percentual, considerando

Classe A = 100% (sem alteração visível) e Classe B = 60% (alteração leve), representando a resistência química relativa dos tratamentos avaliados.

Quanto à resistência ao manchamento, a NBR 10545-14 (ABNT, 2021) estabelece a aplicação de agentes padronizados — entre eles óxido de cromo, iodo e óleo de oliva — sobre a superfície do material, seguida da avaliação em uma escala de 1 a 5, onde 5 representa a total remoção da mancha e 1 a persistência completa. Para padronizar os resultados e permitir sua análise gráfica, realizou-se a conversão dos escores para percentuais equivalentes: 1 = 20%, 2 = 40%, 3 = 60%, 4 = 80% e 5 = 100%.

A partir dessas conversões, obteve-se a média de desempenho por grupo (ataque químico e manchamento) e, subsequentemente, o desempenho global, definido como a média ponderada entre os dois parâmetros. Os resultados demonstraram que a amostra de referência (sem polimento) apresentou baixo desempenho global (40%), refletindo alta suscetibilidade ao manchamento e menor resistência superficial. Com o início do processo de lapidação — lixa #200 —, o desempenho aumentou para 77%, evidenciando a melhoria das propriedades superficiais.

As demais granulometrias apresentaram crescimento progressivo dos índices, culminando em 97% no polimento de alto brilho (#3000). Observou-se ainda que todos os grupos tratados alcançaram 100% de resistência química, conforme os critérios da NBR 10545-13 (ABNT, 2021), enquanto a principal variação esteve associada à redução do manchamento com o avanço da granulometria, conforme os parâmetros da NBR 10545-14 (ABNT, 2021).

Esses resultados confirmam que o polimento progressivo até a lixa #3000 é a condição mais eficaz para maximizar a durabilidade, a estabilidade estética e a resistência química das superfícies de concreto lapidado, assegurando desempenho superior frente a agentes agressivos e contaminantes superficiais.

4.8 Correlação das propriedades analisadas frente aos diferentes tratamentos superficiais

Para estabelecer a correlação entre as variáveis de resposta dos diferentes tratamentos avaliados, apresenta-se na Tabela 44 um resumo comparativo dos

resultados obtidos, destacando a influência de cada tratamento de superfície do concreto sobre as propriedades analisadas nesta pesquisa.

Tabela 44 – Resumo comparativo dos resultados obtidos das propriedades analisadas, frente aos tratamentos superficiais

Tratamentos Avaliados	Variáveis de Resposta															
	Abrasão - Índice de Desgaste(m m)	Teor de Brilho - Glossmeter (GU)	Rugosidade Superficial - Rugosímetro (µm)		Rugosidade Superficial - Smartzoom 5 Ry (µm)	Dureza Superficial - Esclerometri a (IE)	Dureza Superficial - Mohs				Ataque químico (Classe)			Manchamento (Classificação)		
			Ra (µm)	Ry ou Rt (µm)			Apatita (5)	Feldspato (6)	Quartzo (7)	Topázio (8)	Cloreto Amônio	Hipoclorito Sódio	Hidróxido de Potássio	Óxido de Cromo Verde	Iodo	Óleo de Oliva
Placas 1-2 (REF)	22,00	n/D	n/D	n/D	1719,67	36,60	A	A	A	A	B	B	B	1	1	1
Placas 3-4 (#200)	18,07	42,33	2,99	34,12	101,00	55,85	NA	A	A	A	A	A	A	5	1	2
Placas 5-6 (#400)	17,37	48,01	2,67	28,14	60,67	57,86	NA	NA	A	A	A	A	A	5	2	2
Placas 7-8 (#800)	17,53	56,95	1,56	19,85	51,17	60,06	NA	NA	A	A	A	A	A	5	3	3
Placas 9-10 (#1500)	16,53	66,01	1,20	14,26	47,33	60,94	NA	NA	NA	A	A	A	A	5	4	4
Placas 11-12 (#3000)	16,70	76,86	0,85	9,09	7,67	66,72	NA	NA	NA	A	A	A	A	5	4	4

Legenda: n/D – sem dados; Dureza Mohs (A) – alteração; Ataque químico (A) – Classe de resistência; NA – não alterou; GU – *Gloss Unit*; IE – Índice esclerométrico; µm – micrometro; mm – milímetros.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 44 sintetiza os resultados médios de todas as variáveis avaliadas nesta pesquisa, possibilitando uma comparação abrangente entre os diferentes tratamentos de superfície aplicados e suas respectivas correlações. De modo geral, observa-se que as placas de referência (1–2, sem tratamento) apresentaram o pior desempenho global, confirmando a relevância da aplicação de tratamentos superficiais no concreto.

Em relação à resistência à abrasão, as placas de referência exibiram a maior cavidade média (22,00 mm³), enquanto os tratamentos reduziram progressivamente o desgaste: de 18,07 mm³ no acabamento semi-fosco (#200) até 16,70 mm³ no polimento de alto brilho (#3000). As reduções foram da ordem de 18% a 25% em comparação com as amostras sem tratamento, confirmando ganhos consistentes em durabilidade.

Quanto ao brilho superficial, as placas de referência não apresentaram refletividade mensurável. Já os tratamentos evidenciaram crescimento contínuo: 42,33 GU (#200), 48,01 GU (#400), 56,95 GU (#800), 66,01 GU (#1500) e 76,86 GU (#3000). A inspeção visual confirmou essa progressão, passando de aspecto acetinado/fosco nas primeiras etapas até atingir nitidez semelhante à de um espelho no alto brilho.

A rugosidade superficial, medida tanto por rugosímetro quanto por microscopia digital (*Smartzoom 5*), apresentou reduções expressivas. As placas de referência exibiram valores muito elevados ($R_y = 1719,67 \mu\text{m}$), inviabilizando a leitura de R_a e indicando superfície extremamente irregular. Já os tratamentos reduziram progressivamente a rugosidade: de $R_a = 2,99 \mu\text{m}$ (#200) até $R_a = 0,85 \mu\text{m}$ (#3000), com quedas superiores a 95% em relação às amostras sem polimento.

Na dureza superficial, avaliada por esclerometria, o índice esclerométrico (IE) aumentou de 36,60 (referência) para 66,72 no tratamento de alto brilho, correspondendo a um incremento superior a 80%. Pela escala de Mohs, as placas de referência apresentaram alterações frente a apatita (5), feldspato (6), quartzo (7) e topázio (8). Nos tratamentos, observou-se progressiva resistência, eliminando alterações para minerais mais macios, até que, no polimento de alto brilho, apenas o topázio (8) ainda provocou desgaste perceptível.

Nos ensaios químicos, as placas de referência foram classificadas como Classe B, apresentando sensibilidade a todos os agentes. Em contraste, todas as amostras tratadas alcançaram Classe A, com desempenho superior frente a cloreto de amônio, hipoclorito de sódio e hidróxido de potássio.

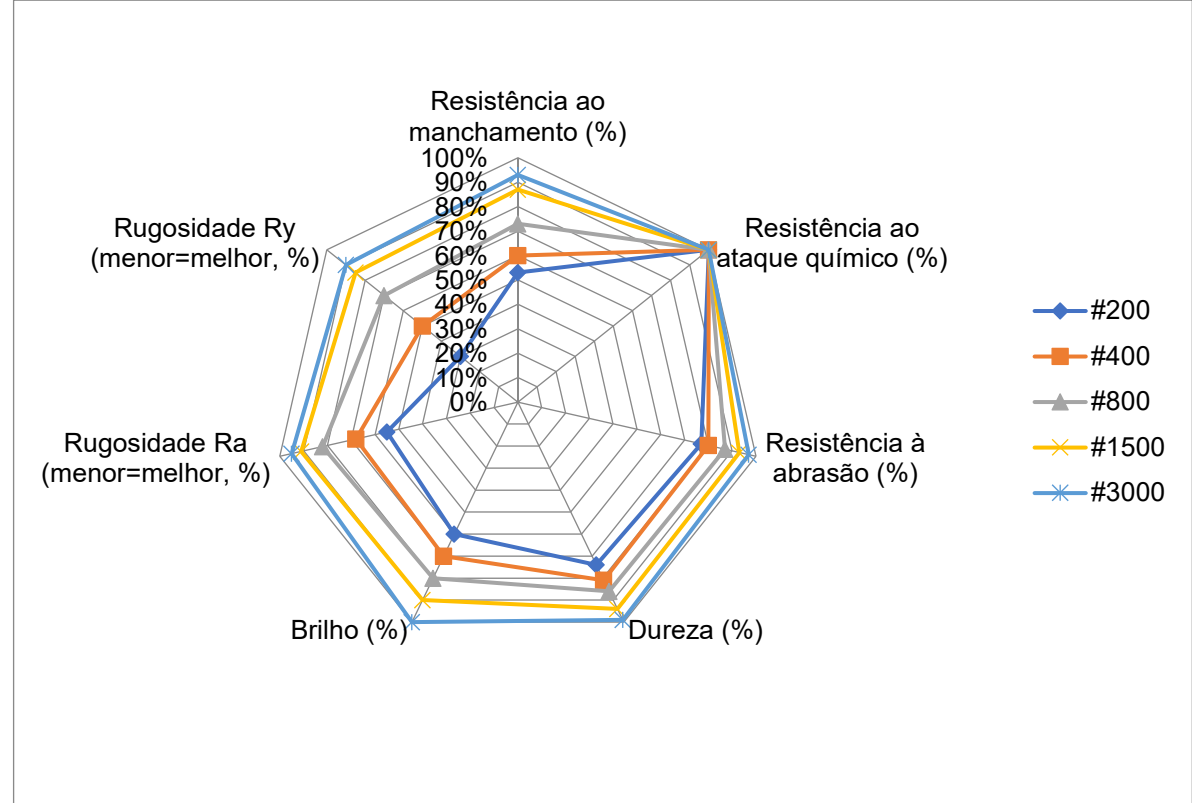
Já nos ensaios de manchamento, as placas de referência foram classificadas como 1 (impossível remoção) para todos os agentes. Os tratamentos, por sua vez, apresentaram melhoria gradual: no acabamento semi-fosco (#200), já foi observada classificação máxima (5) para óxido de cromo verde, com progressão até classificações 4 (limpeza com detergente neutro) para iodo e óleo de oliva nos estágios de alto brilho.

De forma integrada, os resultados demonstram que o fator controlável “granulometria da lixa de polimento abrasivo” exerceu influência estatisticamente significativa sobre todas as variáveis analisadas, promovendo ganhos consistentes em resistência à abrasão, brilho, rugosidade, dureza, resistência química e manchamento.

Para visualizar de maneira consolidada o desempenho dos diferentes tratamentos, foi elaborado um gráfico do tipo radar, representando os valores normalizados (0–100%) das variáveis compressão, abrasão, brilho, rugosidade, dureza e manchamento. Essa abordagem evidencia a evolução progressiva das

propriedades conforme o aumento da granulometria, demonstrando a eficácia do processo de polimento abrasivo como estratégia de melhoria global do desempenho de pisos de concreto.

Gráfico 6 - Desempenho comparativo das propriedades por tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O Gráfico 6 evidencia que o polimento com lixa #200 representa a fase inicial do processo, apresentando os menores índices de desempenho superficial. Nessa etapa, observam-se baixa resistência à abrasão, dureza limitada e maior suscetibilidade ao manchamento, características de uma superfície ainda porosa e pouco selada.

Com o avanço para granulometrias mais finas (#400, #800 e #1500), nota-se um incremento progressivo e consistente em todas as propriedades avaliadas, especialmente em resistência à abrasão, rugosidade inversa (Ra e Ry) e dureza, o que indica maior compactação e fechamento dos poros da matriz cimentícia. Esse comportamento demonstra que o polimento intermediário já proporciona melhora significativa na resistência ao desgaste, ao mesmo tempo em que reduz a aspereza superficial, favorecendo o brilho e a repelência a manchas.

Na etapa final, com a lixa #3000, observa-se o desempenho máximo global, com valores próximos de 100% em praticamente todas as variáveis — resistência ao ataque químico, resistência ao manchar, resistência à abrasão, dureza e brilho. A rugosidade Ra e Ry atingem seus menores níveis, o que graficamente se traduz na área mais expandida e uniforme do radar, indicando superfície altamente densa, lisa e impermeável.

A análise conjunta das propriedades confirma que a redução controlada da rugosidade tem efeito direto sobre o aumento da resistência mecânica e química, além de potencializar o aspecto estético e o brilho reflexivo. Assim, o Gráfico 6 comprova que a lapidação até a granulometria #3000 é o procedimento que proporciona o melhor equilíbrio entre desempenho técnico e acabamento visual, sendo a opção mais indicada para pisos industriais, corporativos e decorativos que exigem alta durabilidade e estabilidade estética.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o crescimento contínuo da aplicação de pisos de concreto em diferentes ambientes, este estudo analisou de forma integrada a influência de tratamentos superficiais progressivos — semi-fosco (#200), fosco (#400), semi-brilho (#800), brilhoso (#1500) e alto brilho (#3000) — sobre as propriedades físicas, mecânicas e químicas de acabamentos em concretos lapidados em áreas comerciais, corporativas e residenciais, com resistência a compressão característica (f_{ck}) de 31,3 MPa para a idade de 28 dias, considerando que de acordo com a normativa americana ACI 302.1R (2015) para classe 1 de pisos de concreto em ambientes comerciais, corporativos e residências com acabamento em concreto lapidado, a norma exige uma resistência mínima de 21 MPa para idade de 28 dias.

Os resultados experimentais demonstraram que o polimento abrasivo proporcionou ganhos consistentes em todas as variáveis avaliadas. Na resistência à abrasão, observou-se redução progressiva do desgaste, atingindo melhora de até 24,86% em relação às amostras de referência. O índice de brilho apresentou crescimento expressivo, partindo de valores nulos nas placas sem tratamento até alcançar 76,86 GU no alto brilho (#3000), comprovando a influência direta do refinamento superficial. A rugosidade superficial foi reduzida de forma acentuada, chegando a 0,85 μm (R_a) e 9,09 μm (R_y) nos estágios finais, confirmando a uniformização da superfície.

Na dureza superficial, verificaram-se aumentos de até 82,30% no índice esclerométrico, enquanto a avaliação pela escala de Mohs mostrou menor suscetibilidade ao risco, com ausência de alterações em minerais mais frágeis nos níveis avançados de polimento. Nos ensaios químicos, todos os tratamentos a partir do nível semi-fosco apresentaram desempenho superior às amostras de referência, sendo classificados como Classe A frente aos agentes analisados. Quanto ao manchamento, a evolução foi igualmente evidente: de classificação 1 (impossível remoção) nas placas sem tratamento para classificação 4–5 (alta limpabilidade) nas etapas de polimento mais refinadas.

Esses achados confirmam que o polimento abrasivo não apenas aprimora a estética, mas, sobretudo, promove ganhos funcionais relevantes em durabilidade e desempenho. O processo demonstrou ser capaz de combinar aumento de

resistência mecânica, melhoria de propriedades superficiais e maior facilidade de manutenção, reforçando sua viabilidade para aplicação em pisos comerciais, corporativos e residenciais.

Ademais, ressalta-se que os resultados alcançados estão condicionados às técnicas, procedimentos e materiais empregados. Assim, recomenda-se a realização de novos estudos envolvendo diferentes combinações de concretos, aditivos e sequências de polimento, a fim de consolidar os parâmetros de desempenho aqui identificados e ampliar sua aplicabilidade em diferentes contextos da construção civil.

5.1 Conclusões

O presente trabalho avaliou a influência de diferentes tratamentos superficiais de polimento abrasivo (#200, #400, #800, #1500 e #3000) sobre as propriedades físicas, mecânicas e químicas de pisos de concreto lapidado, considerando um traço único de resistência característica (f_{ck}) de 31,3 MPa aos 28 dias. Com base nos ensaios realizados, foi possível concluir que:

1. A variável de controle (granulometria da lixa) exerceu influência significativa sobre todas as propriedades avaliadas, comprovando que o polimento abrasivo melhora o desempenho do concreto em comparação às amostras de referência sem tratamento.
2. A resistência à abrasão apresentou reduções expressivas no índice de desgaste já nas primeiras etapas de tratamento, com ganhos máximos de aproximadamente 25% em relação ao concreto de referência, confirmando a eficácia da lapidação para aumentar a durabilidade superficial.
3. O teor de brilho evoluiu de forma contínua, passando de ausência de refletividade nas placas de referência para valores acima de 76 GU no acabamento de alto brilho (#3000), evidenciando a capacidade do polimento em aprimorar a refletividade e a estética do material.
4. A rugosidade superficial diminuiu progressivamente em todas as etapas, tanto em termos de média (R_a) quanto de máxima (R_y), atingindo

reduções superiores a 95% em relação às amostras sem polimento, o que reforça a uniformidade e o refinamento obtidos com o processo.

5. A dureza superficial apresentou aumento significativo em todos os tratamentos, ultrapassando 80% de majoração no estágio final (#3000). Essa melhora refletiu também na maior resistência ao risco na escala de Mohs, limitando alterações apenas ao mineral topázio (8).
6. Nos ensaios de resistência química, todos os tratamentos foram classificados como Classe A, contrastando com a Classe B observada nas amostras sem tratamento.
7. Quanto à resistência ao manchamento, os tratamentos evoluíram de classificação mínima (1 – impossível remoção) nas placas de referência para classificações entre 4 e 5 nos estágios de polimento mais refinados, representando elevada facilidade de limpeza.

De forma integrada, os resultados confirmam que o polimento abrasivo em múltiplas etapas contribui não apenas para o ganho estético, mas sobretudo para o aprimoramento funcional de pisos de concreto, promovendo maior resistência ao desgaste, facilidade de manutenção, durabilidade e qualidade superficial.

5.2 Comentários finais

Salienta-se que os diferentes acabamentos estudados em superfícies de concreto exercem influência direta sobre as propriedades do material cimentício, assim como sobre a durabilidade da camada superior da estrutura do piso. A interação entre as propriedades físicas, mecânicas e químicas demonstrou que a aplicação da lixa de polimento abrasivo exerce efeito significativo na melhoria do desempenho do substrato, refletindo em maior resistência ao desgaste, incremento do teor de brilho, redução da rugosidade, aumento da dureza, além de melhorias na resistência ao ataque químico e ao manchamento.

Ademais, destaca-se o fator relacionado ao aumento da durabilidade em estruturas de pisos, considerando, nesta pesquisa, aplicações em ambientes comerciais, corporativos e residenciais, o que evidencia que o tipo de acabamento e a qualidade na execução possuem relação direta não apenas com o desempenho estético, mas também com a ampliação da vida útil do piso.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

No decorrer desta pesquisa, surgiram novos questionamentos e pontos a serem observados. Considerando que, neste estudo, foi analisada a variação nas etapas de polimento abrasivo, seguindo-se o processo com granulometrias adequadas, entende-se que novas investigações no âmbito dos acabamentos em superfícies de concreto podem ser realizadas, tais como:

1. Avaliar a influência de outros tipos de tratamentos em superfície de concreto frente às propriedades físicas, mecânicas e químicas, de modo a compreender se os ganhos obtidos são igualmente satisfatórios, assim como os verificados nesta pesquisa para os diferentes acabamentos em concreto lapidado;
2. Verificar o desempenho da utilização exclusiva de tratamento químico, envolvendo a aplicação de endurecedor de superfície, primer e selador, de forma a identificar se os ganhos nas propriedades da camada superior do concreto são significativos;
3. Avaliar a influência dos tratamentos aplicados em traços de concreto mais pobres, frente a fenômenos como desgaste por abrasão, manchamento e ataque químico, uma vez que tais fatores estão diretamente relacionados à durabilidade das estruturas de piso.

REFERÊNCIAS

ABID, S. R.; HILO, A. N.; DAEK, Y. H. Experimental tests on the underwater abrasion of Engineered Cementitious Composites. **Construction and Building Materials**, v. 171, n. 11, p. 779-792, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818306706>. Acesso em: 28 mar. 2024.

ABITANTE, A. L. R. **Estimativa da vida útil de placas cerâmicas esmaltadas solicitadas por abrasão através de ensaios acelerados**. 2004. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51**: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 4287**: Especificação geométrica de produtos (GPS) — Rugosidade: perfil — Método de avaliação e termos de parâmetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4288**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5591979/mod_resource/content/1/10%20NBR%206118.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 2015b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9781:** Blocos de concreto para pavimentação — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10545-13:** Placas cerâmicas — Parte 13: Determinação da resistência química. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13818:** Placas cerâmicas para revestimento — Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16596:** Sustentabilidade em edificações — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10545-14:** Placas cerâmicas — Parte 14: Determinação da resistência ao manchamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15463:** Placas cerâmicas para revestimento — Determinação do coeficiente de atrito. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ACI COMMITTEE 201. **Guide to Durable Concrete.** 1. ed. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2016.

ACI COMMITTEE 302. **ACI 302.1R-15 – Guide for Concrete Floor and Slab Construction.** ACI Committee 302, Michigan/USA, 2015. Disponível em: https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/302.1R-15_Chapter5.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

ACOR INDÚSTRIA DE TINTAS LTDA. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos:** Endurecedor Superfície. Versão 1. Bento Gonçalves, RS, 04 jan. 2021.

ALMEIDA, L. C. **Concreto.** Campinas: [s.n.], 2002.

AMINI, K.; CEYLAN, H.; TAYLOR, P. C. Effect of curing regimes on hardened performance of concrete containing slag cement. **Construction and Building Materials**, v. 211, n. 1, p. 771-778, 2019.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto.** Ilha Solteira: [s.n.], 2002.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C650-04:** Standard guide for cleaning of glazed ceramic tile. West Conshohocken: ASTM International, 2004.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1378-97(2004)**: Standard test method for determination of resistance to staining. West Conshohocken: ASTM International, 2004.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1378-20**: Standard Test Method for Determination of Resistance to Staining. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D523-14**: Standard Test Method for Specular Gloss. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C779:19**: Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces. West Conshohocken: ASTM International, 2019.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1155M-23**: Standard Test Method for Determining FF Floor Flatness and FL Floor Levelness Numbers. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023.

AYGORMEZ, Y.; CANPOLAT, O.; AL-MASHHADANI, M. Assessment of geopolymer composites durability at one year age. **Journal of Building Engineering**, v. 32, 2020.

BASTOS, G. E. R.; PINHEIRO, É. C. N. M. Critérios para seleção de técnicas no tratamento de piso de concreto lapidado: um estudo de caso em edificação comercial atacadista na cidade de Manaus - AM. **Revista Foco**, v. 17, n. 10, p. 01-18, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n10-139.

BATTAGIN, A. F.; RODRIGUES, H. Recomendações sobre o uso dos distintos tipos de Cimento Portland nas diferentes aplicações. **Concreto e Construções**, São Paulo, v. 1, n. 73, p. 30–38, 2014.

BEIXING L, GUOJU K, MINGKAI Z. Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, pp. 3849- 3853, 2011.

BERNARDO, D. **LPE Engenharia – Medição de planicidade e nivelamento**: o “dedo duro” da qualidade do piso. 2016. Disponível em: <http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/medicao-de-planicidade-e-de-nivelamento-o-dedoduro-da-qualidade-do-piso/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

BIRLEANU, C. *et al.* Surface modifications for orthopedic titanium alloys by electrochemical techniques. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 724, p. 012017, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/724/1/012017>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BISSONNETTE, B.; COURARD, L.; GARBACZ, A. **Concrete Surface Engineering** (Modern Concrete Technology). 1. ed. [S.l.]: CRC Press, 2016.

BHOWMIK, S. K. The current status of orogenesis in the Central Indian Tectonic Zone: A view from its southern margin. **Geological Journal**, [S.l.], no prelo. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/gj.3456>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BRANDÃO, A. M. D. S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 3900-0:2010** – Methods of test for paints – Part 0: Index of test methods. London: BSI, 2010.

CAI, S.; LIU, W.; SONG, J.; DENG, K.; TANG, Y. Research and progress on truing and sharpening process of diamond abrasive grinding tools. **Applied Sciences**, v. 12, n. 9, p. 4683, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12094683>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; JUCÁ, T. Estudo de casos de descolamento de revestimento de argamassa aplicado sobre estrutura de concreto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., 2005, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: [s.n.], 2005.

CARVALHO JÚNIOR, A. N. de. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados**: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2005.

CASTRO, A. L. de; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional. **Cerâmica**, v. 57, p. 10–21, 2011.

CEN - COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1504-2:2004**: Produtos e sistemas para a proteção e reparo de estruturas de concreto — Definições, requisitos, controle de qualidade e avaliação da conformidade — Parte 2: Sistemas de proteção de superfície para concreto. Bruxelas: CEN, 2004.

ÇAVDAR, A.; YETGIN, S. Investigation of abrasion resistance of cement mortar with different pozzolanic compositions and subjected to sulfated medium. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 24, n.4, p. 461-470, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061809003535>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CHINA. **General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. JJG 696-2015** – Verification regulation of specular gloss meters and gloss plates. Beijing: AQSIQ, 2015.

CHODOUNSKY, M. A., VIECILI, F. A. **Pisos industriais de concreto**: aspectos teóricos e construtivos. São Paulo: Reggenza, 2007.

COELHO, A.; PEREIRA, J. C. G.; AMARAL, P. M.; ROSA, L. G. Gloss and modelling studies of stone polishing using linear polishing machines with rotating heads. **Applied Sciences**, v. 12, n. 15, p. 7521, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12157521>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CONCRETE NETWORK. **Polished Concrete Design Ideas – Behind-the-Scenes Info and Photos of Outrageous Concrete Creations**. 2024. Disponível em: <https://www.concretenetwork.com/concrete/polishing/design-ideas/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 67530:1982-01** – Reflectometer as a means for gloss assessment of plane surfaces of paint coatings and plastics = Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und Kunststoff-Oberflächen. Berlin: DIN, 1982. 5 p.

DISNER, C. P.; MARQUES, C. R. M.; BALDO, V.; MELO, A. R. Determinação da assertividade de agentes manchantes utilizados na análise da porosidade superficial aparente em porcelanatos polidos. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 211, mar. 2021. ISSN 2176-7270.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 090: Patologias do concreto – Especificações de serviço**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Resistência ao manchamento de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial: a revista do técnico cerâmico brasileiro**, São Paulo, v. 13, n. 5, p. 39-45, set./out. 2008.

DONG, Q. *et al.* Design and evaluation of an innovative composite silicate-based surface treatment agent of concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, e02207, 2023. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02207.

DUARTE, G.; BRAVO, M.; BRITO, J. de; NOBRE, J. Mechanical performance of shotcrete produced with recycled coarse aggregates from concrete. **Construction and Building Materials**, v. 210, n. 1, p. 696-708, 2019.

EBNESAJJAD, S.; LANDROCK, A. **Adhesives Technology Handbook**. 3rd ed. Elsevier, 2015. DOI: 10.1016/B978-0-323-35595-7.00005-X.

FARNY, J. A. **Concrete floors on ground**. 3. ed. Skokie: Portland Cement Association, 2001.

FONSECA, N. M. S. **Betões estruturais com a incorporação de agregados grossos reciclados de betão**: influência das condições de cura no desempenho mecânico. 2009. 248 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

FRANZONI, E.; PIGINO, B.; PISTOLESI, C. Ethyl silicate for surface protection of concrete: performance in comparison with other inorganic surface treatments. **Cement & Concrete Composites**, v. 44, p. 69-76, 2013. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2013.05.008.

FROTTÉ, C. *et al.* Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matêrial**, Rio de Janeiro, v. 22, 2017.

GAEDICKE, C.; MARINES, A.; MIANKODILA, F. Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 68, n. 1, p. 701-708, 2014.

GARBACZ, A.; COURARD, L.; KOSTANA, K. Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems. **Materials Characterization**, v. 56, n. 4-5, p. 281-289, 2006.

GONÇALVES, R. A.; DE MELO, J. D. B.; AGUIAR, K. M.; ROSA, F. G. Equivalent wear resistance: a new way to access abrasive wear resistance of ceramic tiles. In: QUALICER, 2002, Castellón, Espanha. **Anais...** Castellón: [s.n.], 2002.

HARRIS, B. Polimento de concreto hoje. **ConcreteNetwork.com**, 2020. Disponível em: <https://www.concretenetwork.com>. Acesso em: 12 mar. 2025.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle de Concreto**. São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.

HOLER. **Master Catalogue V1 2021**. Nelson, NZ: Holer Diamond Tools, 2021.

HUSQVARNA. **GM3000™ Technical Data Sheet**. Olathe, KS: Husqvarna Construction Products, 2021.

IBRAHIM, H. A.; RAZAK, H. A.; ABUTAHA, F. Strength and abrasion resistance of palm oil clinker pervious concrete under different curing methods. **Construction and Building Materials**, v. 147, n. 1, p. 576-587, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2813:2014** – Paints and varnishes — Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°. 4. ed. Genève: ISO, 2014. 23 p.

JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. **JIS Z 8741:1997** – Specular glossiness measurement. 1. ed. em inglês, 1998. Tokyo: JSA, 1997.

KLEIN, C. **Minerals and rocks**. 3. ed. New York: Wiley, 2015. Disponível em: <https://www.perlego.com/book/3866189/minerals-and-rocks-exercises-in-crystal-and-mineral-chemistry-crystallography-xray-powder-diffraction-mineral-and-rock-identification-and-ore-mineralogy-pdf>. Acesso em: 28 mar. 2025.

KUMAR, R. Influence of Recycled Coarse Aggregate Derived From Construction and Demolition Waste (CDW) on Abrasion Resistance of Pavement Concrete. **Construction and Building Materials**, v. 124, n. 11, p. 248-255, 2017. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181730449X>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LIMA, F. B. **Produção e controle de qualidade do concreto**. Maceió, AL: Edufal, 2003.

LIMA, E.; SILVA, L. Fundamentos para a produção e controle de concreto de alto desempenho em laboratório. **REGRASP - Revista para Graduandos / IFSP-Câmpus São Paulo**, v. 2, n. 1, p. 18-41, 2017. Disponível em: <https://regrasp.spo.ifsp.edu.br/index.php/regrasp/article/view/32>. Acesso em: 25 mar. 2025.

LIU, Y.-W.; HSU, T.-H. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 10, p. 1814-1820, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884606001682>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LOPRENCIPE, G.; CANTISANI, G. Evaluation methods for improving surface geometry of concrete floors: A case study. **Case Studies in Structural Engineering**, p. 14-25, 2015.

LUCCA, D. A.; KLOPFSTEIN, M. J.; RIEMER, O. Diamond tools free. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 142, n. 11, p. 110817, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.4048194>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LŪSIS, V. Technical and economical efficiency of the concrete floor surface treatment by polishing. **Scientific Journal of Riga Technical University**, v. 12, 2011.

LYUKSHIN, V. S. *et al.* Study of the working face of a flexible grinding tool. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 734, p. 012068, 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.

MALHOTRA, V. M.; CARETTE, G. G. In situ testing for concrete strength. In: **Progress in Concrete Technology**. Ed. V. M. Malhotra, Quebec, Canada, 1980. p. 749-796.

MARTÍN-PÉREZ, B.; PANTAZOPOULOU, S. J.; THOMAS, M. D. A. Numerical solution of mass transport equations in concrete structures. **Computers & Structures**, v. 79, n. 13, p. 1251–1264, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(01\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(01)00018-9). Acesso em: 12 mar. 2025.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; HELENE, P. Tratamento de superfície com silicato de sódio para concreto: penetração de cloretos e absorção de água. **Revista ALCONPAT**, v. 2, n. 3, p. 157-169, set./dez. 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639589003>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MENEGON, J. O. *et al.* Análise da influência do tempo de exposição e temperatura no ataque químico de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 28, n. 1, e222801, 2023. DOI: 10.4322/cerind.2024.031.

- MOHEBI, R.; BEHFARNIA, K.; SHOJAEI, M. Abrasion resistance of alkali-activated slag concrete designed by Taguchi method. **Construction and Building Materials**, v. 98, n. 1, p. 792-798, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815303457>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- MORENO RAMÓN, H.; IBÁÑEZ ASENSIO, S. **La escala de Mohs: dureza de los minerales**. Valência: Universitat Politècnica de València, 2008.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.
- NEVILLE, A. **Concrete: Neville's insights and issues**. London: Thomas Telford, 2006.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- NEWMAN, J.; CHOO, B. S. **Advanced concrete technology: constituent materials**. Elsevier, 2003.
- NICOLINI, A.; RODRIGUES, A. V.; BRAGANÇA, S. R.; JACOBI, M. M. Evaluation of latex polymeric mortar properties for laying bricks in non-structural masonry. **Journal of Building Engineering**, v. 59, 105080, 1 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105080>.
- NUACKLONG, P.; SATA, V.; CHINDAPRASIRT, P. Influence of recycled aggregate on fly ash geopolymers concrete properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. 1, p. 2300-2307, 2016.
- OLIVEIRA, P. S. F.; TULA, L. Tratamento anti-pó para pisos de concreto com endurecedores de superfície químicos à base de flúor-silicatos metálicos. **Revista Pisos Industriais**, 2006. Disponível em: https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2020/12/2006-Artigo-Endurecedores_Revista-PI-5.pdf. Acesso em: 28 mar. 2024.
- PACHECO-TORGAL, F.; CASTRO-GOMES, J. P.; LOPES, S. M. R. Experimental study of concrete durability parameters produced with different types of aggregates. In: **IAHS WORLD CONGRESS ON HOUSING**, 30., 2002, Coimbra. Housing Construction – An Interdisciplinary Task: proceedings. Eds.: Oktay Ural, Vitor Abrantes, António Tadeu. Coimbra: [s.n.], 2002.
- PADILHA, F.; SCHIMELFENIG, B.; SILVA, C. V. da. Análise da utilização de endurecedores na dureza superficial de concretos para pisos. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v2i3.704>
- PAN, X.; SHI, Z.; SHI, C.; LING, T. C. A review on concrete surface treatment. Part I: Types and mechanisms. **Construction and Building Materials**, v. 132, p. 578-590, fev. 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.025.

PELISSER, F. *et al.* Compressive strength, modulus of elasticity and hardness of geopolimeric cement synthetized from non-calcined natural kaolin. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 1-9, 2021.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 11. ed. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1987.

PICCOLI, G. M.; SILVA, P. L. F.; TOMASELLI, C. A. Pisos de concreto de alto desempenho. **REIBRAC-IBRACON**, São Paulo, p. 39, 1997.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PYO, S.; ABATE, S. Y.; KIM, H.-K. Abrasion resistance of ultra-high performance concrete incorporating. **Construction and Building Materials**, v. 165, n. 1, p. 11-16, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818300369>. Acesso em: 28 mar. 2024.

RAJCZYK, M.; RAJCZYK, P.; BEDNARCZYK, K. Flexible tools with diamond blades for polishing granite surfaces. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 603, n. 4, 2019.

RAO, K.; PRANAV, D.; ANUSHA, P. Stabilization of expansive soil with rice husk ash, lime and gypsum - an experimental study. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v. 3, n. 11, p. 8076-8085, 2011.

REVUELTA, M. B. **Construction Materials: Geology, Production and Applications**. Springer, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-65207-4.

Richardson, A. D. **Wetlands**. Mankato, MN: Bridgestone, 2001.

RIDTIRUD, C.; CHINDAPRASIRT, P. Properties of lightweight aerated geopolymer synthesis from high-calcium fly ash and aluminium powder. **International Journal GEOMATE**, v. 16, p. 67–75, 2019. DOI: 10.21660/2019.57.4651.

SADOWSKI, Ł.; STEFANIUK, D. The effect of surface treatment on the microstructure of the skin of concrete. **Applied Surface Science**, v. 427, p. 934-941, 1 jan. 2018. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.09.210.

SANI, A. S. A.; SOUSA, F. J. P.; HAMEDON, Z.; AZHARI, A. Contact pressure distribution during the polishing process of ceramic tiles: a laboratory investigation. In: **INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS – APCOMS (IMEC-APCOMS 2015)**, 2015. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 114, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012008>.

SCHUMANN, W. **Guia dos Minerais**. Barueri, São Paulo: DISAL, 2008. 127 p.

SHARMA, A.; DUBEY, D. K. Effect of porosity on shock propagation behaviour of single crystal aluminium: a molecular dynamics investigation. **Elsevier**, v. 177, p. 104535, fev. 2023.

SHEN, J. *et al.* Concrete damage analysis based on higher-order beam theories using fracture energy regularization. **Mechanics of Advanced Materials and Structures**, v. 30, n. 22, p. 4582–4596, 2022.

SHI, C. *et al.* New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 7, p. 750–763, 2011.

SILVA, C. V. da. **Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos**. 2011. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2011.

SILVA, C. V. *et al.* Experimental evidence that micro and macrostructural surface properties markedly influence on abrasion resistance of concretes. **WEAR**, v. 422-423, p. 191-200, 2019.

SIGALAS, C.; ECONOMOU, V. P. Revisiting the concept of competitive advantage: problems and fallacies arising from its conceptualization. **Journal Management**, v. 6, n. 1, p. 61-80, 2013.

SRIKANTHA, A. **Optimization of a floor grinding machine for uniform grinding pattern**. Linköping University, 2023.

SOLTANI, H. M.; TAYEBI, M. Determination of wear parameters and mechanisms of diamond/copper tools in marble stones cutting. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, 2020.

STEWART, J. G.; NORVELL, J. K.; JUENGER, M. C. G.; FOWLER, D. W. Influence of microfine aggregate characteristics on concrete performance. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 19, n. 11, 2007.

SULLIVAN, C. **Concrete Polishing Today**. Five trends are shaping the industry. Concrete Network.com. 2024.

THISSEN, P.; BOGNER, A.; DEHN, F. Surface treatments on concrete: an overview on organic, inorganic and nano-based coatings and an outlook about surface modification by rare-earth oxides. **RSC Sustainability**, v. 2, p. 2092-2124, 2024. DOI: 10.1039/d3su00482a.

THOMPSON, J. L.; SILSBEE, M. R.; GILL, P. M.; SCHEETZ, B. E. Characterization of silicate sealers on concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 10, p. 1561–1567, out. 1997.

TOSHIRO, K. D.; KASAI, T.; TONSHOFF, H. K. **Lapping and polishing**. Handbook of Ceramic Grinding and Polishing, 2003.

TUNC, E. T.; ALYAMAC, K. E. A preliminary estimation method of Los Angeles abrasion value of concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 222, n. 1, p. 437-446, 2019.

VIECILI, F. A. **Influência da utilização dos endurecedores superficiais cimentícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto**. LUME UFRGS, Porto Alegre, 2004.

WENDLAND, M. H.; POLESELLO, E. Análise da influência de macrofibras no desempenho mecânico do concreto para piso industrial. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 5, p. 36849-36869, maio 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n5-274.

WITZKE, F. B.; CORREIA, S. L.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A. de. Abrasão superficial de concretos contendo cinza volante em substituição parcial ao cimento Portland. **Revista Técnico-científica do CREA-PR**, edição especial, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2019.

WONG, S. L. *et al.* Microplastics and nanoplastics in global food webs: a bibliometric analysis (2009–2019). **Marine Pollution Bulletin**, v. 158, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111432>. Acesso em: 29 mar. 2024.

XEREZ NETO, J. de. **Cinco projetos de pavimentos rígidos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

XIE, Y.; BHUSHAN, B. Effects of particle size, polishing pad and contact pressure in free abrasive polishing. **Wear**, v. 200, p. 281–295, 1996. DOI: 10.1016/S0043-1648(96)07275-4.

XIONG, B.-B.; GAO, L.; CHEN, J.-G.; LU, X.-C.; TIAN, B.; CHEN, B.-F.; LI, Y.-B. Action mechanism for improving water impermeability of concrete surface based on deep penetrating sealer. **Construction and Building Materials**, v. 322, 126424, 7 mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126424>.

YAN, B.; DUAN, P.; REN, D. Mechanical strength, surface abrasion resistance and microstructure of fly ash-metakaolin-sepiolite geopolymer composites. **Ceramics International**, v. 43, n. 1, p. 1052-1060, 2017.

YANG, J. *et al.* Properties of concrete containing strengthened crushed brick aggregate by pozzolan slurry. **Construction and Building Materials**, v. 247, p. 118612, 30 jun. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820306176>. Acesso em: 28 mar. 2024.

YAOWARAT, T. *et al.* Improvement of flexural strength of concrete pavements using natural rubber latex. **Construction and Building Materials**, v. 282, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122704.

ZHONG, Z. W. Advanced polishing, grinding and finishing processes for various manufacturing applications: a review. **Materials and Manufacturing Processes**, 2020. DOI: 10.1080/10426914.2020.1772481.

ZHOU, Z. X. *et al.* Development and key technology of grinding. **China Mechanical Engineering**, v. 11, p. 195-198, 2000.

ANEXOS

ANEXO A - TCON/193-24



TCON/193-24
Estância Velha, 22 de novembro de 2024.

Cliente: 6899 - ITT

Ref.: Carta de traço

Prezados Senhores

Conforme solicitação, apresentamos a dosagem em massa, do concreto C30 B1 140+-20 mm.

Material	C30 B1 140+-20 mm
Cimento (kg)	226
Adição mineral (kg)	88
Areia natural média (kg)	495
Areia de britagem (kg)	361
Brita 0 – 12,5 mm (kg)	209
Brita 1 – 19,0 mm (kg)	835
Água (kg)	189
Aditivo (kg)	3,14
Abatimento (mm)	(140+-20) mm

Cimento: CP II-F-40 – Cia. de Cimento Itambé
Adição mineral: Cimento Gaúcho
Areia natural média: Rio Jacuí
Areia de britagem: Pedreira Incopel
Brita 1: Pedreira Incopel
Aditivo: Sika – 421 RM

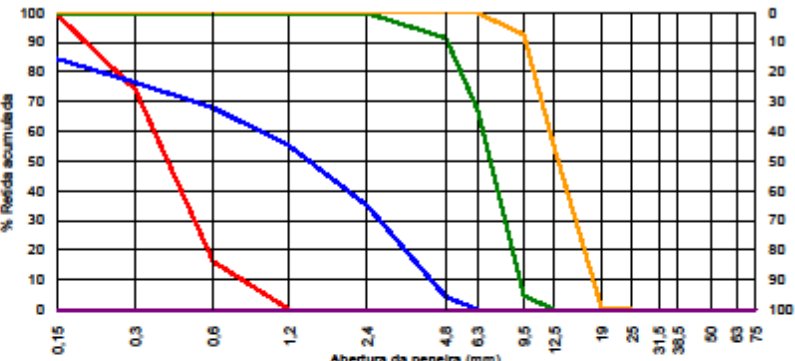
Cordialmente,

Jonathan Kebhard
Laboratório de concreto

ANEXO B – Análise de agregados - 014-2024

		RELATÓRIO DE ENSAIO ANÁLISE DE AGREGADOS								
Peneira (mm)	% Retida					% Retida acumulada				
	A.nat.méd 1.8	A. brtl.	Brita 0	Brita 1		A.nat.méd 1.8	A. brtl.	Brita 0	Brita 1	
75										
63										
50										
37,5										
31,5										
25										
19				0					0	
12,5				54					54	
9,5			5	38				5	93	
6,3			63	7				67	100	
4,8		4	24				4	91	100	
2,4		31	8				35	100	100	
1,2		20					55	100	100	
0,6	16	13				16	68	100	100	
0,3	58	9				74	76	100	100	
0,15	25	8				99	84	100	100	
Fundo		16	0	0		100	100	100	100	

Módulo de finura	1,89	3,23	5,95	6,92
Dimensão máxima característica (mm)	1,2	4,8	9,5	19,0
Pulverulento (< 0,075 mm) (%)		8,2	0,3	0,2
Material fino (< 0,30 mm) (%)	26	24	0	0
Massa específica (g/cm ³)	2,63	2,88	2,88	2,88
Massa unitária (kg/m ³)				
Absorção (%)				



Obs.:

Procedências das amostras		Dados do ensaio	
A.nat.méd	Minérios Ferreira	Central	Estância Velha
A. brtl.	Incopel	Data	08/11/2024
Brita 0	Incopel	Número	014-24
Brita 1	Incopel	Lab.	Daniela Dias/ Jonathan Kebhard

[illegible][illegible]

ANEXO D – Determinação de resistência à abrasão (Anexo C da NBR 9781:2013)

ABNT NBR 9781:2013

Anexo C (normativo)

Determinação de resistência à abrasão

C.1 Aparelhagem

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é a descrita em C.1.1 a C.1.3.

C.1.1 Dispositivo de abrasão

O dispositivo de abrasão consiste em disco rotativo de aço com diâmetro de 200 mm e espessura de 70 mm, um funil de escoamento para alimentação de material abrasivo, um suporte para o corpo de prova, um contrapeso e uma caixa de armazenamento de material abrasivo usado, conforme indicado na Figura C.1.

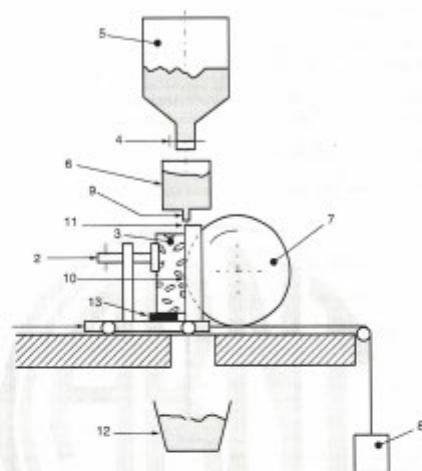
C.1.2 Instrumento de medição

Deve ser utilizado paquímetro com resolução de 0,1 mm.

C.1.3 Material abrasivo

O material abrasivo deve ser composto de óxido de alumínio fundido branco grana F80. O material abrasivo não pode ser reaproveitado após o ensaio.

ABNT NBR 9781:2013

**Legenda**

- 1 Dispositivo móvel para empurrar a amostra
- 2 Dispositivo para fixação
- 3 Amostra
- 4 Válvula de controle
- 5 Reservatório de material abrasivo
- 6 Guia para fluxo de material abrasivo
- 7 Cilindro metálico para abrasão
- 8 Contrapeso
- 9 Saída do material abrasivo
- 10 Moldura
- 11 Fluxo de material abrasivo
- 12 Reservatório para coleta do material
- 13 Apoio para centralizar a amostra

Figura C.1 — Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão

Exemplar para uso exclusivo - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Departamento Nacional - 33.564.543/0001-90

© ABNT 2013 - Todos os direitos reservados

17

Impresso por: ES - CENTRO DE EDUCACAO PROFISSIONAL HELCIO REZENDE DIAS Requisitado por: Alessandro Mazzoli Coutinho

C.2 Calibração e padrão

A pressão do corpo de prova contra o disco de aço é determinada pela calibração do equipamento contra um padrão de calibração (vidro float ou comum).

A pressão é ajustada variando-se o contrapeso, de maneira que, após 75 rotações em (60 ± 3) s, seja produzida uma cavidade de $(17,0 \pm 0,5)$ mm de comprimento.

O padrão de calibração deve ter dimensões mínimas de 100 mm x 100 mm x 6 mm.

O equipamento deve ser calibrado após 400 ensaios ou a cada 2 meses, ou sempre que o disco rotativo for substituído.

C.3 Preparação dos corpos de prova

Utilizar três peças de concreto para cada lote, com dimensões mínimas de 100 mm x 90 mm.

Lavar os corpos de prova em água corrente e enxugar com um pano úmido, antes do ensaio.

C.4 Procedimento

Posicionar o corpo de prova no equipamento, centralizando-o em relação ao centro do disco rotativo.

Abastecer o reservatório de material abrasivo, de modo que o fluxo seja constante com $(100 \pm 0,05)$ g a cada (100 ± 5) rotações do disco.

Abrir a válvula de controle para o material abrasivo e simultaneamente ligar o motor configurado em 75 revoluções em (60 ± 3) s. Observar se o fluxo de material abrasivo está uniforme durante o ensaio, coincidindo com a finalização das 75 revoluções.

Retirar o corpo de prova do equipamento e medir o comprimento da cavidade, conforme a Figura C.2.

Realizar o ensaio em cada corpo de prova em apenas um ponto.

C.5 Dimensão da cavidade

Colocar o corpo de prova embaixo de uma lente de aumento, de preferência equipada com iluminação, para facilitar a medição da cavidade.

Desenhar uma linha (AB) no centro da cavidade perpendicular ao seu eixo.

Utilizar uma régua metálica e um lápis com diâmetro de 0,9 mm e dureza 6H ou 7H para desenhar os limites longitudinais (L1 e L2) da cavidade de acordo com a Figura C.2.

Posicionar o paquímetro nos pontos A e B até as bordas dos limites longitudinais (L1 e L2) da cavidade e registrar a medida com precisão de 0,1 mm, conforme Figura C.2.

Para a calibração, repetir a medida nos pontos (C e D), de modo a obter três leituras.

ABNT NBR 9781:2013

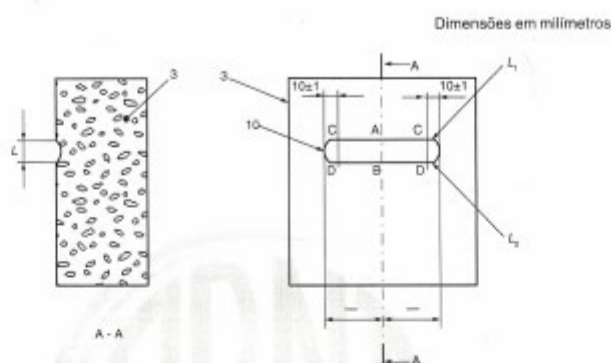


Figura C.2 — Medição da cavidade na amostra ensaiada

C.6 Resultados

O resultado é a dimensão corrigida por um fator de calibração. O fator de calibração é a diferença aritmética entre 17,0 mm e o valor obtido na última calibração do dispositivo. O resultado final deve ser apresentado com resolução de 0,5 mm.

Por exemplo, com um valor de calibração igual a 16,5 mm e dimensão da cavidade no corpo de prova de 19,5 mm, o resultado será $19,5 + (17,0 - 16,6) = 19,9$ mm e o resultado final = 20,0 mm.

C.7 Relatório de ensaio

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- identificação do lote;
- idade do lote no início do ensaio;
- valores individuais da cavidade, expressos em milímetros (mm);
- valor médio da cavidade, expresso em milímetros (mm).