

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Mariana Cepeda Fernandes

**INFLUÊNCIA DA RETIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE
CORPOS-DE-PROVA NA VARIABILIDADE DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NO CONTROLE
TECNOLÓGICO DO CONCRETO**

Porto Alegre
dezembro 2011

MARIANA CEPEDA FERNANDES

**INFLUÊNCIA DA RETIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE
CORPO-DE-PROVA NA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO NO CONTROLE TECNOLÓGICO DO
CONCRETO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
dezembro 2011

MARIANA CEPEDA FERNANDES

**INFLUÊNCIA DE SUPERFÍCIES DE CORPOS-DE-PROVA NA
VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NO
CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de dezembro de 2011

Prof. Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. MSc. Abrahão Bernardo Rohden (UFRGS)
MSc. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng Dra. Francielli Tiecher
Dra. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Renato e Maria da Graça, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Prof. Angela Masuero, orientadora deste trabalho pela ajuda, atenção e orientação durante a realização do trabalho.

Agradeço a Prof Carin Maria Schmitt que foi muito importante para a conclusão e aperfeiçoamento desse trabalho.

Agradeço aos laboratoristas do NORIE, Airton e Gilmar, devido ao auxílio prestado durante a realização da parte experimental, em laboratório.

Agradeço também ao meu amigo Rafael, que me auxiliou diversas vezes no processo de elaboração deste trabalho, sempre muito disposto a me ajudar.

Agradeço aos meus pais, Renato e Maria, e a minha irmã, Natalia, que sempre me apoiaram durante toda a universidade me dando apoio e estímulo para superar os desafios, por mais difícil que fossem e, em especial, pela enorme paciência e atenção que tiveram comigo durante o período de realização deste trabalho de conclusão.

Agradeço a Dirlene, pela grande ajuda que me foi dada neste período, além do seu apoio e interesse, sem esquecer nossas inúmeras conversas sempre muito encorajadoras.

Agradeço aos colegas, amigos e parceiros Bruna, Cyane, Paula, Benhur, Jairo e Mariano que sempre me auxiliaram e me acompanharam na minha caminhada ao longo de todo o curso de Engenharia.

O segredo é não correr atrás das borboletas...
É cuidar do jardim para que elas venham até você.

Mario Quintana

RESUMO

Em diversas tipologias de edificações o concreto é o material de maior responsabilidade estrutural o que obriga uma atenção redobrada nos procedimentos de controle e ensaio. Contudo, tem sido observada nas obras de construção uma diferença muito grande de resistência à compressão entre dois corpos-de-prova irmãos, isto é, provenientes da mesma concretagem. O controle da resistência à compressão do concreto é realizado por meio de ensaios em corpos-de-prova, pois a partir dos resultados desses ensaios, estima-se o valor da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), que é o parâmetro especificado nos projetos estruturais das edificações. Logo, é de extrema importância garantir a confiabilidade dos valores obtidos nestes ensaios. Vários componentes deste ensaio, isolados ou combinados com outros fatores, podem estar ocasionando essa variabilidade, dentre estes se destaca a retificação. Este trabalho tem como objetivo a verificação da influência da retificação do topo dos corpos-de-prova nesta variabilidade de resistência à compressão, que não ocorria anteriormente. Isto foi feito a partir de ensaios de rompimento de corpos-de-prova em laboratório, para os quais foram variados o número de camadas de retificação, uma e duas, duas retificadoras, e também três valores de resistência, mais usuais no mercado da construção. Analisando, dessa forma, a influência da maneira que é feita a retificação de superfícies de corpos-de-prova na variabilidade de resistência que o concreto vem apresentando.

Palavras-chave: Variabilidade. Resistência à Compressão. Concreto. Retificação do CP.
Ensaio em Laboratório

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa	17
Figura 2 – Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto	20
Figura 3 – Resistência à compressão em função da relação água/cimento do concreto	23
Figura 4 – Relação entre a resistência à compressão de cilindros e o volume de agregado, fixando-se a relação água/cimento constante igual a 0,5	25
Figura 5 – Falha na moldagem vinculada ao adensamento incorreto (a) corpo-de-prova seccionado ao meio (b) corpo-de-prova antes de ser rompido	31
Figura 6 – Aspecto geral da influência da relação altura/diâmetro sobre a resistência aparente de um cilindro	33
Figura 7 – Deformação (a) atrito entre os pratos (b) no ensaio à compressão simples de corpo-de-prova cilíndrico	34
Figura 8 – Modelo de retificadora vertical para CP de concreto	37
Figura 9 – Modelo de retificadora horizontal	38
Figura 10 – Modelo de retificadora em que ocorre a rotação do CP enquanto sua superfície é desbastada por uma serra circular	38
Figura 11 – Diagrama referente ao plano experimental	42
Figura 12 – Vista geral dos materiais (areia, brita e cimento) separados e pesados para confecção dos três traços de concreto: (a) detalhe dos agregados, (b) detalhe do cimento	43
Figura 13 – Betoneira utilizada para a confecção do concreto utilizado no experimento	45
Figura 14 – Realização do ensaio de abatimento de cone, vibração e, após regularização dos topos, corpos-de-prova moldados	45
Figura 15 – Corpos-de-prova desformados e levados para ficarem imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio	46
Figura 16 – Paquímetro digital utilizado para medir as alturas e diâmetros médios dos CP	46
Figura 17 – Retífica vertical utilizada	47
Figura 18 – Retífica horizontal utilizada: (a) vista geral, (b) vista lateral e (c) vista lateral, sem proteção, com visualização do disco dimantado	48
Figura 19 – Imagem do topo do CP regularizado com a retífica vertical (a) e horizontal (b)	48
Figura 20 – Influência do processo de retificação na resistência à compressão aos 28 dias de concreto com resistência de dosagem de 23 MPa	53
Figura 21 – Influência do processo de retificação na resistência à compressão aos 28 dias de concreto com resistência de dosagem de 37 MPa	53
Figura 22 – Influência do processo de retificação na resistência à compressão aos 28 dias de concreto com resistência de dosagem de 49,5 MPa	54

Figura 23 – Comparação entre as resistências médias e desvios padrão avaliando-se as diferentes combinações entre as duas retíficas e os três traços de concreto	57
Figura 24 – Comparação dos CP que apresentaram menores resistências com as imagens obtidas a partir das folhas de carbono, para o traço 2	59
Figura 25 – Figura 24 – Comparação dos CP que apresentaram menores resistências com as imagens obtidas a partir das folhas de carbono, para o traço 2	60
Figura 26 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica vertical, traço 1	61
Figura 27 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica horizontal, traço 1 ..	62
Figura 28 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica vertical, traço 2	63
Figura 29 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica horizontal, traço 2 ..	64
Figura 30 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica vertical, traço 3	65
Figura 31 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica horizontal, traço 3 ..	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil	21
Quadro 2 – Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto, medida no ensaio de controle	29
Quadro 3 – Descreve a quantidade de massa mínima, em relação ao tamanho do grão ..	32
Quadro 4 – Quantidade de materiais para a confecção de cada traço de concreto	44
Quadro 5 – Fator de correção h/d	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados obtidos em laboratório para o traço 1	50
Tabela 2 – Valores de resistências médias dos resultados dos ensaios para o traço 1	50
Tabela 3 – Dados obtidos em laboratório para o traço 2	51
Tabela 4 – Valores de resistências médias dos resultados dos ensaios para o traço 2	51
Tabela 5 – Dados obtidos em laboratório para o traço 3	52
Tabela 6 – Valores de resistências médias dos resultados dos ensaios para o traço 3	52
Tabela 7 – Análise estatística da combinação da retífica com o número de camadas x resistência à compressão do concreto	55
Tabela 8 – Análise estatística do tipo de retífica utilizado x resistência à compressão do concreto	55
Tabela 9 – Análise estatística do número de camadas retificadas x resistência à compressão do concreto	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL	15
2.3 HIPÓTESE	15
2.4 PRESSUPOSTO	15
2.5 PREMISA	15
2.6 DELIMITAÇÕES	16
2.7 LIMITAÇÕES	16
2.8 DELINEAMENTO	16
3 CONCRETO	18
3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	19
3.1.1 Cimento	20
3.1.2 Relação água/cimento	22
3.1.3 Porosidade	23
3.1.4 Relação entre o cimento e o agregado	24
3.1.5 Agregado	25
3.2 VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO NA ATUALIDADE.....	26
3.3 CONTROLE TECNOLÓGICO E ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	27
3.3.1 Moldagem	30
3.3.2 Índice de forma dos agregados	31
3.3.3 Forma e dimensões dos corpos-de-prova	32
3.3.4 Regularização dos topos dos corpos-de-prova	33
3.3.5 Cura	39
3.3.6 Aplicação da carga	39
4 EXPERIMENTO AVALIANDO A RETIFICAÇÃO DE TOPOS DE CP DE CONCRETO	42
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	43
4.2 MOLDAGEM DOS CP	43
4.3 RETIFICAÇÃO DOS CP	46
4.4 ROMPIMENTO DOS CP	48
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49

5.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	49
5.2 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS	53
5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	54
5.4 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DOS TOPOS DOS CP	58
5.5 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados em obras de construção civil. Trata-se de um material resultante da mistura de um aglomerante (cimento), agregados (areias e britas), água, adições e/ou aditivos. Para avaliação da resistência e qualidade do concreto empregado nas estruturas são feitos ensaios, dentre eles, o mais utilizado, é o que avalia a resistência à compressão.

Em relação a esse ensaio, em muitas obras em andamento, estão ocorrendo diferenças muito grandes nos resultados entre dois corpos-de-prova irmãos, fato que não ocorria até pouco tempo atrás. Muitas são as causas que podem estar associadas a esta variabilidade na resistência à compressão do concreto tais como, a forma e tamanho do agregado, o preparo do topo do corpo-de-prova, as características do cimento utilizado, forma de moldagem e a diminuição do tamanho dos corpos-de-prova.

Em vista disso, este trabalho objetivou analisar um dos tipos de tratamento os topos dos corpos-de-prova utilizados para avaliar a resistência à compressão, verificando a real influência da retificação nesta variabilidade observada. A regularização de topos do CP é considerada, pela bibliografia e por trabalhos acadêmicos, um dos principais fatores intervenientes na variabilidade do ensaio, por isso esse parâmetro foi escolhido para análise. O processo de retificação dos CP tem sido cada vez mais utilizado como forma de regularização de topos, justificado, em grande parte, pelo prejuízo ambiental e periculosidade aos laboratoristas existentes na utilização do enxofre, processo até então empregado na maior parte dos laboratórios e concreteiras que realizam ensaios de resistência à compressão.

As análises do presente estudo contemplaram três traços diferentes de concreto e variou-se o número de camadas de retificação, uma e duas, duas retificadoras, além dos três valores de resistência de concreto, ou seja, 25, 35 e 45 MPa, segundo os procedimentos prescritos nas normas NBR 5738/2003 e NBR 5739/2007.

As grandes variações de resistência entre os corpos-de-prova de concreto irmãos é a falta de confiabilidade nos resultados dos ensaios, uma vez que não se tem garantia de qual das resistências à compressão é a verdadeira. Sendo assim, os resultados corretos não correspondem ao valor do concreto projetado e a resistência maior indicada no ensaio seja a

efetiva, poderão surgir grandes problemas relacionados à aderência do revestimento. Por outro lado, se a resistência menor for constatada, existirá a necessidade de reforço estrutural.

Nos capítulos presentes neste trabalho, inicialmente, foram apresentados os principais fatores intervenientes na resistência à compressão do concreto e, também, no ensaio de resistência à compressão propriamente dito. Fez-se, também, um estudo dos procedimentos que deveriam ser adotados na realização do ensaio. Após revisão bibliográfica encontram-se descritos os ensaios, assim como, os resultados obtidos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes da pesquisa estão subdivididas em questão de pesquisa, objetivos, hipótese, pressuposto, premissa, delimitações, limitações e delineamento, sendo descrito a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: empregando para os concretos estudados vários tipos de retificações em corpos-de-prova irmãos, em que situação são obtidas as menores variabilidades de resistência à compressão?

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho consistiu na verificação do tipo de retificação em que se obtém as menores variabilidades de resistência à compressão, para os concretos estudados.

2.3 HIPÓTESE

Tem-se como hipótese do trabalho que a menor variabilidade de resistência seja obtida com a retirada de uma camada de menor espessura, utilizando a retífica vertical, sendo esta variação proporcional à resistência.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os procedimentos de ensaios de corpos-de-prova descritos nas seguintes normas técnicas brasileiras são válidos para definição da resistência à compressão do concreto: NBR 5738/2003 e NBR 5739/2007.

2.5 PREMISSA

O trabalho tem a premissa de que, em muitas obras em andamento, têm ocorrido diferenças significativas na resistência do concreto entre dois corpos-de-prova irmãos, provocando

dúvidas sobre a efetividade dos ensaios para definição desta importante característica do material.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a ensaios de resistência à compressão de corpos-de-prova de concretos com resistências usualmente utilizadas no mercado da construção civil.

2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

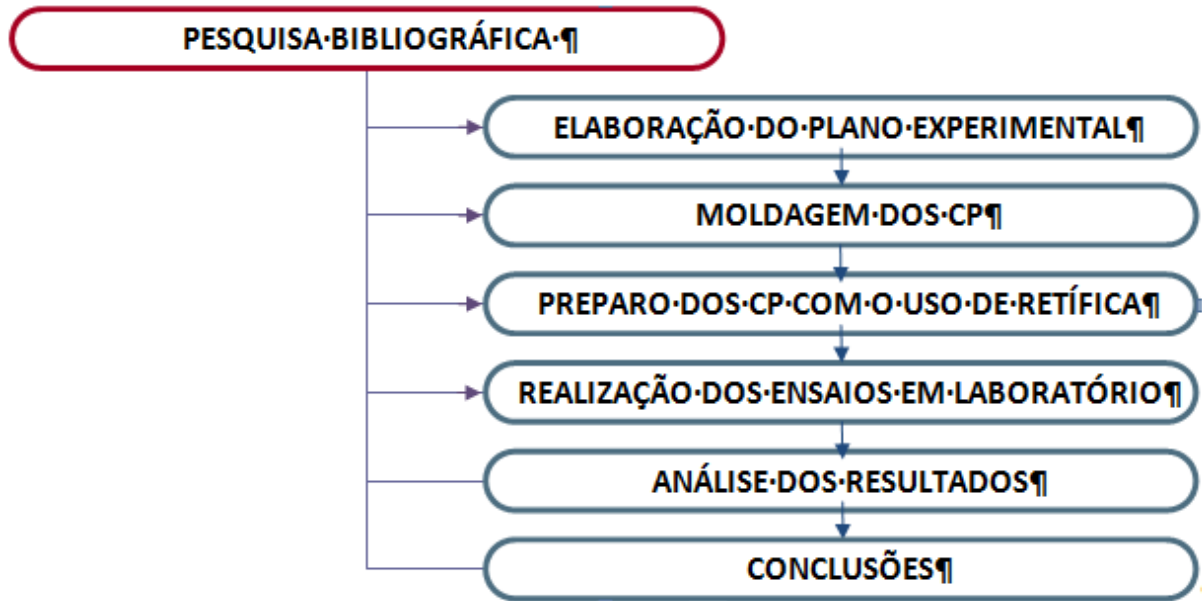
- a) os corpos-de-prova, submetidos aos ensaios de resistência à compressão, foram com concretos produzidos e moldados em laboratório;
- b) os corpos-de-prova tinham dimensões de 10x20 cm;
- c) as resistências características do concreto testadas restringiram-se aos valores de 25, 35 e 45 MPa;
- d) a retificação foi feita com a retirada de uma e duas camadas, além da utilização de duas retificadoras diferentes.

2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas na figura 1 e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração do plano experimental;
- c) moldagem dos CP;
- d) preparo dos CP com o uso de retífica;
- e) realização dos ensaios em laboratório;
- f) análise dos resultados;
- g) conclusões.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

Primeiramente foi realizada a **pesquisa bibliográfica**, para aprofundamento do tema escolhido, visando buscar informações que ajudassem a aperfeiçoar a realização dos testes e fazer uma boa amostragem. Posteriormente, na etapa **elaboração do plano experimental**, foram definidos os detalhes dos ensaios laboratoriais. Nesta etapa determinou-se o número de corpos-de-prova a serem executados para cada variação do tipo de retificação, realizada em uma ou duas camadas, duas retíficas, e três valores de resistência, assim como, foi determinada a forma de realização dos testes. Definido o plano experimental iniciou-se a **moldagem dos corpos-de-prova** e, em seguida a **preparação dos CP com o uso de retífica**.

Na etapa **realização dos ensaios de laboratório**, foram rompidos os corpos-de-prova, moldados na etapa anterior, através de ensaios de resistência à compressão. A quarta etapa corresponde a uma **análise e comparação dos resultados** obtidos, relacionando os diferentes tipos de retificações com as resistências obtidas, nos ensaios. Na última etapa, com os dados da etapa anterior, buscou-se identificar a influência da retificação de superfícies de corpos-de-prova na variabilidade da resistência do concreto, concluindo dessa forma a pesquisa.

3 CONCRETO

Isaia (2005, p. 13) conceitua:

O concreto é um exemplo de material cujo emprego foi baseado na experiência de campo, acumulada pelo conhecimento empírico, tendo recebido avanços importantes quando a indústria do cimento apresentou melhorias nos processos de beneficiamento da matéria prima e de qualidade de processamento, para obtenção de produto com composição mais homogênea e maior finura e propiciando resistências mais elevadas.

Aliadas ao desenvolvimento da indústria do cimento, algumas de suas propriedades propiciaram a utilização do concreto em larga escala, tais como: grande flexibilidade para se adequar aos espaços desejados, resistência ao fogo, grande durabilidade, resistência aos agentes agressivos ambientais, pequena variação térmica na comparação com outros materiais, além do baixo custo de suas matérias primas (ISAIA, 2005). A variedade e os aspectos das obras em concreto fazem deste uma tecnologia em constante transformação que se desenvolve continuamente e exerce uma ampla incidência no mercado mundial (RINCÓN¹ et al., 1997 apud CASTRO, 2009, p. 16).

Dessa forma, o concreto se tornou o material mais largamente usado na construção civil (MEHTA; MONTEIRO, 2004). Ele consiste em uma mistura de um meio aglomerante (cimento), areia (agregado miúdo), pedra (agregado graúdo), água e, na maior parte das vezes, aditivos e materiais pozolânicos, que são introduzidos para contornar certas deficiências ou melhorar a mistura básica.

Porém, é importante salientar que o concreto é um material frágil, apresentando uma resistência à compressão muito maior do que à tração. Assim, foi necessária a inserção do aço para resistir aos esforços de tração, e o concreto em si acabou sendo caracterizado somente pela resistência à compressão.

¹ RINCÓN, O. T.; CARRUYO, A. R.; ANDRADE, C.; HELENE, P.; DIAS, I. **Manual de Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado**. Rio de Janeiro: CYTED, 1997.

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

A resistência do concreto à compressão está relacionada com a tensão necessária para causar a fratura deste e é sinônimo do grau de ruptura no qual a tensão aplicada atinge seu valor máximo. Comparada com as outras propriedades do concreto, esta é fácil de ser ensaiada e, por este motivo, e geralmente é a propriedade especificada nos projetos de estruturas. A partir dos dados de resistência do concreto, são deduzidas as outras propriedades, que estão diretamente relacionadas com esta propriedade, tais como o módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência a intempéries, incluindo águas agressivas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Mehta e Monteiro (1994, p. 47) ainda explicitam que:

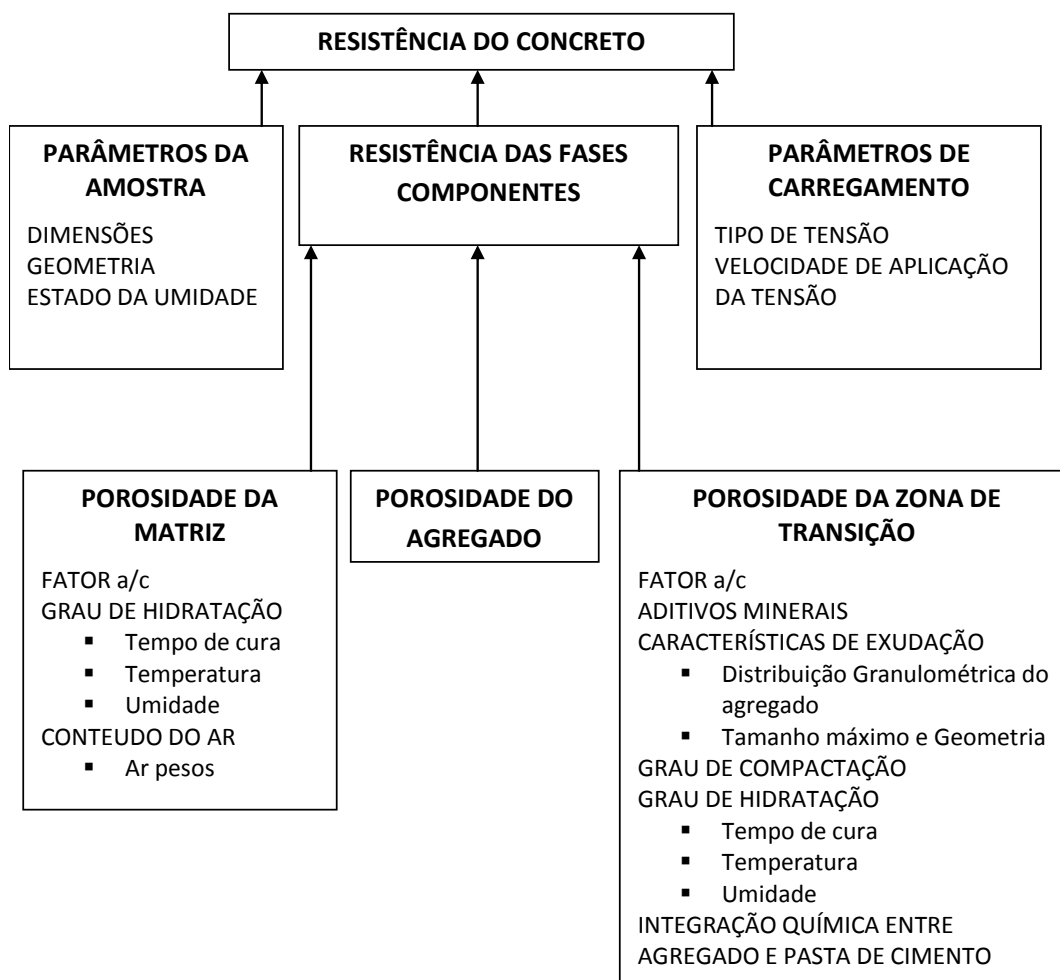
[...] há tempos têm sido descobertas relações empíricas úteis, as quais, para fins práticos, fornecem dados indiretos suficientes sobre a influência de vários fatores na resistência à compressão (resistência à compressão sendo amplamente usada como índice de todos os outros os tipos de resistência).

Segundo Helene e Terzian (1993), a melhor maneira de se qualificar o concreto é através da resistência à compressão. Trata-se de um indicador de qualquer modificação na uniformidade, natureza e proporção dos materiais, devido ao fato de ser uma propriedade muito sensível, indicando com presteza as variações da qualidade de um concreto. A determinação da resistência à compressão axial é utilizada para determinação e adequação de traços de concreto ou, ainda, como parâmetro no controle de qualidade da resistência nas edificações.

Para Mehta e Monteiro (1994, p. 47), “Antes de fazer a mistura do concreto, a escolha dos materiais constituintes adequados e a determinação das suas proporções é o primeiro passo para a obtenção de um concreto que apresente a resistência especificada.”. Na figura 2, é possível observar de forma esquemática quais os fatores que interferem na resistência do concreto e de que forma isso acontece.

Os aspectos relacionados à composição e às propriedades constituintes do concreto que são importantes sob o ponto de vista da resistência e merecem destaque nesse trabalho são: tipo de cimento, a relação água/cimento, ar incorporado e agregado. Tais fatores estão descritos nos subcapítulos seguintes.

Figura 2 – Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto



(fonte: adaptado de MEHTA; MONTEIRO, 1994)

3.1.1 Cimento

Antes de citar o cimento do ponto de vista da resistência, é importante o conhecimento de alguns conceitos relacionados às suas propriedades e composição. Para Mehta e Monteiro (1994), o cimento é um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes que unem fragmentos, ou massas de materiais sólidos em um corpo compacto, como resultado da hidratação. Dentre estes, o cimento Portland é o aglomerante hidráulico utilizado na construção civil, pois ao entrar em contato com a água este apresenta transformações químico-mineralógicas, resultando majoritariamente em silicatos de cálcio hidratados, que são os principais contribuintes para sua propriedade adesiva e para sua estabilidade em meio aquoso.

Os cimentos Portland normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. A sigla corresponde ao prefixo CP acrescido de algarismo romano ou letra, indicando o tipo de cimento usado. Já as classes de resistências são indicadas pelos números após os números romanos, representando o menor valor de resistência à compressão admissível, expresso em megapascal, que deve ser garantido pelos fabricantes após 28 dias de cura. Os tipos de cimento existentes são apresentados no quadro 1.

Quadro1 – Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes
Comum	CPI	25,32,40
Comum com Adição	CPI-S	25,32,40
Composto com Escória	CPII-E	25,32,40
Composto com Pozolana	CPII-Z	25,32,40
Composto com Fíler	CPII-F	25,32,40
Alto forno	CPIII	25,32,40
Pozolâmico	CPIV	25,32
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-
Resistente a Sulfatos	RS	25,32,40
Baixo Calor de Hidratação	BC	25,32,40
Branco Estrutural	CPB	25,32,40

(fonte: adaptado de KIHARA; CENTURIONE, 2005)

Segundo Araújo et al. (2000), a resistência do concreto está vinculada principalmente à resistência da pasta de cimento endurecida, ao agregado e à ligação pasta/agregado. Ao tratar-se da resistência à compressão, o principal fator é a resistência da pasta, que depende da sua porosidade, que por sua vez depende da relação água/cimento. Dessa forma, é possível afirmar que, para um mesmo tipo de cimento, a resistência da pasta depende quase que exclusivamente da relação água/cimento. Ou seja, quanto maior a relação a/c, maior a porosidade e menor a resistência, considerando-se o mesmo tipo de cimento.

O principal constituinte do cimento Portland é o clínquer Portland, material resultante da calcinação de uma mistura de calcário e argila além de eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

Para Kihara e Centurione (2005), a avidez dos componentes do cimento por água está relacionada à necessidade que os componentes do clínquer têm de atingirem estabilidade. Em

função desta necessidade, os elementos químicos, junto com a água, rearranjam-se em novos sistemas cristalinos, conferindo à mistura água-cimento sua rigidez, principal propriedade requerida do produto. Porém, o cimento Portland é constituído por vários compostos que se hidratam em velocidades diferentes. Mehta e Monteiro (1994) indicam que os aluminatos se hidratam muito mais rapidamente que os silicatos. Já em relação à taxa de desenvolvimento da resistência mecânica, os silicatos, cerca de 75% do clínquer, têm maior influência na sua caracterização.

Ainda sobre a hidratação do cimento, Kihara e Centurione (2005) salientam que a hidratação do cimento Portland não depende somente dos componentes do clínquer e das adições ativas do cimento, que correspondem a escórias granuladas de alto-forno e materiais pozolânicos, mas também, está ligada a fatores como: finura, relação água-cimento, temperatura e procedimentos de cura.

3.1.2 Relação água/cimento

A rigor, a resistência do concreto é influenciada pelo volume total de vazios do concreto, sendo estes o ar aprisionado, poros capilares, poros de gel e ar incorporado. Têm-se como fatores que influenciam o volume de vazios do concreto, o grau de adensamento e a relação água/cimento, sendo o segundo fator determinante da porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação (NEVILLE, 1997).

A resistência do concreto é considerada como inversamente proporcional à relação a/c, estando o concreto plenamente adensado. Esta relação entre relação água/cimento e resistência do concreto é representada pela expressão abaixo conhecida como Lei de Abrams (MEHTA; MONTEIRO, 1994):

$$f_c = K_1 / (K_2)^{a/c} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

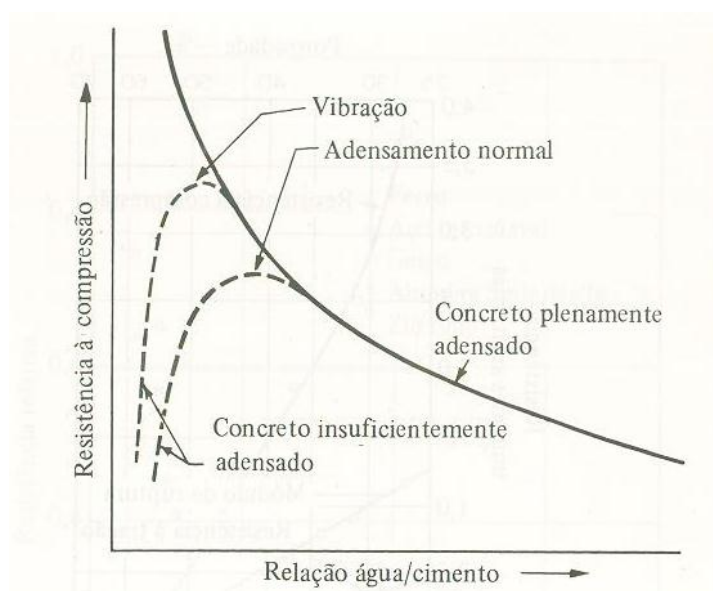
f_c = resistência do concreto;

K_1 e K_2 = constantes empíricas, que dependem dos materiais e da idade do concreto;

a/c = representa a relação água/cimento.

A figura 3 ilustra a influência que a relação água/cimento exerce sobre a resistência à compressão do concreto, conforme a equação da Lei de Abrams. A proporcionalidade entre resistência e relação água/cimento não ocorre quando o concreto encontra-se insuficientemente adensado, pois, neste caso, o volume total de vazios do concreto está aumentando. E, sendo este um dos principais fatores intervenientes na resistência do concreto, este concreto mal adensado comporta-se contrariamente ao esperado, sendo sua resistência diretamente proporcional à relação a/c, para os menores valores desta relação (NEVILLE, 1997).

Figura 3 – Resistência à compressão em função da relação água/cimento do concreto



(fonte: NEVILLE, 1997)

3.1.3 Porosidade

Segundo Neville (1997, p. 286), “A rigor, a resistência do concreto é influenciada pelo volume de todos os vazios: ar aprisionado, poros capilares, poros do gel e ar incorporado, quando presente.”. Na maior parte dos casos é a relação água/cimento a responsável pela porosidade da matriz da pasta de cimento porém, quando é incorporado ar ao concreto, seja por meio de aditivos incorporadores de ar ou por adensamento incorreto, também ocorre um aumento na porosidade da matriz da pasta de cimento e, conseqüentemente, é gerada uma diminuição de resistência do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Analisando uma dada relação água/cimento, verifica-se que, em concretos de alta resistência, ou seja, com alto teor de cimento, a incorporação de ar resulta em uma significativa perda de resistência destes. Ao contrário do que acontece em concretos de baixa e média resistência, que possuem baixo teor de cimento, onde a incorporação de ar não exerce grande influência em sua resistência (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

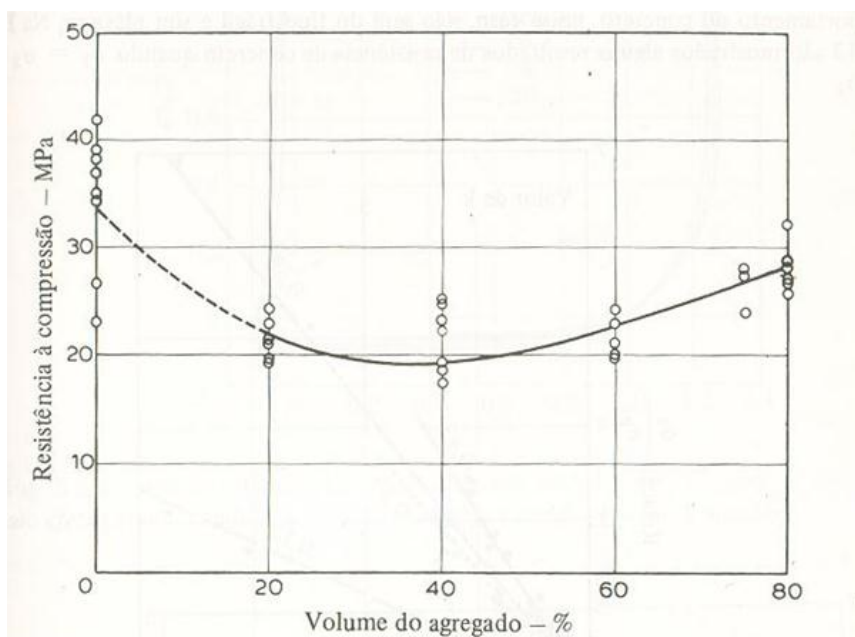
3.1.4 Relação entre o cimento e o agregado

Além da porosidade da matriz do cimento, no concreto também deve-se considerar a resistência da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo, para determinação da resistência deste. A resistência do agregado não precisa ser levada em consideração, já que estes são densos e resistentes. Porém, é imprescindível a consideração da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado, na análise de resistência do concreto, pois esta é uma região de fraqueza deste (VIEIRA, 2008).

Sabe-se que a relação agregado/cimento, é um fator secundário da resistência do concreto, contudo, foi observado, para uma mesma relação de água/cimento, que uma mistura mais pobre, em relação à razão agregado/cimento, resulta em uma resistência maior. As razões desse comportamento não estão bem esclarecidas. Acredita-se que, em alguns casos, a água pode ser absorvida pelo agregado, reduzindo dessa forma a relação água/cimento efetiva. Em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menos exsudação e, portanto, menor dano na aderência entre o agregado e a pasta de cimento, além disso, as variações térmicas, devido a hidratação do cimento seriam menores (NEVILLE, 1997).

Segundo Neville (1997), estudos da influência do teor de agregado sobre a resistência do concreto, mostram que ao se modificar o volume do agregado, como fração do volume total, de 0 a 20%, nota-se decréscimo gradual da resistência à compressão. Porém para valores entre 20 e 80% a resistência aumenta, mantendo-se a relação entre o volume do agregado e a água constante, conforme ilustra a figura 4.

Figura 4 – Relação entre a resistência à compressão de cilindros e o volume de agregado, fixando-se a relação água/cimento constante igual a 0,5



(fonte: NEVILLE, 1997)

3.1.5 Agregado

O agregado é um fator sobre o qual não se tem tanto conhecimento técnico e controle de sua qualidade, apesar de sua influência na resistência do concreto. Problemas técnicos provocados pela incorreta triagem e utilização dos agregados, a partir dos anos 50, incentivaram os estudos para avaliar a qualidade dos agregados graúdos, abrangendo a sua estabilidade dimensional e sua resistência. A partir desses estudos, verificou-se que muitas das propriedades do concreto são oriundas das características dos agregados: o tamanho, a granulometria, a forma, a textura da superfície e a mineralogia do mesmo (SBRIGHI NETO, 2005).

A distribuição granulométrica consiste nas proporções relativas a cada tamanho de partícula presente na amostra. Em relação aos agregados miúdos, a graduação influencia na demanda de água do concreto, interferindo conseqüentemente na relação a/c. Já no caso dos agregados graúdos, as principais características que influenciam o desempenho final do concreto são: a

mineralogia, a absorção, o tamanho e a forma dos agregados (CARNEIRO², 1999 apud SLOSASKI et al., 2010).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), podem existir dois efeitos para a resistência do concreto ao se modificar o diâmetro máximo do agregado com distribuição granulométrica bem graduada. Para uma mesma consistência e mesmo teor de cimento, as misturas contendo agregados grandes necessitam de menos água do que aquelas que contêm agregados menores. Por outro lado, agregados maiores tendem a formar mais microfissuras nas zonas de transição do concreto, pois a presença deles promove restrições à deformação. O efeito do diâmetro máximo do agregado é mais pronunciado em concretos de resistência alta e média, pois nestas o valor da relação água/cimento é menor e a porosidade reduzida da zona de transição começa a ter importância na resistência dos mesmos. Logo, delimita-se a dimensão máxima do agregado em 19 mm nestes concretos.

3.2 VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO NA ATUALIDADE

Segundo construtores de diversas regiões do País, os concretos utilizados nas obras não estão atingindo, nos ensaios em laboratório, a resistência característica à compressão exigida nos projetos estruturais. O não atendimento do f_{ck} pode estar relacionado com problemas no processo tecnológico, como a falta de cuidado na moldagem dos corpos-de-prova ou ainda à baixa confiabilidade de alguns laboratórios brasileiros, dentre outros fatores (FARIA, 2009b).

A expressão **concreto não conforme** está sendo utilizada quando o produto não atende ao f_{ck} determinado em projeto, contudo esta definição não está completamente correta. A norma NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) – Concreto – Preparo, Controle e Recebimento, caracteriza o f_{ck} como o valor de resistência à compressão acima do qual se espera ter 95% de todos os resultados possíveis de ensaio da amostragem feita. O que remete à conclusão que o concreto será considerado conforme, se até 5% dos resultados dos ensaios ficarem abaixo do f_{ck} .

² CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O concreto é um material dinâmico, formado por uma série de insumos e que está se tornando cada vez mais complexo, com mais aditivos. Assim, devido à sua variabilidade, é importante o conhecimento desse material como um todo, garantindo um processo bem controlado, com pesagens precisas, dosagens adequadas, evitando dessa forma uma variabilidade muito grande na qualidade dos insumos, além de cuidados com a logística de transporte do concreto (FARIA, 2009a).

Faria (2009a) salienta ainda que as amostras moldadas não refletem exatamente o concreto presente na obra. Isto ocorre porque as características de cura são diferentes, pois elas são submetidas a um estado de tensões diferentes da estrutura real. Logo, as amostras são somente indicativas, que ilustram se o concreto produzido está dentro de uma faixa aceitável.

Outra questão é o fato que, devido ao aumento das cargas das estruturas, além da necessidade de redução de seção de pilares e vigas, para melhor aproveitamento do espaço, associados a edificações de grandes alturas, houve um aumento nas especificações de resistência dos projetos. Sendo assim se tornou comum, atualmente, estruturas com resistências à compressão de 40 ou 50 MPa. Deve-se ter um maior cuidado, entretanto, com o preparo e controle destes concretos de maiores resistências, independentemente do fato de estas estarem tornando-se corriqueiras, visto que, partes das práticas adotadas para testar estruturas de concreto de resistências menores não são mais válidas (ZANETTI, 2010).

Segundo Zanetti (2010), desenvolveram-se métodos de cálculo, materiais e demandas de durabilidade e resistência das estruturas, entretanto, raramente, são averiguadas as falhas nos procedimentos executados em laboratório. Para Faria (2009a), os laboratórios devem acompanhar essas mudanças, investindo na qualificação de seus profissionais e em pesquisas, para garantir a confiabilidade dos resultados fornecidos. Por este motivo, o capítulo a seguir irá trazer detalhes sobre este ensaio tecnológico, focando, principalmente, nas variáveis que são significativas à variabilidade deste.

3.3 CONTROLE TECNOLÓGICO E ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Em qualquer atividade construtiva é necessário que exista um controle de produção visando garantir a qualidade que se deseja. Tem-se como definição de controle tecnológico do

concreto o conjunto de ações que devem ser executadas em todas as partes do processo construtivo com o objetivo de assegurar a construção da obra, conforme o projeto estabelecido. Estas ações consistem em:

- a) especificar os requisitos do concreto necessários;
- b) elaborar curvas de dosagem para os materiais utilizados;
- c) controlar os materiais constituintes do concreto;
- d) produzir e transportar o concreto;
- e) controlar suas propriedades no estado fresco e endurecido;
- f) lançar e adensar o concreto;
- g) curar adequadamente e desformar.

Em relação às construções de concreto, a verificação da resistência à compressão geralmente é o fundamental controle de desempenho requerido. Isto se deve ao fato desta ser uma propriedade de fácil obtenção que apresenta correlação com outras características importantes deste material (TANGO, 2005). A importância da resistência à compressão é reconhecida pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), que prevê a aceitação automática da estrutura se o valor obtido no ensaio de resistência à compressão for maior ou igual ao valor estipulado em projeto estrutural, justificando assim sua importância.

Para Barbosa et al. (2009), as características do concreto podem ser avaliadas de diversas formas, dentre as quais se destacam os ensaios de determinações mecânicas destrutivas e não destrutivas. O ensaio normalmente utilizado para determinação da resistência do concreto é um ensaio destrutivo, que consiste em um ensaio de compressão uniaxial de corpos-de-prova, cujas moldagens, curas, preparos e ensaios são especificados por normas.

A resistência à compressão é analisada através de ensaio previsto pela NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) – Concreto: Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos. Para a preparação das amostras antes do ensaio, utiliza-se a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) – Modelagem e Cura de Corpos-de-Prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto.

A uniformidade do concreto é decorrente da uniformidade de seus materiais constituintes. Entretanto, dispersões na coleta de exemplares, moldagem, cura, tratamento do topo e ruptura dos corpos-de-prova, podem inserir variações na resistência, que não estão presentes no concreto da estrutura. Logo, as operações de controle devem ser rigorosamente constantes,

para que seja possível a observação da variabilidade presente na estrutura e não uma variação do ensaio (HELENE; TERZIAN, 1993). No quadro 2, estão relacionadas as causas de variação nos ensaios de resistência, com o respectivo grau de influência que estas podem exercer no resultado do ensaio.

Quadro 2 – Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto, medida no ensaio de controle

Procedimento de ensaio	
Causas de variação	Efeito máximo no resultado
Coleta imprecisa	-10%
Adensamento inadequado	-50%
Cura (efeito considerado a 28 dias ou mais)	±10%
Arremate inadequado dos topos	-30% a -50%
Ruptura (velocidade de carregamento)	±10%

(fonte: adaptado de HELENE; TERZIAN, 1993)

A Norma NBR 12654 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 3) estabelece de que maneira este controle deve ser feito:

O programa de controle tecnológico deve ser elaborado em função do grau de responsabilidade da estrutura, das condições agressivas existentes no local da obra, do conhecimento prévio das características dos materiais disponíveis para a execução das obras e outras condições estabelecidas pelos responsáveis por este controle.

Segundo a NBR 12654 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), estabelecido o programa de controle tecnológico a ser executado, o resultado dos testes de resistência à compressão, executados conforme NBR 5739/2007, servirão para a aceitação ou rejeição dos lotes. A amostragem do ensaio deve ser feita a partir da divisão da estrutura em lotes. De cada lote deve ser retirada uma amostra, cujo número de exemplares é determinado a partir do tipo de controle estabelecido.

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a concretagem, sendo cada exemplar composto por dois CP da mesma massa. Os controles estatísticos de resistência dividem-se em amostragem parcial e amostragem total, sendo a amostragem parcial o controle normalmente utilizado, em que são retiradas amostras apenas de alguns caminhões de concreto, a amostragem total é utilizada apenas para casos especiais.

Em relação à execução do ensaio de rompimento, é importante o destaque de alguns itens, descritos na NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), relacionados com a preparação do corpo-de-prova a ser ensaiado, são eles:

- a) os corpos-de-prova devem ser moldados conforme NBR 5738/2003, além disto, estes tem que atender a relação altura/diâmetro de, no máximo, 2,02;
- b) até a idade de ensaio os corpos-de-prova, devem ser mantidos em cura úmida;
- c) anteriormente à execução do ensaio, devem ser preparadas as bases dos corpos-de-prova, e após esta preparação, as condições de cura devem ser mantidas.

Nos próximos subitens serão descritos, de forma detalhada, os principais fatores que interferem na variação dos resultados, nos ensaios de compressão de corpos-de-prova. São estes: moldagem, índice de forma do agregado, forma e dimensão do corpo-de-prova, formas de regularização dos topos, processo de cura empregado e aplicação da carga.

3.3.1 Moldagem

Os corpos-de-prova devem ser moldados conforme os procedimentos descritos na NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). A escolha do método de adensamento a ser utilizado está relacionada com o abatimento do concreto, conforme a Norma:

- a) os concretos com abatimento compreendido entre 10 mm e 30 mm devem ser adensados por vibração;
- b) os concretos com abatimento compreendido entre 30 mm e 150 mm podem ser adensados com a haste (adensamento manual) ou por vibração;
- c) os concretos com abatimento superior a 150 mm devem ser adensados com a haste (adensamento manual).

Para execução do método de adensamento manual, o número de camadas a ser executado, assim como, o número de golpes por camada é determinado a partir das dimensões do corpo-de-prova, conforme consta na NBR 5738/2003. Entretanto, segundo Zanetti (2010), tem-se observado, a partir de auditorias em campo, que alguns procedimentos descritos na Norma não são cumpridos rigorosamente, resultando em dispersões nos resultados das amostras.

Essa Norma estabelece que, em corpos-de-prova com dimensões 10x20 cm, com slump entre 30 e 150 mm, quando adensado manualmente, devem ser moldados em duas camadas de doze

golpes, entretanto tem sido verificada a moldagem destes com 8 a 15 golpes por camada. Algumas vezes, observa-se o oposto, um excesso de vibração, o que ocasiona uma segregação do agregado, como é possível observar na figura 5, em que há acúmulo de agregados na parte inferior do corpo-de-prova devido a excesso de energia no adensamento (ZANETTI, 2010).

Figura 5 — Falha na moldagem vinculada ao adensamento incorreto: (a) corpo-de-prova seccionado ao meio (b) corpo-de-prova antes de ser rompido



(fonte: adaptado de ZANETTI, 2010)

3.3.2 Índice de forma dos agregados

Analisando o ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova, observa-se que a fissuração destes ocorre com uma carga entre 50 e 75% da resistência final. A tensão na qual inicia a fissuração está associada às propriedades do agregado graúdo: seixos arredondados e lisos irão resultar menores tensões na fissuração que àquelas provocadas por pedras britadas angulosas e ásperas. Isto se deve, provavelmente, ao fato que a aderência mecânica é influenciada pelas características superficiais e, até certo ponto, pela forma do agregado graúdo (NEVILLE, 1997).

Segundo a NBR 7211, norma que especifica os agregados para concreto, o índice de forma do agregado não deve ter valor superior a 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). O valor deste índice é determinado pela NBR 7809 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983), que o define como sendo a média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe. Relacionado à execução do ensaio, a NBR 7809 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983) estipula que, a

amostra do agregado remetida ao laboratório deve ser colhida, de acordo com a NBR 7216/1983, nas quantidades do quadro 3.

Quadro 3 – Descreve a quantidade de massa mínima, em relação ao tamanho do grão

Tamanho dos grãos	Massa mínima inicial da amostra (kg)
até 19 mm	8
entre 19 e 25 mm	16
entre 25 e 38 mm	24
acima de 38 mm	32

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983)

A amostra para o ensaio deve ser seca em estufa com temperatura de 110°C (± 5). Logo após, a amostra deve ser analisada granulometricamente, segundo norma NBR 7217/2005. O índice de forma é calculado, conforme citado anteriormente, pela média das relações entre o comprimento e a espessura de todos os grãos medidos.

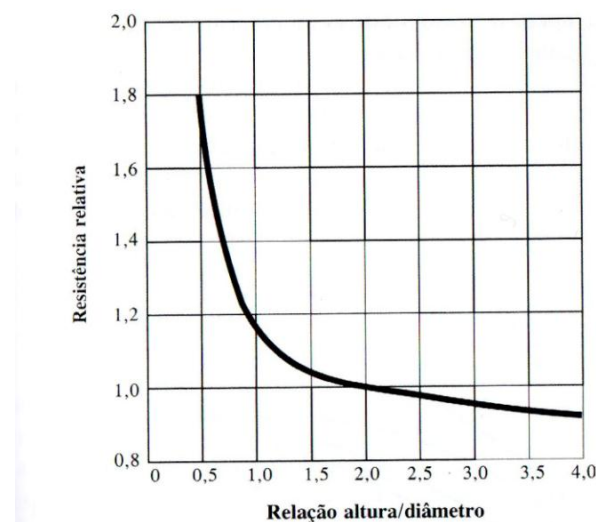
3.3.3 Forma e dimensões dos corpos-de-prova

A NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) aceita dois tipos de molde, o cilíndrico e o prismático, entretanto o molde comumente utilizado é o cilíndrico. Para Jacintho e Giongo (2005), inicialmente eram utilizados nos ensaios, corpos-de-prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, como padrão. Contudo, devido às capacidades das máquinas de ensaios, ao aumento da resistência dos concretos e à grande tendência de utilização de britas com dimensão máxima de 19 mm (brita 1) os corpos-de-prova têm sido moldados com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Tango (2005) ressalta que, na utilização de dimensão máxima do agregado maior que 19 mm, devem-se ser utilizados moldes de 15x30 mm.

Outra razão para a modificação no tamanho destes deve-se a estudos comparativos, que constataram menores resistências em corpos-de-prova maiores, isto está vinculado, provavelmente, a um valor maior no índice de vazios presente nestes, em relação aos CP de tamanho menor. É importante observar que, para os dois tamanhos de corpo-de-prova utilizados normalmente, as alturas correspondem a duas vezes o diâmetro do cilindro conforme exige a NBR 5738/2003 (JACINTHO; GIONGO, 2005). Esta proporção entre o

valor do diâmetro e da altura exigida é facilmente entendida através da figura 6, na qual quando o valor da resistência relativa é igual a 1, que corresponde ao valor real, sem distorções, obtém-se a relação altura/diâmetro igual a 2, ou seja, quando a altura é o dobro do diâmetro.

Figura 6 – Aspecto geral da influência da relação altura/diâmetro sobre a resistência aparente de um cilindro



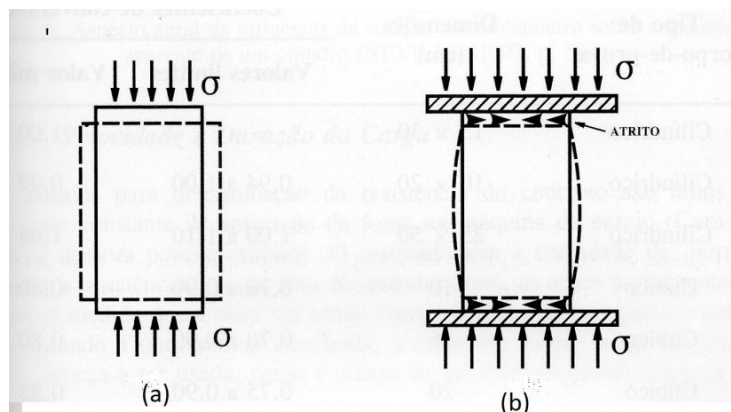
(fonte: NEVILLE, 1997)

3.3.4 Regularização dos topos dos corpos-de-prova

Ao contrário das questões relacionadas à qualidade intrínseca do material e de análises acerca da geometria dos corpos-de-prova, existe um restrito conhecimento técnico sobre a interferência da superfície dos corpos-de-prova nos resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão do concreto. Assim como é desconhecida a real influência da variação de aplicação de carregamento nestes ensaios (BEZERRA, 2007).

Jacinto e Giongo (2005) observam que, na etapa de moldagem do corpo-de-prova, na qual é feito o adensamento do concreto por meio de vibrador tipo agulha, ou ainda, mesa vibratória, as faces superior e inferior da amostra podem ficar rugosas interferindo no contato com os pratos da máquina de ensaio. Dessa forma, nestas regiões de contato entre as faces superior e inferior do corpo-de-prova, ocorre o surgimento de forças de atrito horizontais, que alteram a distribuição de tensões nas faces, e conseqüentemente interferem nos resultados, conforme mostra a figura 7.

Figura 7 – Deformação (a) atrito entre os pratos (b) no ensaio à compressão simples de corpo-de-prova cilíndrico



(fonte: JACINTHO; GIONGO, 2005)

Além disso, pequenas irregularidades na superfície podem gerar excentricidade, devido ao carregamento não uniforme e, com isso, uma diminuição na resistência final do ensaio. Dessa forma, é imprescindível garantir que as superfícies, nas quais se aplicam as cargas, sejam planas, paralelas e lisas garantindo a uniformidade do carregamento. As faces devem ainda apresentar ortogonalidade ao eixo do corpo-de-prova (SCANDIUZZI; ANDRIOLO, 1982). Segundo Bezerra (2007) e a NBR 5138, para garantir essa distribuição uniforme de tensões, quando as faces a serem comprimidas não estão planas, podem ser feitos, basicamente, três sistemas de regularização:

- a) capeamento colado – capeamento com enxofre ou argamassa de cimento;
- b) capeamento não colado – capeamento com neoprene ou almofadas de areia;
- c) desgaste mecânico – desgaste superficial dos topos com a utilização de retífica.

Segundo a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), a preparação das bases dos corpos cilíndricos com pasta de cimento consiste na limpeza da superfície do topo do corpo-de-prova, com escova de aço, e posterior remate com pasta de cimento, com espessura máxima de 3 mm, em um período de 6 à 15h após a moldagem dos corpos-de-prova, sendo a pasta preparada de 2 a 4h antes de sua aplicação. O acabamento dos topos deve ser feito com o auxílio de uma placa de vidro, com espessura mínima de 12 mm, que deve permanecer no corpo-de-prova até a desforma.

O capeamento caracteriza-se pelo uso de um material moldável que propicie a formação de uma cobertura livre de irregularidades nos topos dos corpos-de-prova, com espessura entre

1,5 e 3 mm. Para a escolha do material a ser utilizado deve-se atentar para que este tenha resistência e propriedades elásticas semelhantes ao concreto ensaiado. Já que, a escolha de um capeamento muito elástico provocará o rompimento dos topos dos CP, além de reduzir o atrito entre as amostras e os pratos da prensa, reduzindo a resistência característica obtida. Assim como, um capeamento com uma resistência muito superior a do concreto também não é interessante, pois isto pode produzir uma contenção lateral que provocaria um aumento aparente na resistência do concreto (NEVILLE, 1997).

A interferência do capeamento na resistência é realmente significativa para concretos de resistências médias e altas. Em pequenas resistências serão obtidas, muito raramente, uma variabilidade de 5 a 10% no valor da resistência (NEVILLE, 1997). De acordo com a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), se a opção escolhida for à execução de capeamento, o material utilizado para esse fim deve atender as seguintes exigências:

- a) aderência ao corpo de prova;
- b) compatibilidade química com o concreto;
- c) fluidez, durante a sua aplicação;
- d) acabamento liso e plano após endurecimento;
- e) resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos para o concreto.

Segundo a NBR 5738, na sua execução torna-se necessário o uso de um dispositivo que assegure a perpendicularidade da superfície obtida com a geratriz do corpo-de-prova, denominado capeador. Esta superfície deve ser plana e isenta de riscos ou vazios, além de não apresentar falhas de planicidade superiores a 0,05 mm. Em relação a sua espessura, a camada de capeamento não deve ser maior do que 3 mm em cada topo.

Os métodos de regularização de topos encontram-se também normalizados pela NM 77 – Concreto: preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de resistência à compressão (COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZATION, 1996), são eles: utilização de disco diamantado para corte (retificação), pasta ou argamassa de cimento, além de argamassa de enxofre. Já a utilização de neoprene, encontra-se normatizada, somente, pela norma americana ASTM C1231/ 1993, sendo especificado seu uso para concretos com resistência máxima de 50 MPa.

Em relação ao capeamento com argamassa de enxofre, aplicada no corpo-de-prova já no estado endurecido, tem o procedimento necessário a sua execução detalhadamente descrito na NM 77. A argamassa utilizada origina-se de uma mistura de enxofre, grafite e material granuloso, nas proporções de 75, 5 e 20%, respectivamente, sendo estes materiais fundidos a uma temperatura de 130°C, a aplicação desse material é feita com o auxílio de capeadores metálicos. Passadas duas horas do capeamento, esse deve alcançar uma resistência mínima de 34,5 MPa (COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZATION, 1996).

Segundo Zanetti (2010), o capeamento com enxofre pode interferir negativamente nos resultados para concretos de resistência maior que 30 MPa, uma vez que o material possui um módulo de deformação menor que os concretos de alta resistência. Assim, podem ocorrer deformações na capa de enxofre para estas resistências, imprimindo uma maior tensão de deformação na parte em que a camada do enxofre fica mais fina. É importante salientar que estudos constataram menores resistências à compressão ao se utilizar espessuras maiores de capeamento dos corpos-de-prova.

Além disso leva a problemas de saúde, visto que, durante a fusão, o enxofre exala gases que podem intoxicar o laboratorista, além do risco de queimaduras já que se trabalha com altas temperaturas. Dessa forma, a tendência é que se diminua, ou até mesmo cesse, o seu emprego como sistema de capeamento, e, se for utilizado deve-se garantir um rigoroso sistema de segurança pessoal, além da correta exaustão dos gases liberados por seu processo de fusão, visando tornar mínima sua agressividade ambiental (BARBOSA; OLIVEIRA, 2010).

O uso de almofadas elásticas para o capeamento vem sendo amplamente utilizado no Brasil e no mundo, contudo, existem restrições ao uso deste tipo de capeamento, pelo fato desse não ser normatizado no Brasil, além de existirem poucos estudos a respeito de seu emprego (BARBOSA et al., 2009). O neoprene pode ser empregado na forma não confinada ou confinada, todavia a primeira não apresenta consistência de resultados se comparada ao uso do enxofre (MARCO et al., 2003).

A retificação, segundo NBR 5738, é realizada em corpos-de-prova no estado endurecido, processo em que se promove a retirada de uma fina camada de material do topo do corpo-de-prova a ser preparado, garantindo a integridade das camadas adjacentes à camada retirada, originando uma superfície lisa, livre de abaulamentos e ondulações. A retificação é realizada por máquinas específicas designadas para esta finalidade, constituídas de ferramentas

abrasivas que devem garantir que as falhas, em qualquer ponto da superfície, sejam de, no máximo, 0,05 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Já a NM 77 recomenda que, quando os corpos-de-prova de concreto apresentarem uma base muito irregular e que não seja possível a realização do capeamento com argamassa de enxofre, deve-se proceder ao corte com disco diamantado, de forma a obter uma superfície perfeitamente plana, que permita realizar o ensaio de compressão (COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZATION, 1996). O problema associado à retífica é o alto investimento inicial e o posterior custo de operação dos equipamentos desta.

O condicionamento dos topos dos CP está vinculado ao modelo de retífica utilizado. Vários fatores são importantes para seu resultado final, dentre eles: o tipo de retífica utilizado, o rebolo, o cuidado do operador e a precisão. Existem vários tipos de retíficas no mercado, cada uma com propriedades diferentes, desde os modelos menores, com maior velocidade, até modelos maiores, com menor velocidade, apresentando uma qualidade de acabamento maior, necessitando, entretanto, de um tempo maior para a execução deste procedimento (RUDUIT, 2006). Com a retífica vertical, figura 8, é possível executar a retificação por meio de um rebolo abrasivo diamantado em rotação, de maneira simples e rápida. Este equipamento possui um fixador de corpo-de-prova de fecho rápido, que pode ser manual ou pneumático, além da presença de um limitador da espessura a ser desbastada (SOLOTEST, 2011).

Figura 8 – Modelo de retificadora vertical para CP de concreto



(fonte: SOLOTEST, 2011)

O aparelho retificador de corpos-de-prova horizontal, figura 9, pode ser utilizado para argamassas, concreto e materiais rochosos. O equipamento permite a retificação de CP a partir de um rebolo abrasivo diamantado, com velocidade e limite de retífica controlados, este possui fixador e posicionador para regular a espessura do corte, além de descida e retorno automático do disco diamantado (CONTENCO INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA., 2005).

Figura 9 – Modelo de retificadora horizontal



(fonte:CONTENCO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2005)

Existe também um procedimento muito preciso, porém de longa duração, figura 10. Consiste em um modelo cujo CP sofre uma rotação, fixado a um torno, ao mesmo tempo em que uma serra circular desgasta a superfície da amostra, movendo-se, lentamente, do perímetro para o centro do topo (RUDUIT, 2006).

Figura 10 – Modelo de retificadora em que ocorre a rotação do CP enquanto sua superfície é desbastada por uma serra circular



(fonte: RUDUIT, 2006)

A partir de testes realizados em laboratório, comparando os sistemas de capeamento, em relação à eficiência, Barbosa et al. (2009) concluíram que, o melhor desempenho é obtido com o capeamento de argamassa ou pasta de enxofre (sistemas de capeamento colado), com menor variabilidade dos resultados. Contudo, os testes também indicaram valores satisfatórios para os preparos através de desgaste superficial, com a utilização de retífica, e a utilização de neoprene confinado, sendo estes métodos mais vantajosos em relação ao enxofre, por não representar danos à saúde.

3.3.5 Cura

Neville (1997, p. 325) define que “Cura é a denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura e a saída e entrada de umidade no concreto.”. O autor afirma ainda que o objetivo da cura é manter o concreto saturado, até o momento em que os espaços da pasta de cimento, anteriormente ocupados por água, sejam preenchidos pelos produtos da hidratação acarretando, assim, na diminuição dos vazios. A partir disso, sua finalidade é evitar a retração, fissuras e, principalmente evitar perda de sua resistência.

Existem diversos tipos de cura, contudo, neste estudo será descrita somente a cura úmida, único tipo especificado pela NBR 5738. Esta corresponde a um processo que tem como finalidade manter a superfície do concreto úmida, podendo ser curada totalmente imersa em água (tanque de cura), ou em compartimento fechado com temperatura e umidade controladas, denominadas de câmaras úmidas. A NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 5) estipula que:

Imediatamente após sua identificação, os corpos-de-prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95%. Os corpos-de-prova não devem ficar expostos ao gotejamento nem à ação de água em movimento.

3.3.6 Aplicação da carga

Em relação à velocidade de aplicação da carga, a NBR 5739 determina que “A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente sem choques, com velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 15)$ MPa/s. A velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o

ensaio.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4). Segundo a mesma Norma, é importante também, no momento da aplicação da carga, ter cuidado quanto à centralização do corpo-de-prova nos pratos da prensa de ensaio.

Além da velocidade de carregamento, tem-se como parâmetro decisivo nos resultados dos ensaios de resistência à compressão do concreto o tempo de duração da carga. Para Jacintho e Giongo (2005), devido ao fato da aplicação da força da máquina de ensaio ser constante, o ensaio demora apenas alguns minutos. Porém, na estrutura real, as cargas permanentes são aplicadas na medida em que se constrói a estrutura.

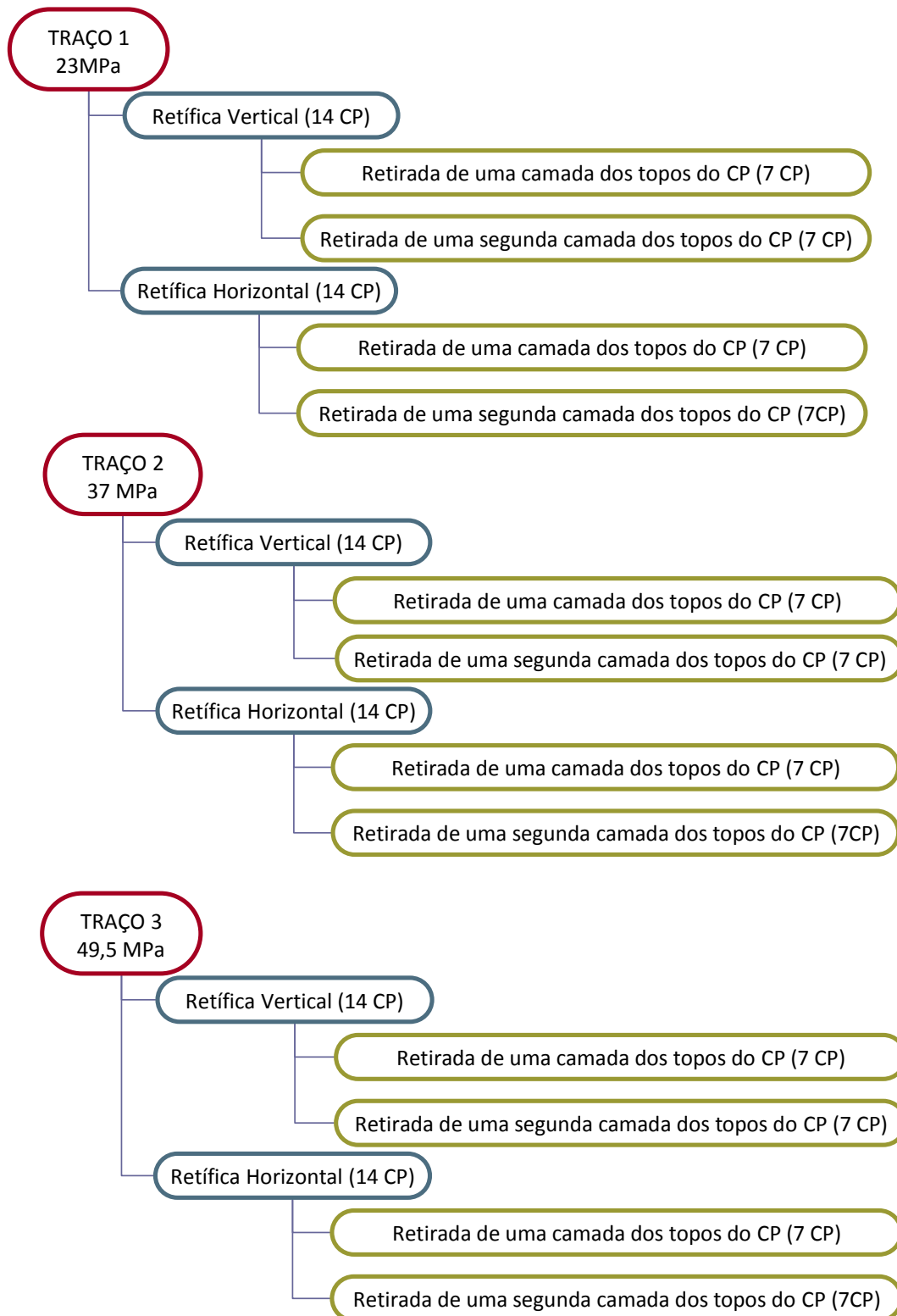
Assim, pode-se dizer que as ações permanentes são de longa duração, ao contrário das ações dos ensaios de corpos-de-prova de concreto, que se assemelham as ações das cargas variáveis de um edifício. Estas ações de longa duração são desfavoráveis em relação às de curta duração, pois a ruptura do corpo-de-prova ocorre com uma intensidade menor de força, esta diminuição da resistência pode chegar até 20%. Por este motivo, as tensões de cálculo (σ_{cd}), função da resistência de cálculo à compressão do concreto (f_{cd}), são minoradas em 25% para levar em conta esse efeito de longa duração das ações permanentes (JACINTHO; GIONGO, 2005).

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O experimento realizado neste trabalho pretende avaliar a influência da regularização dos topos dos CP através de retificação na resistência à compressão. Para tanto, foram moldados corpos-de-prova com três níveis de resistência à compressão, os quais sofreram processos de retificação distintos. Além disso, foram utilizadas duas retíficas diferentes.

Inicialmente foram definidos os procedimentos de ensaio a serem adotados, determinando-se também a quantidade de corpos-de-prova a serem ensaiados. Foram destinados 28 corpos-de-prova para cada nível de resistência à compressão, totalizando 84 unidades a serem rompidas, a figura 11 representa um esquema do plano experimental elaborado. Os corpos-de-prova foram moldados com a utilização de formas metálicas cilíndricas, medindo 9,5 cm de diâmetro e 19 cm de altura (9,5 X 19 cm).

Figura 11 – Diagrama referente ao plano experimental



(fonte: elaborada pela autora)

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Os três traços de concreto foram preparados com os mesmos materiais, já existentes no laboratório do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), que foram separados e pesados antes que se iniciasse a mistura do concreto (figura 12). Os materiais utilizados foram:

- a) cimento CP V;
- b) brita de natureza basáltica com diâmetro máximo de 19 mm, brita 1;
- c) areia natural.

Figura 12 – Vista geral dos materiais (areia, brita e cimento) separados e pesados para confecção dos três traços de concreto: (a) detalhe dos agregados, (b) detalhe do cimento



(fonte: foto da autora)

4.2 MOLDAGEM DOS CP

Para a realização da moldagem, inicialmente, foram calculados os traços dos concretos e as quantidades de cada material, a partir de curva de dosagem anteriormente realizada nas pesquisas desenvolvidas pelo NORIE, pela Luciana Cordeiro, que utilizaram os mesmos materiais. Isto foi feito para a obtenção das resistências de 25, 35 e 45 MPa.

Entretanto, como se optou pela não utilização de aditivo, as relações a/c , cujos valores, correspondentes às três resistências requeridas, foram retiradas da curva de dosagem existente, tiveram uma pequena modificação no momento da confecção destes concretos. Esta alteração nas relações a/c foi feita para que estes concretos apresentassem a mesma

trabalhabilidade, propriedade medida a partir do valor do *slump*, que deve estar no intervalo de (10 ± 2) cm, conforme NM 67/96, o que resultou em resistências à compressão calculadas, para os 28 dias, de 23, 37 e 49,5 MPa, conforme pode ser visto no quadro 4.

Quadro 4 – Quantidade de materiais para a confecção de cada traço de concreto

	Resistência à compressão correspondente	Relação a/c	Traço – proporção de materiais		
			cimento	areia	brita
Traço 1	23 MPa	0,73	1	4,6	4,6
Traço 2	37 MPa	0,5	1	2,5	2,8
Traço 3	49,5 MPa	0,36	1	1,2	1,8

(fonte: elaborado pela autora)

A confecção dos corpos-de-prova foi realizada no laboratório do NORIE em betoneira de eixo vertical, conforme figura 13, cada um dos traços de concreto foi feito em uma única betonada, com o objetivo de reduzir o número de variáveis presentes no experimento.

Após a mistura dos materiais, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme procedimento descrito na norma NM 67/1996, obtendo-se os valores de 80, 92 e 93 mm, respectivamente, para os concretos de resistências 23, 37 e 49,5 MPa, padronizando-se, dessa forma, o *slump* dos três traços de concreto em (100 ± 20) mm. Posteriormente, foram moldados os corpos-de-prova, conforme procedimento descrito na NBR 5738/2003, sendo a vibração destes feita com a utilização de mesa vibratória. Após a moldagem, os CP foram devidamente cobertos com lona plástica, para evitar a perda de água do concreto, os quais ficaram sob estas condições durante 24h. Estes processos são visualizados na figura 14.

Figura 13 – Betoneira de eixo vertical utilizada para a confecção do concreto utilizado no experimento



(fonte: foto da autora)

Figura 14 – Realização do ensaio de abatimento de cone (a), vibração (b), regularização dos topos e após corpos-de-prova moldados (c)



(fonte: foto da autora)

No dia seguinte, foi realizada a desforma das 84 unidades, além da identificação de todos os corpos-de-prova. Para que estes, posteriormente, fossem armazenados em pequenos tanques, imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (figura 15) onde permaneceram 28 dias, conforme descrito na NBR 5738/2003.

Figura 15 – Corpos-de-prova desformados e levados para ficarem imersos em solução saturada de hidróxido de cálcio



(fonte: foto da autora)

4.3 RETIFICAÇÃO DOS CP

Após 26 dias de cura, todos os corpos-de-prova foram retirados da solução saturada de cal na qual estavam imersos. Para isso, foram utilizadas duas retíficas diferentes, sendo uma retífica vertical, pertencente ao NORIE, e a outra horizontal, utilizada para retificação de CP por uma concreteira de Porto Alegre.

Antes da regularização de topos, todos os corpos-de-prova tiveram seu diâmetro medido, para que fosse calculada a real resistência à compressão das amostras, a partir da divisão da carga máxima suportada no momento do rompimento pela área obtida. Além disso, foram aferidas as alturas, para posterior cálculo da espessura da camada retificada. Estas medidas foram realizadas com a utilização de um paquímetro digital, figura 16.

Figura 16 – Paquímetro digital utilizado para medir as alturas e diâmetros médios dos CP



(fonte: foto da autora)

As medidas, com precisão de 0,1 mm, do diâmetro e altura realizadas pelo paquímetro, foram coletadas, também, para o cálculo do fator de correção, pois, conforme descrito na NBR

5139/2007, caso a relação h/D for menor que 1,94 devem ser feitas as correções multiplicando-se a resistência obtida pelos fatores indicadas pelo quadro 7.

Quadro 5 – Fator de correção h/d

Relação h/d	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Fator de correção	1	0,98	0,96	0,93	0,87
NOTA Os índices correspondentes à relação h/d não indicada podem ser obtidos por interpolação mlinear, com aproximação de centésimos					

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5)

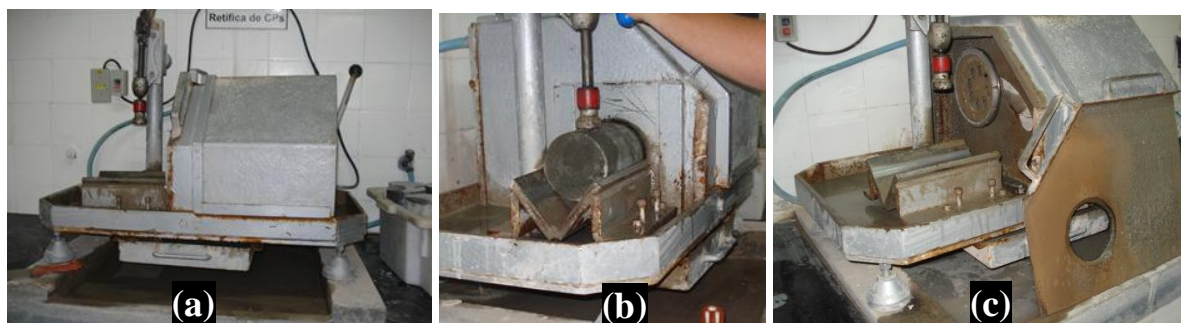
Posteriormente, metade dos corpos-de-prova, tiveram seus topos regularizados por uma retífica vertical com motor de 5 HP, da marca Solotest, cujo funcionamento consiste no polimento da superfície do topo do corpo-de-prova (figura 17). A outra metade foi regularizada por uma retífica horizontal, figura 18, cujo funcionamento corresponde a um corte no CP. Ambas as retíficas funcionam com a inserção de água durante o processo, para molhamento da superfície a ser regularizada.

Figura 17 – Retífica vertical utilizada



(fonte: foto da autora)

Figura 18 – Retífica horizontal utilizada: (a) vista geral, (b) vista lateral e (c) vista lateral, sem proteção, com visualização do disco dimantado

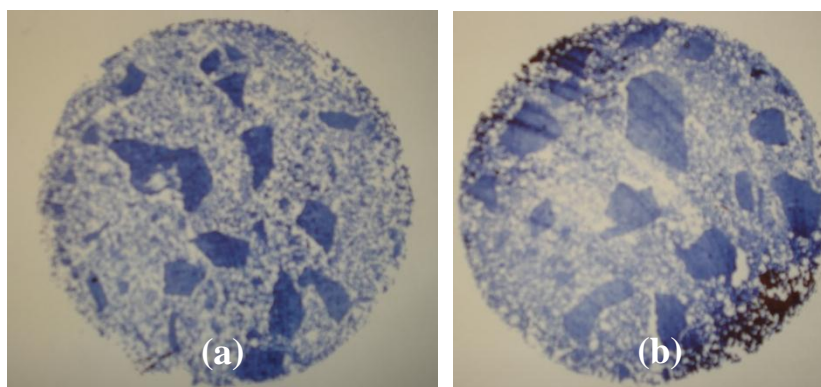


(fonte: foto da autora)

4.4 ROMPIMENTO DOS CP

Aos 28 dias todos os corpos-de-prova foram rompidos, no laboratório do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), com a utilização da prensa da marca Shimatzu. Nesse processo, foram colocadas folhas de papel carbono entre o topo do CP e a prensa, em todas as unidades, com o intuito de averiguar a homogeneidade de aplicação da carga, observando as áreas de maior concentração da mesma, além de irregularidades na superfície dos topos. Verificou-se um comportamento diferente em relação às imagens das duas retíficas, pois, em todos os topos regularizados com a retífica horizontal, foram observadas ranhuras, provocadas pelo corte que esta realiza. O que não ocorreu nas imagens dos CP executados pela retífica vertical, que faz um polimento da superfície, conforme se observa na figura 19.

Figura 19 – Imagem do topo do CP regularizado com a retífica vertical (a) e horizontal (b)



(fonte: foto da autora)

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova em laboratório. A partir destes valores, foram feitas análises estatísticas, buscando-se estabelecer as relações entre o processo de retificação, as retíficas, a resistência à compressão, e, também, as espessuras das camadas retiradas do corpo-de-prova.

5.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após a finalização dos ensaios, procurou-se organizar todos os dados coletados, sendo estes, o diâmetro, a altura e a carga de ruptura de cada corpo-de-prova, para posterior cálculo do diâmetro médio, da espessura da camada retirada no processo, assim como, da resistência à compressão de cada unidade confeccionada. Estes dados foram organizados nas tabelas 1, 3 e 5, sendo cada quadro indicativo a um traço de concreto, referente às resistências de 23, 37 e 49,5 MPa, respectivamente.

Tabela 1 – Dados obtidos em laboratório para o traço 1

Resist. 23 MPa	Identif. dos CP	Relação a/c	Retífica	Camada	Altura média inicial (cm)	Altura média final (cm)	Diam. médio (cm)	Relação H/D	Fator de correção	Espessura da camada (cm)	Carga (kgf)	Resist. (MPa)	
Traço 1	A01	0,73	A*	C1	19,03	18,51	9,52	1,94	0,99	0,52	149,60	20,81	
	A02				19,02	18,39	9,50	1,94	0,99	0,63	141,30	19,74	
	A03				19,05	18,57	9,52	1,95	0,99	0,48	147,40	20,50	
	A04				19,10	18,55	9,50	1,95	0,99	0,55	138,20	19,30	
	A05				18,97	18,44	9,49	1,94	0,99	0,53	153,40	21,47	
	A06				19,10	18,57	9,45	1,97	1,00	0,53	150,60	21,47	
	A07				19,05	18,50	9,50	1,95	0,99	0,55	144,20	20,14	
Traço 1	A08	0,73		A*	C2	19,13	18,22	9,56	1,91	0,99	0,91	146,00	20,14
	A09					19,00	18,20	9,54	1,91	0,99	0,80	154,00	21,33
	A10					18,99	18,19	9,47	1,92	0,99	0,80	153,40	21,56
	A11					19,00	18,22	9,52	1,91	0,99	0,78	151,00	21,00
	A12					19,13	18,26	9,52	1,92	0,99	0,87	148,60	20,67
	A13					19,19	18,33	9,51	1,93	0,99	0,86	143,20	19,96
	A14					19,02	18,33	9,53	1,92	0,99	0,69	147,60	20,49
Traço 1	B01	0,73	B**		C1	19,08	18,68	9,50	1,97	1,00	0,40	155,60	21,95
	B02					19,06	18,69	9,48	1,97	1,00	0,37	145,00	20,54
	B03					19,03	18,61	9,48	1,96	1,00	0,42	150,00	21,25
	B04					18,98	18,62	9,48	1,96	1,00	0,36	158,80	22,50
	B05					19,01	18,51	9,49	1,95	0,99	0,50	150,20	21,02
	B06					19,03	18,51	9,48	1,95	0,99	0,52	167,60	23,51
	B07					19,04	18,48	9,48	1,95	0,99	0,56	158,00	22,16
Traço 1	B08	0,73		B**	C2	19,12	18,60	9,52	1,95	0,99	0,52	157,00	21,84
	B09					18,90	18,32	9,49	1,93	0,99	0,58	167,40	23,43
	B10					19,02	18,46	9,50	1,94	0,99	0,56	155,20	21,68
	B11					18,97	18,38	9,48	1,94	0,99	0,59	147,60	20,70
	B12					19,08	18,30	9,53	1,92	0,99	0,78	141,40	19,62
	B13					19,01	18,34	9,49	1,93	0,99	0,67	175,00	24,49
	B14					19,10	18,05	9,50	1,90	0,99	1,05	157,40	21,98

* Retífica A: processo de retificação vertical

** Retífica B: processo de retificação horizontal

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 2 – Valores de resistências médias dos resultados dos ensaios para o traço 1

Traço 1			
Retífica	Nºcamadas retiradas no processo de	Resistência média dos resultados dos ensaios (MPa)	Desvio padrão médio dos resultados obtidos nos ensaios
A	C1	20,49	0,83
A	C2	20,73	0,60
B	C1	21,85	1,00
B	C2	21,96	1,62

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 3 – Dados obtidos em laboratório para o traço 2

Resist. 37 MPa	Ident.	Relação a/c	Retífica	Camada	Altura média inicial (cm)	Altura média final (cm)	Diâmetro médio (cm)	Relação H/D	Fator de correção	Espessura da camada (cm)	Carga (kgf)	Resist. (MPa)	
Traço 2	A01	0,5	A*	C1	19,10	18,72	9,58	1,95	0,99	0,38	270,20	37,11	
	A02				19,05	18,68	9,51	1,96	1,00	0,37	270,40	38,07	
	A03				19,12	18,67	9,52	1,96	1,00	0,46	281,60	39,56	
	A04				19,06	18,67	9,53	1,96	1,00	0,39	257,00	36,03	
	A05				19,19	18,65	9,50	1,96	1,00	0,53	281,60	39,73	
	A06				19,24	18,75	9,51	1,97	1,00	0,49	293,00	41,25	
	A07				19,18	18,77	9,49	1,98	1,00	0,41	272,40	38,51	
Traço 2	A08	0,5		A*	C2	19,20	18,34	9,56	1,92	0,99	0,85	287,40	39,64
	A09					19,14	18,42	9,44	1,95	0,99	0,72	269,20	38,08
	A10					19,02	18,23	9,50	1,92	0,99	0,79	272,80	38,10
	A11					19,05	18,27	9,49	1,92	0,99	0,78	289,00	40,45
	A12					18,96	18,26	9,52	1,92	0,99	0,70	267,60	37,22
	A13					18,97	18,15	9,52	1,91	0,99	0,82	297,10	41,32
	A14					19,04	18,19	9,48	1,92	0,99	0,85	280,40	39,33
Traço 2	B01	0,5	B**		C1	19,06	18,64	9,53	1,96	1,00	0,43	276,60	38,78
	B02					19,01	18,63	9,49	1,96	1,00	0,39	283,60	40,09
	B03					19,06	18,61	9,54	1,95	0,99	0,45	289,40	40,08
	B04					19,28	18,64	9,55	1,95	0,99	0,64	231,00	31,93
	B05					19,04	18,67	9,51	1,96	1,00	0,37	210,00	29,56
	B06					19,14	18,61	9,48	1,96	1,00	0,53	278,00	39,39
	B07					19,24	18,89	9,48	1,99	1,00	0,35	268,00	37,97
Traço 2	B08	0,5		B**	C2	19,13	18,51	9,51	1,95	0,99	0,62	220,40	30,72
	B09					19,14	18,74	9,48	1,98	1,00	0,40	176,40	24,99
	B10					19,18	18,58	9,49	1,96	0,99	0,60	291,60	40,81
	B11					19,16	18,44	9,5	1,94	0,99	0,72	283,80	39,64
	B12					19,13	18,38	9,5	1,94	0,99	0,75	279,40	39,02
	B13					19,2	18,36	9,5	1,93	0,99	0,84	267,20	37,32
	B14					18,96	18,47	9,52	1,94	0,99	0,49	166,60	23,17

* Retífica A: processo de retificação vertical

** Retífica B: processo de retificação horizontal

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 4 – Valores de resistências médias dos resultados dos ensaios para o traço 2

Traço 2			
Retífica	Nº camadas retiradas no processo de	Resistência média dos resultados dos ensaios (MPa)	Desvio padrão médio dos resultados obtidos nos ensaios
A	C1	38,61	1,75
A	C2	39,16	0,45
B	C1	36,83	4,28
B	C2	33,67	7,34

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 5 – Dados obtidos em laboratório para o traço 3

Resist. 49,5 MPa	Ident. dos CP	Relação a/c	Retífica	Camada	Altura média inicial (cm)	Altura média final (cm)	Diâmetro médio (cm)	Relação H/D	Fator de correção (NBR 7866)	Espessura da camada (cm)	Carga (kgf)	Resist. (MPa)	
Traço 3	A01	0,36	A*	C1	19,00	18,58	9,51	1,95	0,99	0,42	388,50	54,15	
	A02				19,02	18,62	9,51	1,96	1,00	0,40	377,00	53,08	
	A03				19,07	18,61	9,51	1,96	1,00	0,46	405,00	57,02	
	A04				19,07	18,61	9,48	1,96	1,00	0,46	387,50	54,90	
	A05				19,20	18,80	9,49	1,98	1,00	0,40	339,50	48,00	
	A06				19,06	18,68	9,48	1,97	1,00	0,38	346,00	49,02	
	A07				18,99	18,57	9,49	1,96	1,00	0,42	367,50	51,96	
Traço 3	A08	0,36		A*	C2	19,00	18,37	9,51	1,93	0,99	0,63	380,50	53,03
	A09					18,94	18,34	9,50	1,93	0,99	0,60	363,50	50,77
	A10					19,06	18,48	9,51	1,94	0,99	0,58	336,00	46,83
	A11					19,11	18,32	9,49	1,93	0,99	0,79	380,00	53,19
	A12					19,14	18,55	9,51	1,95	0,99	0,59	347,50	48,43
	A13					19,13	18,46	9,52	1,94	0,99	0,67	380,00	52,85
	A14					19,13	18,56	9,53	1,95	0,99	0,57	381,00	52,88
Traço 3	B01	0,36	B**		C1	19,11	18,50	9,47	1,95	0,99	0,61	367,20	51,61
	B02					19,15	18,55	9,51	1,95	0,99	0,60	385,00	53,66
	B03					19,00	18,35	9,48	1,94	0,99	0,65	321,60	45,11
	B04					19,16	18,75	9,50	1,97	1,00	0,41	307,00	43,31
	B05					19,16	18,76	9,51	1,97	1,00	0,40	356,00	50,12
	B06					19,17	18,73	9,52	1,97	1,00	0,44	369,80	51,95
	B07					19,14	18,74	9,50	1,97	1,00	0,40	391,00	55,16
Traço 3	B08	0,36		B**	C2	19,01	18,42	9,49	1,94	0,99	0,59	263,50	36,88
	B09					19,05	18,79	9,49	1,98	1,00	0,26	397,00	56,13
	B10					19,08	18,28	9,50	1,92	0,99	0,80	420,00	58,66
	B11					19,03	18,60	9,48	1,96	1,00	0,43	402,00	56,95
	B12					19,09	18,49	9,49	1,95	0,99	0,60	388,50	54,38
	B13					18,96	18,14	9,49	1,91	0,99	0,82	287,50	40,24
	B14					19,00	18,51	9,49	1,95	0,99	0,49	408,00	57,10

* Retífica A: processo de retificação vertical

** Retífica B: processo de retificação horizontal

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 6 – Valores de resistências médias dos resultados dos ensaios para o traço 3

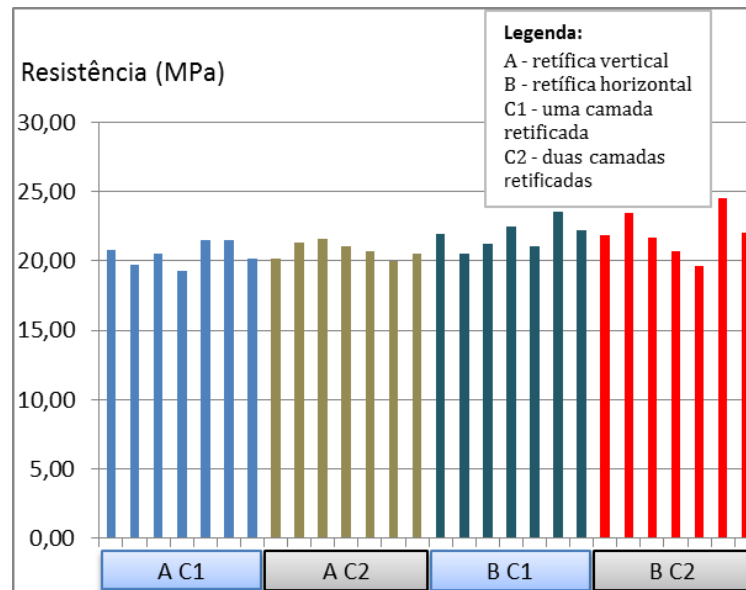
Traço 3			
Retífica	Nº camadas retiradas no processo de	Resistência média dos resultados dos ensaios (MPa)	Desvio padrão médio dos resultados obtidos nos ensaios
A	C1	52,59	3,40
A	C2	51,14	2,57
B	C1	50,13	4,38
B	C2	51,48	8,97

(fonte: elaborada pela autora)

5.2 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

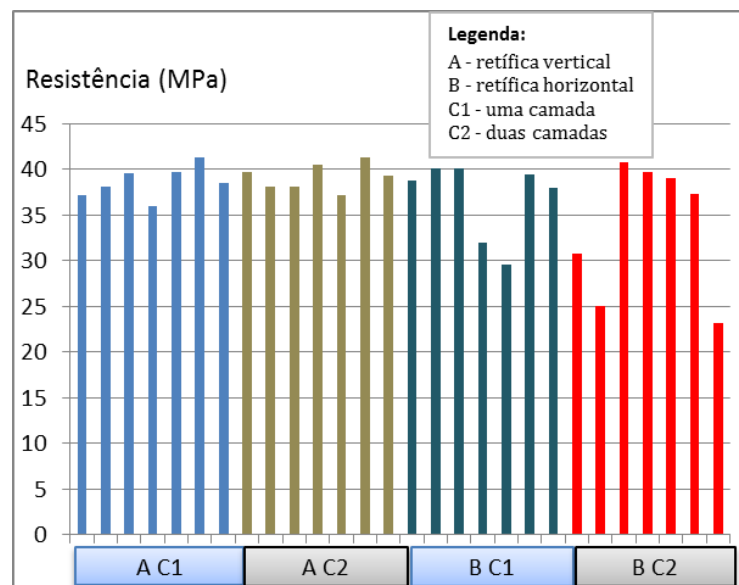
Para melhor visualização do comportamento da resistência para os 84 CP rompidos, confeccionaram-se gráficos, figura 20 a 22, em que foram plotados os valores de resistência à compressão obtidos para cada corpo-de-prova.

Figura 20 – Influência do processo de retificação na resistência à compressão aos 28 dias de concreto com resistência de dosagem de 23 MPa



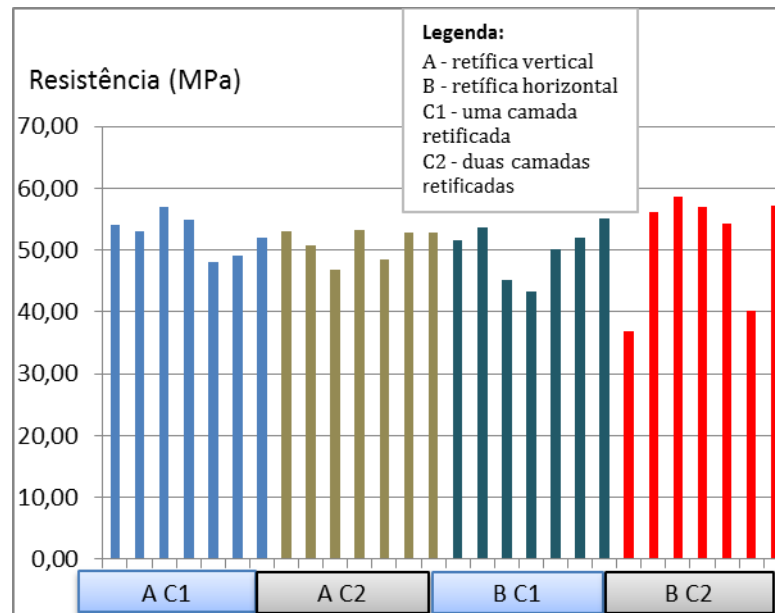
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 21 – Influência do processo de retificação na resistência à compressão aos 28 dias de concreto com resistência de dosagem de 37 MPa



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 22 – Influência do processo de retificação na resistência à compressão aos 28 dias de concreto com resistência de dosagem de 49,5 MPa



(fonte: elaborada pela autora)

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

A identificação dos fatores com efeito significativo nos resultados de resistência à compressão foi feita a partir da análise da variância, calculada com o auxílio de um programa estatístico, o SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). Os fatores submetidos a essa análise foram:

- a) interação entre retífica e número de camadas;
- b) tipo de retífica utilizada (A ou B);
- c) número de camadas retiradas na retificação (C1 ou C2).

Antes do cálculo da variância foram obtidos a média e o desvio padrão, para cada traço de concreto. Em seguida, de posse desses dados, tabelas 7 a 9, foi possível mapear o comportamento dos resultados obtidos no ensaio.

Tabela 7 – Análise estatística da combinação da retífica com o número de camadas x resistência à compressão do concreto

COMBINAÇÃO RETÍFICA/ N°CAMADAS X RESISTÊNCIA							Análise de variância		
	Resist. corresp. (MPa)	Tipo de retífica	N° de camadas retificadas	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	F	p	Efeito para os resultados da resistência obtidos
Traço 1	23	Vertical (A)	1 camada (C1)	20,49	0,83	4,05	3,42	0,03	não é significativo
	23	Vertical (A)	2 camadas (C2)	20,73	0,60	2,89			
	23	Horizontal (B)	1 camada (C1)	21,85	1,00	4,58			
	23	Horizontal (B)	2 camadas (C2)	21,96	1,62	7,38			
Traço 2	37	Vertical (A)	1 camada (C1)	38,61	1,75	4,53	2,22	0,11	não é significativo
	37	Vertical (A)	2 camadas (C2)	39,16	1,45	3,70			
	37	Horizontal (B)	1 camada (C1)	36,83	4,27	11,59			
	37	Horizontal (B)	2 camadas (C2)	33,67	7,53	22,36			
Traço 3	49,5	Vertical (A)	1 camada (C1)	52,59	3,4	6,47	0,246	0,86	não é significativo
	49,5	Vertical (A)	2 camadas (C2)	51,14	2,57	5,03			
	49,5	Horizontal (B)	1 camada (C1)	50,13	4,38	8,74			
	49,5	Horizontal (B)	2 camadas (C2)	51,48	8,97	17,42			

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 8 – Análise estatística do tipo de retífica utilizado x resistência à compressão do concreto

RETÍFICA X RESISTÊNCIA						Análise de variância		
	Resist. corresp. (MPa)	Tipo de retífica	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	F	p	Efeito para os resultados da resistência obtidos
Traço 1	23	Vertical (A)	20,61	0,70	3,40	10,78	0,003	significativo
	23	Horizontal (B)	21,91	1,29	5,89			
Traço 2	37	Vertical (A)	38,88	1,50	3,86	4,82	0,037	significativo
	37	Horizontal (B)	35,24	5,99	17,00			
Traço 3	49,5	Vertical (A)	51,86	2,89	5,57	0,286	0,59	não é significativo
	49,5	Horizontal (B)	50,8	6,81	13,41			

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 9 – Análise estatística do número de camadas retificadas x resistência à compressão do concreto

N°CAMADAS X RESISTÊNCIA								
	Resist. corresp. (MPa)	N° de camadas retificadas	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)	Análise de variância		
						F	p	Efeito para os resultados da resistência obtidos
Traço 1	23	1 camada (C1)	21,17	1,13	5,34	0,01	0,98	não é significativo
	23	2 camadas (C2)	21,35	1,33	6,23			
Traço 2	37	1 camada (C1)	37,72	3,27	8,67	0,53	0,47	não é significativo
	37	2 camadas (C2)	36,41	5,82	15,98			
Traço 3	49,5	1 camada (C1)	51	3,9	7,65	0,246	0,863	não é significativo
	49,5	2 camadas (C2)	51,31	6,34	12,36			

(fonte: elaborada pela autora)

Para a avaliação da variância, determinou-se a resistência à compressão como variável dependente. Por outro lado, o número de camadas, a retífica utilizada e a combinação das duas foram consideradas como variáveis independentes. O cálculo da variância foi determinado a partir do valor de p-level (ρ), já que, se este for menor do que 0,05, a variável independente em questão é significativa para o valor da resistência à compressão, sendo a confiabilidade deste dado de 95%.

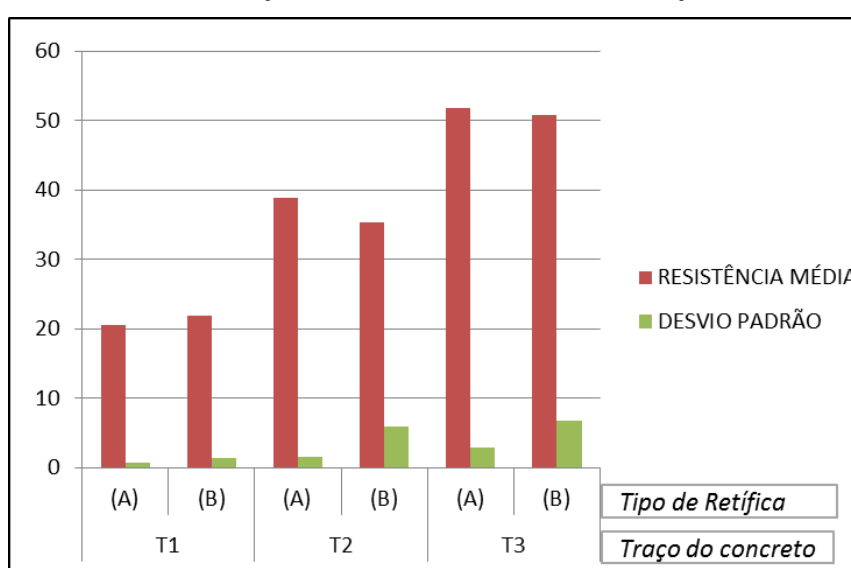
Dessa forma, tendo em vista os valores de ρ calculados, tem-se o tipo de retífica utilizado como único fator significativo para a resistência à compressão, e isto só foi verificado para os traços referentes a resistências de 23 e 37 MPa. A partir deste resultado estatístico serão analisados somente os dados referentes à tabela 8, que relaciona as resistências à compressão obtidas, com as duas retíficas utilizadas, sem diferenciar o n° de camadas retiradas dos CP. Para melhor visualização da tabela 8, seus valores foram plotados em um gráfico, figura 23.

É interessante salientar o alcance de resultados um pouco diferentes se comparados aos valores encontrados por Chies (2011), cujo trabalho consistiu em ensaios, com a realização de diversos tipos de capeamento, para verificação destes em relação aos valores de resistência à compressão. Dentre os processos de preparação de topos de CP, foram feitas retificação horizontal e vertical executadas pelos mesmos operadores e utilizando as mesmas retíficas que o presente trabalho.

A partir dos ensaios e análises estatísticas, Chies (2011) obteve que o tipo de retificação é significativa para todos os valores de resistência estudados, sendo estes valores

correspondentes a relações de a/c no intervalo de 0,2 a 0,8. O fato de o traço 3, de menor relação a/c , não se mostrar significativo em relação aos resultados de resistência à compressão obtidos, para o presente trabalho, pode estar relacionado ao seu valor de desvio padrão ser bastante alto, representando que 68% dos seus valores estão em um amplo intervalo [43,99; 57,61], o que agrega, tratando-se de conceitos estatísticos, uma incerteza muito grande aos valores obtidos para este traço. Dessa forma, não é possível afirmar a sua significância para o valor da resistência à compressão do concreto.

Figura 23 – Comparação entre as resistências médias e desvios padrão avaliando-se as diferentes combinações entre as duas retílicas e os três traços de concreto



(fonte: elaborada pela autora)

Na análise da média e desvio padrão, nota-se, figura 23, que a retífica horizontal (B) apresenta valores de desvio padrão bastante elevados, comparados aos valores da retífica vertical. Essa diferença entre os desvios padrão é maior nos traços 2 e 3, de maior resistência. Isto indica a não uniformidade e maior espalhamento destes dados, ou seja, que os resultados, obtidos pela regularização com a retífica horizontal, apresentam uma grande variabilidade, confirmado pelos valores de coeficientes de variação obtidos, que se encontram na tabela 8.

Fazendo uma análise paralela entre os resultados estatísticos e os gráficos, é possível observar, nos gráficos, em relação ao comportamento das retílicas, que a retífica horizontal apresenta alguns valores, em um ou dois corpos-de-prova de cada traço, muito aquém do esperado, isto é verificado, preponderantemente, nos traços 2 e 3, ou seja, esse

comportamento é observado nos concretos de resistência maior. Ressalta-se que, com a retirada de duas camadas no processo de retificação, essa diferença entre os valores obtidos e o valor calculado, que se espera alcançar no ensaio, é ainda maior. Esse fato confere com os altos desvios padrões obtidos para regularização de topos de CP com a retífica horizontal. Além disso, nota-se uma maior linearidade nos resultados da retífica vertical se comparados aos valores alcançados pela retífica horizontal, para os três traços de concreto.

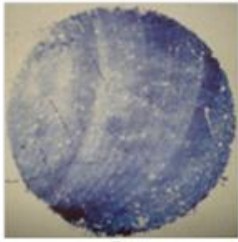
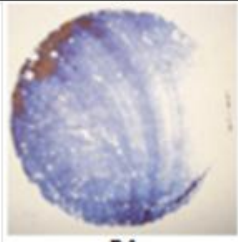
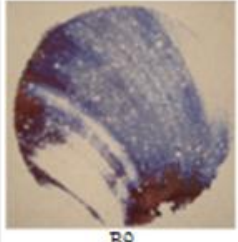
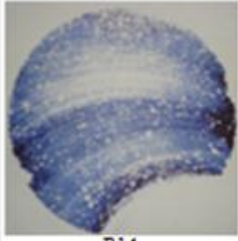
A grande variabilidade dos valores de resistência à compressão, obtidos pela retificação horizontal, deve estar relacionada às inúmeras ranhuras que esta retífica provoca na superfície do topo do CP ao regulariza-lo. A existência destas ranhuras ocasiona uma diminuição da área de contato, no momento de aplicação da carga pela prensa, resultando maiores valores de tensão aplicados aos corpos-de-prova retificados por este sistema. Estas ranhuras geram, também, topos de CP com superfícies de menor planicidade e homogeneidade resultando na formação de regiões de concentração de carga. Conforme pode ser visto nas figuras 24 e 25.

5.4 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO TOPO DOS CP

Como dito anteriormente, para avaliar fielmente a área de aplicação da carga, no ensaio de resistência à compressão, colocaram-se folhas de papel carbono em todas as unidades rompidas como pode ser visto nas figuras 26 a 31. Com essas imagens observou-se, além da diferença do aspecto superficial do concreto, em relação à retífica utilizada, a porosidade do mesmo. Após a remoção da camada superficial ficou bem evidenciado que quanto menor a resistência do concreto maior era o número de vazios e como esperado o carbono resultou colorações mais fracas, isto confirma que a porosidade diminui com o aumento da resistência.

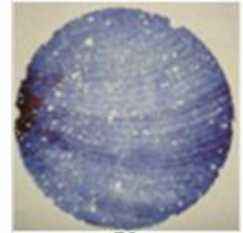
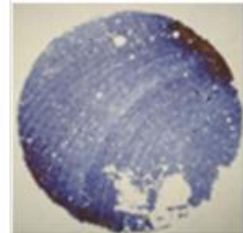
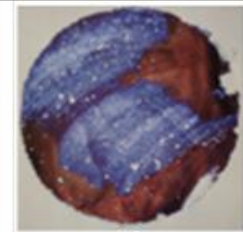

Os resultados obtidos demonstram a importância da obtenção de uma superfície lisa, com o menor número de ranhuras, ou reentrâncias, possível em CP ensaiados à compressão. Dessa forma, se for utilizada a retífica horizontal, deve-se tomar um maior cuidado na execução da retificação, processo executado pelo laboratorista, o que não ocorreu no caso estudado pelo trabalho.

Figura 24 – Comparação dos CP que apresentaram menores resistências com as imagens obtidas a partir das folhas de carbono, para o traço 2

Imagem	N° de camadas retiradas	Retífica utilizada	Resistência obtida (MPa)	Resistência média do grupo (MPa)	Desvio padrão grupo
 B4	C1	Horizontal	31,93	39,16	1,0
 B5	C1	Horizontal	29,56		
 B9	C2	Horizontal	24,99	33,67	1,62
 B14	C2	Horizontal	23,17		

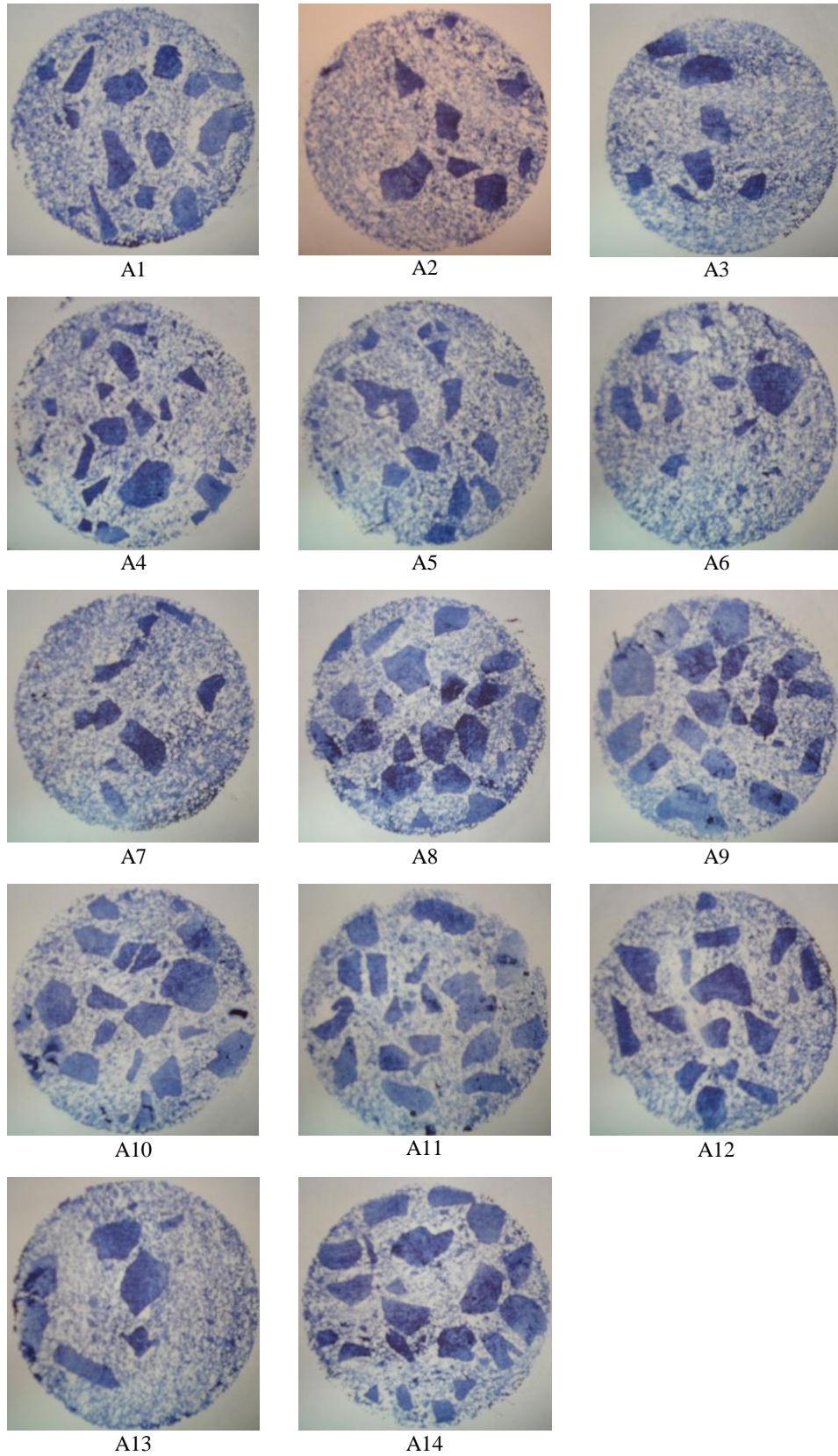
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 25 – Comparação dos CP que apresentaram menores resistências com as imagens obtidas a partir das folhas de carbono, para o traço 3

Imagem	N° de camadas retiradas	Retífica utilizada	Resistência obtida (MPa)	Resistência média do grupo (MPa)	Desvio padrão grupo
 B3	C1	Horizontal	45,11	50,13	4,38
 B4	C1	Horizontal	43,31		
 B8	C2	Horizontal	36,88	51,48	8,97
 B13	C2	Horizontal	40,24		

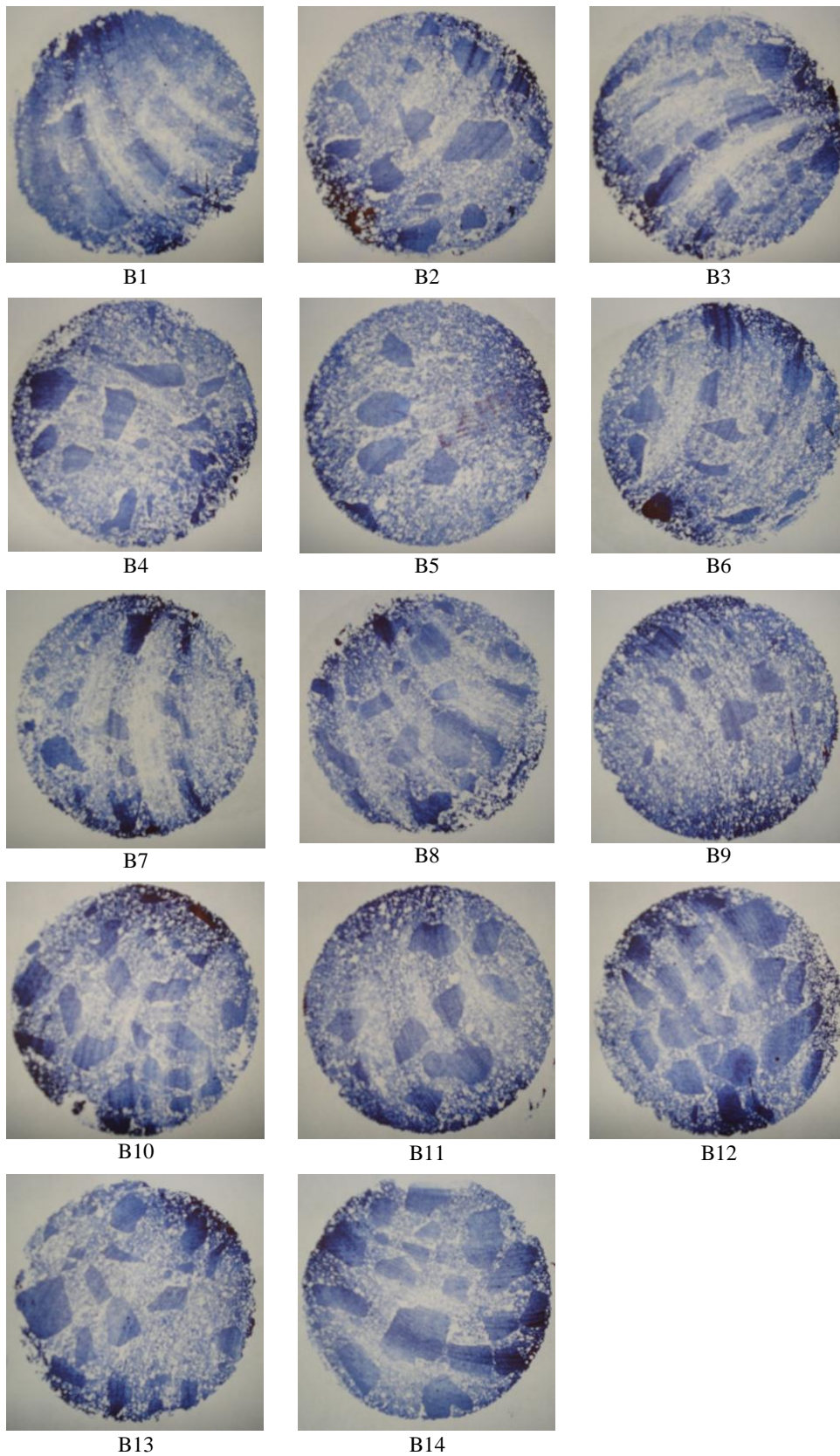
(fonte: elaborada pela autora)

Figura 26 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica vertical, traço 1



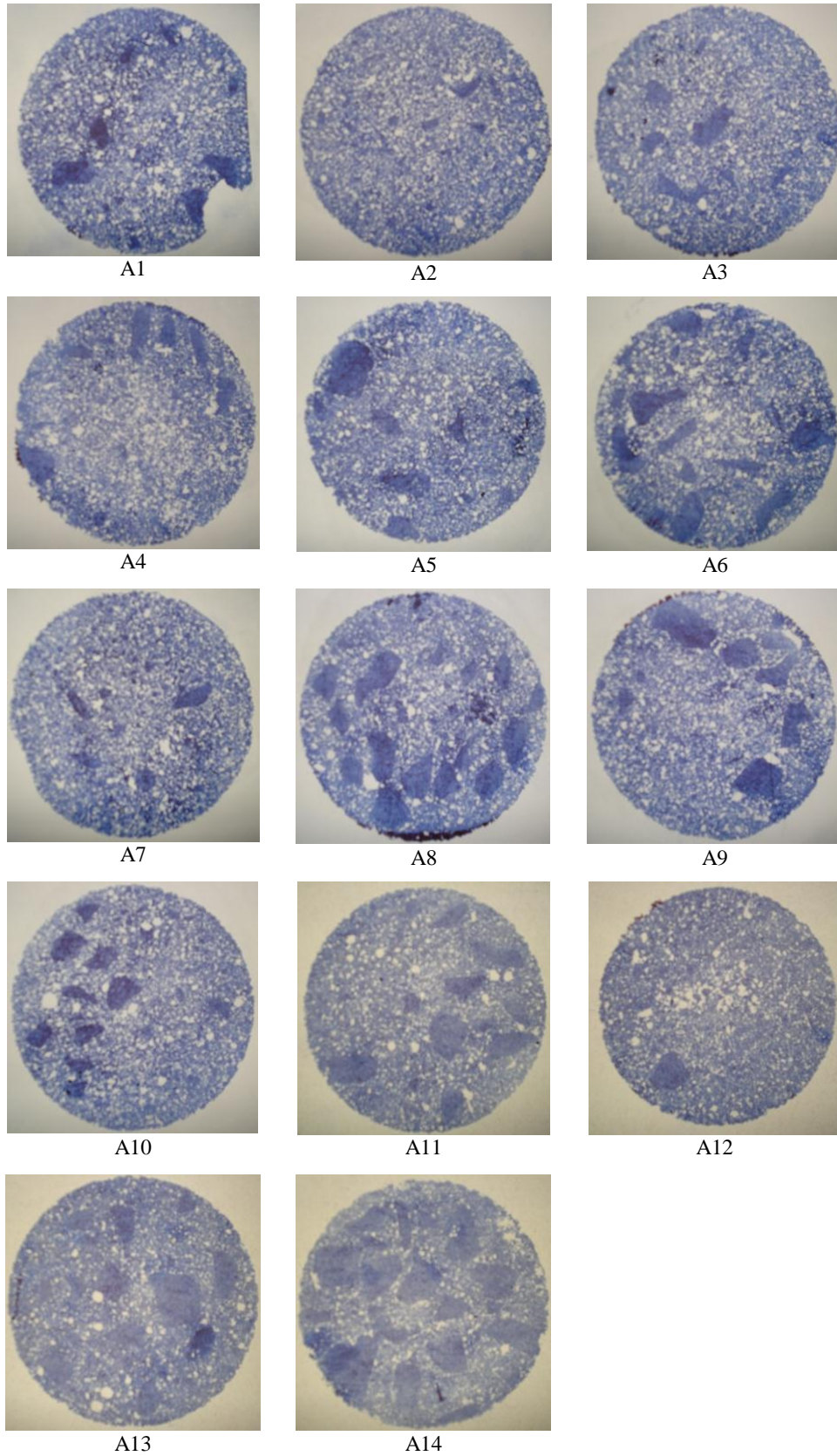
(fonte: foto da autora)

Figura 27– Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica horizontal, traço 1



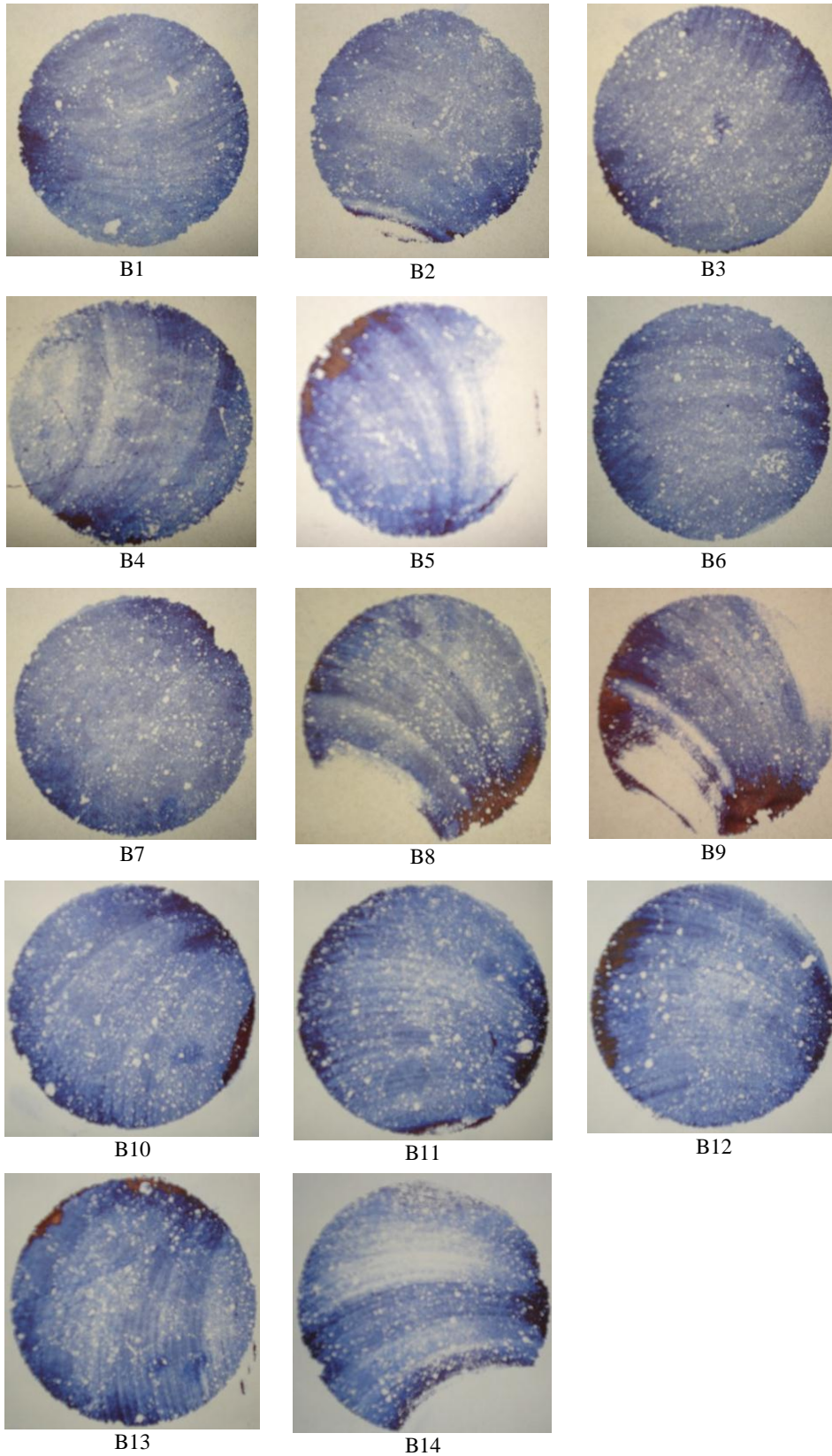
(fonte: foto da autora)

Figura 28 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica vertical, traço 2



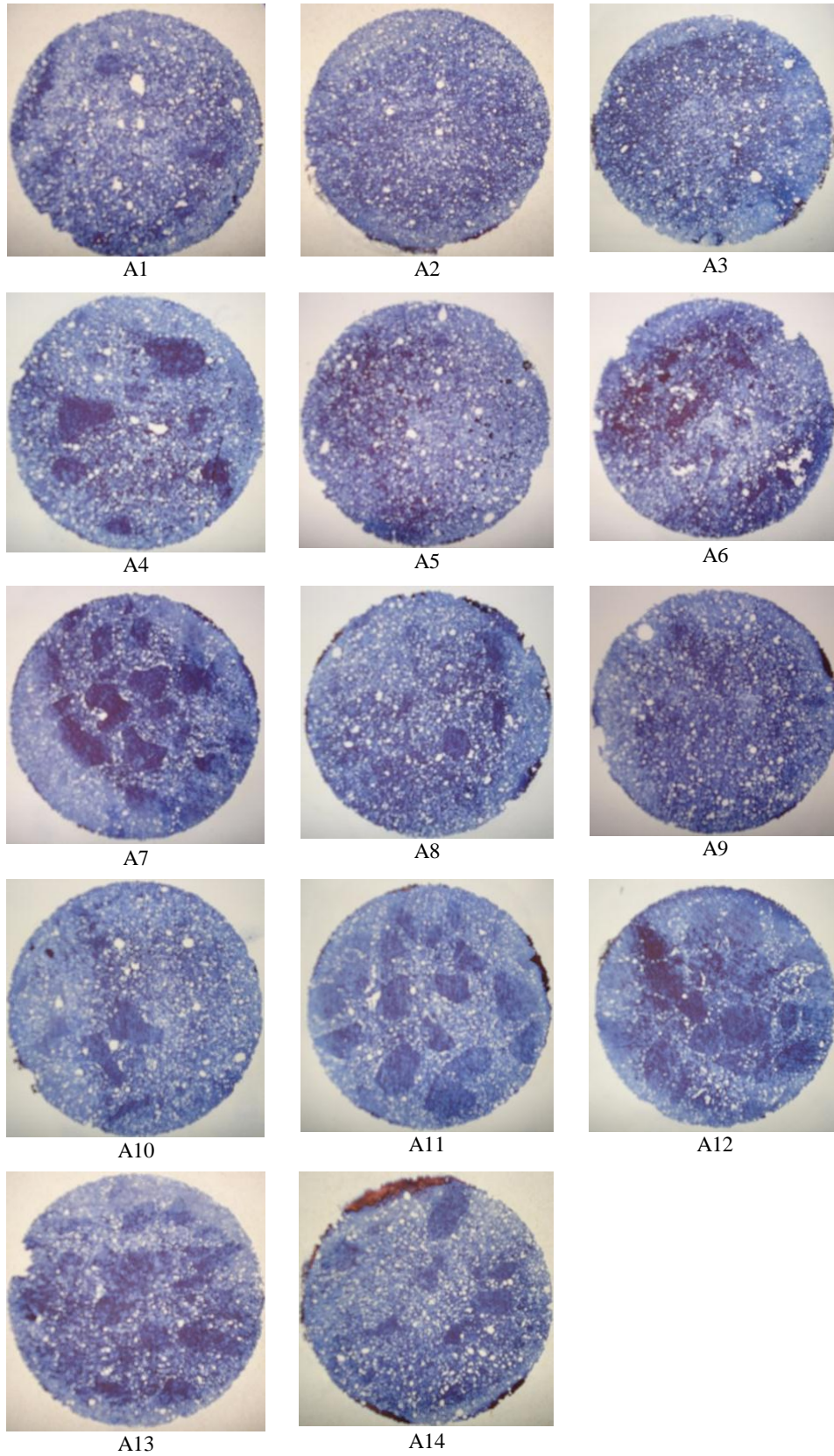
(fonte: foto da autora)

Figura 29 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica horizontal, traço 2



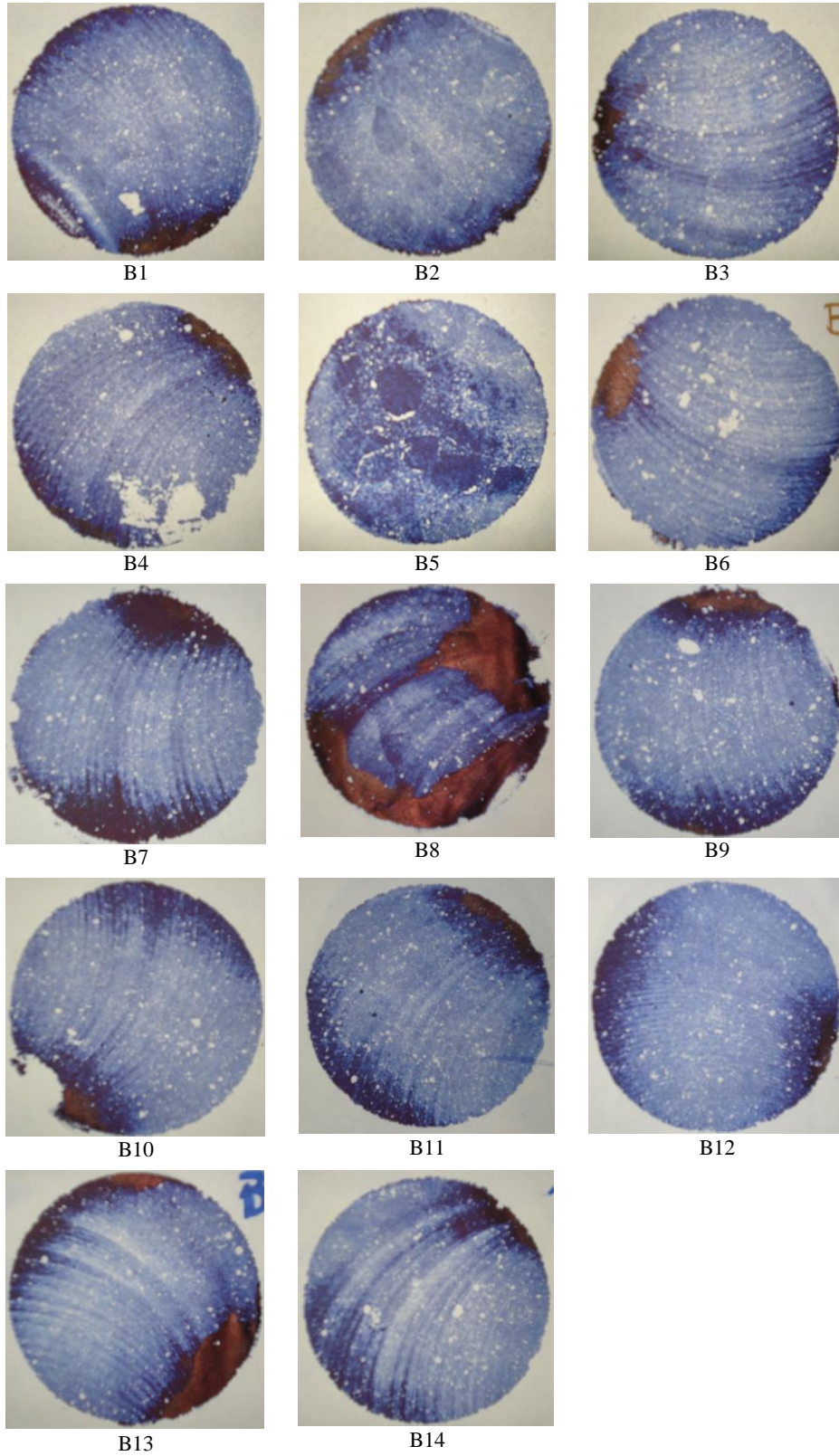
(fonte: foto da autora)

Figura 30 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica vertical, traço 3



(fonte: foto da autora)

Figura 31 – Imagem do topo dos 14 CP regularizados pela retífica horizontal, traço 3



(fonte: foto da autora)

5.5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo verificar qual a influência do equipamento de retificação na variabilidade dos resultados de resistência à compressão de corpos de prova de concreto. As conclusões aqui apresentadas são referentes aos ensaios realizados com os materiais anteriormente caracterizados e apresentados.

Com base nos experimentos realizados com corpos-de-prova retificados de diferentes maneiras, o presente trabalho concluiu, a partir de dados estatísticos, que o único fator significativo para a resistência à compressão, nos ensaios de rompimento de CP, é o tipo de retífica utilizado, sendo isto verdadeiro somente para os concretos de pequena e média resistência, cujos valores foram 23 e 37 MPa

Em relação às imagens das superfícies dos topos dos CP, obtidas a partir das folhas de papel carbono, é possível observar que as superfícies regularizadas pela retífica horizontal apresentaram ranhuras, decorrentes, provavelmente, da maneira que a máquina funciona, realizando um corte no topo do CP.

A presença destas ranhuras provocou um aumento de tensões na superfície devido diminuição da área de contato no momento de aplicação da carga pela prensa, além de ocasionar o acúmulo de tensões em alguns pontos do CP, devido a esta superfície se apresentar completamente plana. Dessa forma, a retífica horizontal apresentou grande variabilidade nos resultados, o que não ocorreu com a retífica vertical. Isto se reflete também nas imagens da retifica vertical, que deixa a superfície do CP com um ótimo acabamento, apresentando, dessa maneira, pequena variação nos resultados de resistência.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, F. R.; SGARBOZA, B. C. **Inspeção e controle de qualidade do concreto**. São Paulo: Newswork, 1993.
- ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS E. G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: agregado graúdo – determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR 12.654**: controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 12.655**: concreto – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 6118**: projeto de estrutura de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 7211**: agregados para o concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- BARBOSA, F. R.; MOTA, J. M. F.; COSTA E SILVA, A. J.; OLIVEIRA, R. A. Análise da influência do capeamento de corpos-de-prova cilíndricos na resistência à compressão do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2009. p. 1-16.
- BARBOSA, A. H.; OLIVEIRA, S. L. Análise de diferentes tipos de capeamento na resistência à compressão do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2010.
- BEZERRA, A. C. S. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos**: uma análise experimental e computacional. 2007. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- CHIES, J. A. **Corpos-de-prova submetidos à compressão**: influência do tipo de preparação das faces para diferentes níveis de resistência do concreto. 2011. 87 f. Trabalho de

Diplomação (Graduação em Engenharia) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COMITÉ MERCOSUR DE NORMALIZATION. **NM 77**: concreto: preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de resistência à compressão. Buenos Aires, 1996.

CONTENCO INDÚSTRIA. E COMÉRCIO LTDA. Concretos e agregados. Minas Gerais, 2005. Catálogo eletrônico. Disponível em: <http://www.contenco.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=317&Itemid=32>. Acesso em: 25 out. 2011.

FARIA, R. Análise concreta: para professor, atendimento do f_{ck} de projeto não deve ser visto isoladamente. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 17, n. 152, p. 22-27, nov. 2009a.

_____. Resistência à prova: concretos fornecidos podem não estar atingindo à compressão pedida nos projetos estruturais. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 17, n. 152, p. 42-49, nov. 2009b.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

ISAIA, G. C. O concreto: da era clássica à contemporânea. In: _____ (Ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ippis, 2005. p. 1-43.

JACINTHO, A. E. P. A.; GIONGO, J. S. Resistência mecânica do concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ippis, 2005. p. 605-632.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S. L. O cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ippis, 2005. p. 295-322.

MARCO, F. F.; REGINATTO, G. M.; JACOSKI, C. A. Estudo comparativo entre capeamento de neoprene, enxofre e pasta de cimento para corpos-de-prova cilíndricos de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003, Vitória. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2003.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

RUDUIT, F. R. **Resistência à compressão de amostras de concreto**: comparação dos resultados obtidos entre a preparação de topos com capeamento de enxofre derretido e retificação. 2006. 83 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SBRIGHI NETO, C. Agregados para concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ippis, 2005. p. 323-343.

SCANDIUZZI, L.; ANDRIOLO, F. R. **Concreto e seus materiais, propriedades e ensaios**. São Paulo: Pini, 1982.

SLOSASKI, R.; FERREIRA, R.; CASALI, J. M.; GOGOLA, G. Estudo da influência da distribuição granulométrica controlada de agregados de britagem nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2010.

SOLOTEST. Concreto e agregado. São Paulo, 2011. **Catálogo eletrônico**. Disponível em: <http://www.solotest.com/catalogos/Catalogo_SOLOTEST_Concreto.pdf>. Acesso em: 25 outubro 2011.

TANGO, C. E. S. Produção, Transporte e Controle do Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Ippis, 2005. p. 495-525.

VIEIRA, G. L. **Influência da microfissuração causada por carregamento precoce nas propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes tipos de cimento**. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZANETTI, J. J. Falhas nos processos de controle tecnológico em laboratório que comprometem os resultados de resistência dos concretos. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo: Ibracon, ano 38, n. 152, p. 31-39, out./nov./dez. 2010.