

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Bernardo Beckenkamp Hansmann

**A INFLUÊNCIA DA AREIA COMO AGREGADO MIÚDO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO**

Santa Cruz do Sul, 17 de agosto de 2020.

Bernardo Beckenkamp Hansmann

**A INFLUÊNCIA DA AREIA COMO AGREGADO MIÚDO NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do
Sul.

Orientador: Lucas Alexandre Reginato

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais por me proporcionarem todo o apoio necessário durante esse período, a todos meus colegas que contribuíram de certa forma.

Por fim, agradeço ao meu colega Thiago Pereira, o qual me acompanhou desde o princípio do curso até o último momento.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da granulometria da areia como agregado miúdo na resistência à compressão e no módulo de elasticidade do concreto. Para isto foram produzidos três tipos concretos com traço 1: 2: 3 e fator água/cimento de 0,45. O primeiro tipo de concreto consiste no Traço A, no qual foi utilizada a areia fina como agregado miúdo, no segundo concreto (Traço B) foi utilizada a areia média como agregado miúdo, e por fim o último tipo de concreto (Traço C) foi utilizada a areia grossa como agregado miúdo.

Após a produção do concreto para os ensaios laboratoriais, foram obtidos 18 corpos de provas para cada tipo de concreto, resultando em um total de 54 corpos de provas. Para cada tipo, na idade de 7 dias, foram realizados os ensaios de Resistência à Compressão Axial (em 6 corpos de prova); Resistência à Tração por Compressão Diametral (em 3 corpos de prova) e Módulo de Elasticidade (em 3 corpos de prova). Na idade de 28 dias, para cada tipo, foram executados os ensaios de Resistência à Compressão Axial (em 3 corpos de prova) e Módulo de Elasticidade (em 3 corpos de prova).

Também foram caracterizadas as areias grossa, média e fina da região de Santa Cruz do Sul –RS, utilizadas, e os resultados estão incluídos neste trabalho. Os resultados dos ensaios são apresentados ao final desse trabalho, onde se observam as variações medidas e conclusões inferidas.

Diante dos ensaios executados ao longo do trabalho, conclui-se que a granulometria da areia influencia nas propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, os resultados apontam que a areia média apresentou os melhores resultados em todos os ensaios.

Lista de Quadros

Quadro 1: Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos	18
Quadro 2: Métodos utilizados para avaliar as propriedades do concreto em estruturas acabadas	35
Quadro 3: Caracterização dos agregados.....	48
Quadro 4: Ensaio no concreto.....	61

Lista de Figuras

Figura 1: Fabricação do cimento.....	14
Figura 2: Matérias primas básicas para a fabricação do cimento Portland.....	15
Figura 3: Clínquer para fabricação de cimento.....	16
Figura 4: Produção do clínquer.....	16
Figura 5: Agregados de várias granulometrias.....	19
Figura 6: Rochas de origem de agregados	20
Figura 7: Agregado Graúdo	22
Figura 8: Areia natural	23
Figura 9: Faixa granulométrica das areias	24
Figura 10: Efeito da cura duração no desenvolvimento de resistência à compressão.....	26
Figura 11: Relação entre o ganho de resistência e o tempo de cura.....	27
Figura 12: Efeito da temperatura na resistência à compressão durante a cura	28
Figura 13: Representação esquemática da zona de transição.....	29
Figura 14: Redução da resistência em função do % de vazios	32
Figura 15: Representação esquemática do módulo de deformação secante (Ecs)	33
Figura 16: Representação esquemática do módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (Eci)	34
Figura 17: Representação da distribuição da resistência à compressão do concreto. Curva de Gauss com parâmetros obtidos de amostras	37
Figura 18: Corpo de prova para determinação da resistência direta.	39
Figura 19: Ensaio de tração por compressão diametral	40
Figura 20: Ensaio de tração a flexão.....	40
Figura 21: Diagramas de esforços solicitantes resultantes do ensaio de tração na flexão ...	41
Figura 22: Modelo simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro	44
Figura 23: Fluxograma das atividades	46
Figura 24: Encaixe das peneiras.....	51
Figura 25: Enchimento do recipiente com agregado.	54
Figura 26: Nivelamento da camada superficial do recipiente.	55
Figura 27: Recipiente submerso	57
Figura 28: Sequência para a determinação da massa específica do agregado graúdo.....	58
Figura 29: Preparação do concreto.....	59
Figura 30: Moldagem corpo de provas.....	61
Figura 31: Rompimento por Compressão Axial do corpo de prova	62
Figura 32: Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.	63
Figura 33: Ensaio de Determinação do Módulo de Elasticidade.	63

Figura 34: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos	65
Figura 35: Crescimento das resistências à compressão axial do concreto obtidas nos ensaios.	68
Figura 36: Crescimento das resistências à tração por compressão diametral do concreto obtidas nos ensaios.	70
Figura 37: Comportamento do módulo de elasticidade dos traços.	71

Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição dos cimentos Portland comuns e compostos alto-forno e pozolânicos e alta resistência inicial	17
Tabela 2: Classificação granulométrica das britas	22
Tabela 3: Relação água/cimento - resistência do concreto	25
Tabela 4: Massa mínima por amostra de ensaio.....	49
Tabela 5: Máxima quantidade de material sobre as peneiras.	51
Tabela 6: Volume do recipiente.	53
Tabela 7: Massa mínima da amostra de ensaio.....	57
Tabela 8: Quantidade de ensaios/corpos de prova	59
Tabela 9: Características físicas e granulométricas dos agregados miúdos	64
Tabela 10: Características físicas e granulométricas dos agregados graúdos	65
Tabela 11: Traço A – Resultados ensaio de resistência à compressão axial.	66
Tabela 12: Traço B - Resultados ensaio de resistência à compressão axial.	67
Tabela 13: Traço C – Resultados ensaio de resistência à compressão axial.	68
Tabela 14: Resultados ensaios de resistência à tração por compressão diametral.....	69
Tabela 15: Determinação do módulo de elasticidade para os traços A, B e C.	71

Lista de Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
NBR	Denominação de Norma da ABNT

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	9
1.1.1	Objetivo Geral	9
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.2	Justificativa	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Considerações iniciais sobre o concreto	11
2.2	Concreto de cimento Portland	12
2.3	Fatores que influenciam a qualidade do concreto	13
2.4	Características do concreto	13
2.4.1	Propriedades Mecânicas	13
2.4.2	Massa Específica	14
2.5	Materiais constituintes do concreto	14
2.5.1	Cimento	14
2.5.2	Agregados para concreto	18
2.6	Resistência do Concreto	24
2.6.1	Resistência à Compressão	25
2.7	Cura de Concreto	26
2.7.1	Efeito da Temperatura na Cura	28
2.8	Micro Estrutura do Concreto	28
2.9	Influências do Agregado Miúdo no Concreto	30
2.10	Produção do Concreto	30
2.10.1	Dosagem dos Concretos	30
2.10.2	Mistura do Concreto	31
2.10.3	Lançamento	32
2.10.4	Adensamento	32
2.11	Conceito de Elasticidade dos Materiais	33
2.12	Avaliação da Resistência do Concreto Endurecido	34
2.12.1	Métodos Destrutivos	35
2.12.2	Métodos não Destrutivos	41
2.12.3	Método de Esclerometria	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45

3.1	Metodologia.....	45
3.1.1	Síntese do Trabalho.....	45
3.2	Materiais.....	47
3.2.1	Cimento	47
3.2.2	Agregado Miúdo.....	47
3.2.3	Agregado Graúdo.....	47
3.3	Caracterização de Materiais e Ensaio.....	48
3.3.1	Caracterização do Agregados.....	48
3.3.2	Preparação dos Tipos de Concreto.....	58
3.3.3	Ensaio no concreto.....	60
3.3.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	61
3.3.5	Determinação da Resistência à Compressão Axial	62
3.3.6	Resistência à Tração por Compressão Diametral	62
3.3.7	Determinação do Módulo de Elasticidade	63
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	64
4.1	Caracterização dos Agregados.....	64
4.1.1	Agregados Miúdos	64
4.1.2	Agregados Graúdos	65
4.2	Ensaio no Concreto	66
4.2.1	Resistência à Compressão Axial.....	66
4.2.2	Resistência à Tração por Compressão Diametral	69
4.2.3	Determinação do Módulo de Elasticidade	70
5	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO.....	73
6	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	75

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo material mais usado na construção civil, por sua resistência, facilidade de moldar e trabalhar.

Uma rocha obtida artificialmente mesclando um aglomerante hidráulico, o cimento, agregados minerais resistentes e água para obter a reação do cimento. Usado desde a construção mais popular quanto na obra mais requintada.

Apesar ser obtido simplesmente misturando estes componentes em quantidades pré-determinadas parece um material sem segredos, mas quando procura-se estudar a fundo as reações e fenômenos que ocorrem no endurecimento do concreto percebe-se a sua complexidade, sendo um material que merece e é continuamente estudado.

A característica principal do concreto endurecido é sua resistência a compressão, sendo essa característica muito depende da qualidade das ligações entre a pasta de cimento e os agregados.

Dentro de um amplo espectro de possibilidades de influências na qualidade destas ligações, a participação do agregado miúdo deve ser cuidadosamente estudada, ainda mais que é o segundo ingrediente em quantidade mais usado na dosagem.

Como se comportaria a resistência do concreto se fosse suprimido a agregado miúdo, para esse agregado disponível na região influência da sua granulometria, forma dos grãos, são perguntas instigantes que norteiam este trabalho.

1.1 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em um objetivo geral e em objetivos específicos, apresentados abaixo.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência do agregado miúdo nas características do concreto no estado endurecido.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os agregados miúdos de origem natural disponíveis na região de Santa Cruz do Sul-RS.
- Determinar por meio de ensaios em laboratório e de acordo com as normas a influência desses nas seguintes características do concreto:
 - Resistência à compressão axial;
 - Resistência à tração por compressão diametral;
 - Módulo de elasticidade.

1.2 Justificativa

Visto a importância que os sistemas construtivos com base no concreto possuem dentro da construção civil, o concreto apesar do ponto de vista simplista, resultar de uma receita, simples, onde mistura-se basicamente cimento com agregados, na verdade é resultado de reações complexas que dependem de muitas variáveis, sendo que o elo mais fraco no sólido obtido é a interface entre pasta/agregado.

É um material em constante estudo, tanto para obtenção de melhores desempenhos de resistência e durabilidade, quanto aspectos econômicos.

Importante, portanto, estudar a contribuição do agregado miúdo no comportamento da zona de transição e por consequência a influência nas suas propriedades físicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será abordada a seguir, as considerações iniciais do concreto, seguido de suas propriedades constituintes, sua composição e suas respectivas características, bem como os fatores que influenciam na sua qualidade e seus métodos executivos.

2.1 Considerações iniciais sobre o concreto

Concreto é definido como um material plástico, que antes do endurecimento, pode ser moldado para adquirir a uma forma desejada, e após o endurecimento possuir resistência suficiente para suportar aos esforços que o solicitam (KAEFER, 1998).

Muitos tipos de concretos já foram utilizados ao longo da história, destaque para concreto utilizado na Roma Antiga feito com cinzas vulcânicas, cal e água do mar, que forma um mineral chamado tobermorita aluminosa, que se torna mais forte ao passar do tempo, ao contrário do concreto a base de cimento Portland afirma a geóloga e geofísica Marie Jackson, da Universidade de Utah, nos Estados Unidos.

O concreto atualmente mais utilizado é elaborado à base de cimentos do tipo Portland, cuja história começa com a invenção deste cimento por Joseph Aspdin, na Inglaterra, queimando calcário e argila finamente moídos e misturados a altas temperaturas para retirada do o gás carbônico (CO₂), o material obtido era então moído para ser então utilizado (KAEFER, 1998).

Mehta e Monteiro (2006) citam que o concreto, embora não seja tão duro e nem tão resistente quanto o aço, é o material mais utilizado na construção, listando vários fatores para esta utilização como a resistência a água, pouca manutenção, facilidade de se obter elementos estruturais de várias formas e tamanhos, o custo e a disponibilidade.

Helene (2010) considera o concreto de cimento Portland como o mais importante material da construção civil da atualidade e como uma das invenções mais significativas do desenvolvimento da sociedade e para a qualidade de vida. Conforme o referido autor, a partir do fim do século XIX e a utilização massiva no século XX, o definiram como, depois da água, no material mais consumido pela humanidade, revolucionando a arquitetura e as construções.

2.2 Concreto de cimento Portland

Bastos (2006) descreve o concreto como um material composto, sendo o cimento, o agregado miúdo, o agregado graúdo e a água seus principais elementos. Bastos (2006) acrescenta que deve ser obtido por uma cuidadosa dosagem, definindo a quantidade de cada um dos materiais com o objetivo de determinar diversas as características desejadas do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Atualmente a produção de concreto é feita a partir do "cimento Portland", que é obtido por meio de um processo chamado clinquerização, onde uma mistura de calcário, argila, silício, alumínio e ferro é aquecida a uma temperatura de 1.450 graus Celsius (BASTOS, 2006).

Segundo Almeida (2002), o concreto resulta da mistura de um aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água, e após a mistura, deve possuir plasticidade adequada para as operações de utilização, e devido às reações químicas entre o cimento e água com o passar do tempo adquire coesão e resistência mecânica, podendo em alguns casos serem adicionados aditivos para modificar a características físicas e químicas do concreto.

Helene (2010), afirma que a mistura de Cimento Portland, com a água, dependendo da quantidade água adicionada, produz uma pasta mais ou menos fluida, e que a pasta produzida, ao envolver as os agregados, se transforma num material que pode ser moldado nas primeiras horas nas mais variadas formas geométricas. Devido à reação irreversível da água com o cimento a mistura endurece, tornando-se um material de excelente desempenho estrutural, nos mais diversos ambientes de utilização.

Segundo Almeida (2002), pasta é a mistura do cimento com a água, argamassa a mistura da pasta com agregado miúdo e concreto o resultado da argamassa com a adição do agregado graúdo.

Para obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, segundo Almeida (2002), deve-se estudar:

- as propriedades materiais componentes;
- as propriedades do concreto;
- fatores que podem alterar as propriedades;

- o proporcionamento dos componentes;
- a execução cuidadosa da mistura;
- controle do concreto durante a elaboração e após o endurecimento.

2.3 Fatores que influenciam a qualidade do concreto

Segundo Almeida (2002), os fatores que influenciam qualidade do concreto são:

- Qualidade dos materiais, materiais de boa qualidade produzem concreto de boa qualidade;
- Proporcionamento adequado, relação entre as quantidades: de cimento e de agregados, de agregados graúdo e miúdo, água e o cimento;
- Manipulação adequada, o amassamento, o transporte, lançamento nas formas e adensamento realizados corretamente;
- Cura cuidadosa, a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam.

Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto.

2.4 Características do concreto

Pinheiro et al. (2004), cita que a mistura de cimento, agregados e água resulta num material, o concreto, cujas características físicas são muito dos diferentes elementos que o constituem.

2.4.1 Propriedades Mecânicas

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas.

Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações (PINHEIRO et al. 2004).

2.4.2 Massa Específica

Serão considerados os concretos de massa específica normal (ρ_c), compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 . Para efeito de cálculo, pode-se adotar para o concreto simples o valor 2400 kg/m^3 (PINHEIRO et al. 2004).

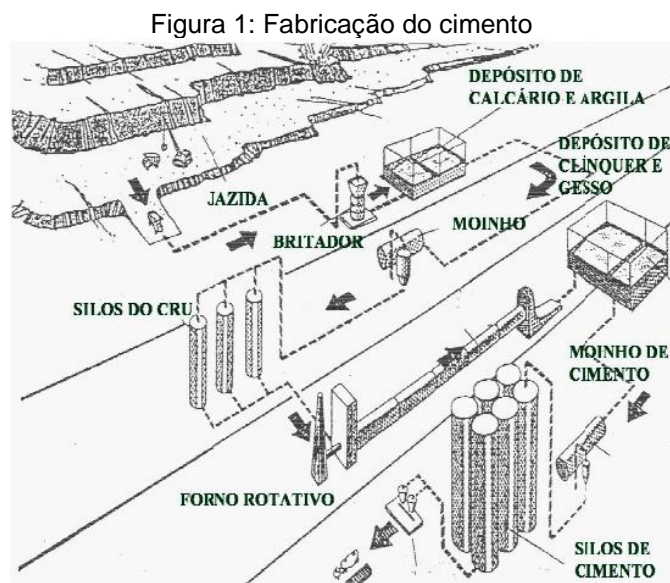
2.5 Materiais constituintes do concreto

2.5.1 Cimento

A NBR 16697 (ABNT, 2018) define o cimento como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição. Os clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.

O cimento é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente, presente em todos os tipos de cimento. O clínquer tem como matérias-primas básicas o calcário e a argila. A propriedade básica do clínquer é que ele é um ligante hidráulico, que endurece em contato com a água (BASTOS, 2006).

O cimento é um aglomerante hidráulico produzido (Figura 1) a partir de uma mistura de rocha calcária e argila (Castro, 20XX).



Fonte: Kihara et al. (1990)

Aglomerante porque tem a propriedade de unir outros materiais. Hidráulico porque reage (hidrata) ao se misturar com água e depois de endurecido ganha características de rocha artificial, mantendo suas propriedades (MARTINS et al. 2007).

O calcário é a matéria-prima básica no processo de obtenção do clínquer contribuindo com 85 a 95%, sendo basicamente carbonato de cálcio (CaCO_3), pode conter impurezas como magnésio, silício, alumínio e ferro. Para melhorar a qualidade do clínquer, o calcário recebe algumas correções complementares de FILITO (argila alumínio Al_2O_3): QUARTZITO (material arenoso SiO_2): MINÉRIO DE FERRO: este colabora com Fe_2O_3 . Este conjunto de materiais (Figura 2) é enviado para moagem, em proporções pré-determinadas, onde se processa o início da mistura íntima, secagem e a homogeneização necessária, formando-se a farinha crua (MARTINS et al. 2007).

Figura 2: Matérias primas básicas para a fabricação do cimento Portland



Fonte: Disponível em <<https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1276.pdf>>.

Acesso em: 29 de set. de 2019.

Oliveira (2008), A calcinação dessa mistura na temperatura de fusão dá origem ao clínquer, um produto granuloso (Figura 3), cuja composição química é constituída essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de outras substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

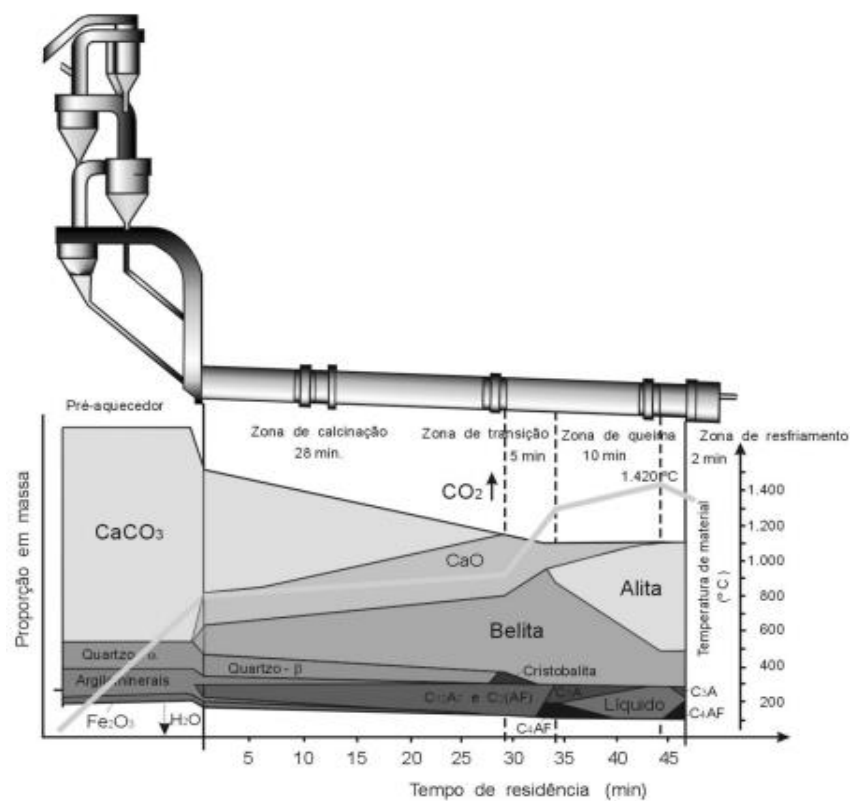
Figura 3: Clínquer para fabricação de cimento



Fonte: Bastos (2006).

Segundo Bastos (2006) a mistura do calcário moído com a argila após ser submetida a um calor intenso de até 1450°C é então bruscamente resfriada, formando pelotas (o clínquer). Adições como gesso, escórias de alto-forno, e os materiais pozolânicos e carbonáticos são misturadas no processo de moagem do clínquer e são elas que definem as propriedades dos diferentes tipos de cimento. A Figura 4 representa o desenvolvimento dos compostos do clínquer nas cinco zonas principais de um forno.

Figura 4: Produção do clínquer



Fonte: Wolter (1985).

Martins et al. (2007), os compostos principais clínquer são os seguintes:

- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ Silicato tricálcico = (C_3S) 18 a 66% no cimento
- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ Silicato dicálcico (C_2S) 11 a 53% no cimento
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ Aluminato tricálcico = (C_3A) 05 a 20% no cimento
- $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ Ferro aluminato tetracálcico = (C_4AF) 04 a 14% no Cimento.

No Brasil, em função da sua composição, os tipos de cimento existentes são cimento Portland comum, o composto, o de alto-forno, o pozolânico, o de alta resistência inicial o resistente a sulfatos, o branco e o de baixo calor de hidratação. Entre os tipos de cimento existentes na Tabela 1, os mais comumente utilizados são o CII E-32, o CII, F-32 e o CIII-40. Já o cimento CPV-ARI é bastante muito utilizado em fábricas de estruturas pré-moldadas (BASTOS, 2006).

Tabela 1: Composição dos cimentos Portland comuns e compostos alto-forno e pozolânicos e alta resistência inicial

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
	CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^a	ARI		90 – 100	0	0	0 – 10
Cimento Portland branco	Estrutural	25, 32 ou 40	-	75 – 100	-	-	0 – 25
	Não estrutural			-	-	-	26 – 50

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018)

De acordo com Oliveira (2008), entre os constituintes fundamentais do cimento (95 a 96%) são:

- Cal (CaO);
- Sílica (SiO₂);
- Alumina (Al₂O₃)
- Óxido de Ferro (Fe₂O₃)
- Magnésia (MgO) – em proporção máxima de 5%
- Impurezas.

Quadro 1: Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos

Propriedade	Tipo de cimento portland						
	Comum e Composto	Alto-Forno	Pozolânico	Alta Resistência Inicial	Resistente aos Sulfatos	Branco Estrutural	Baixo Calor de Hidratação
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e de esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

2.5.2 Agregados para concreto

Varela (2012), define os agregados (Figura 5) como materiais granulosos, naturais ou artificiais, divididos em partículas de formatos e tamanhos mais ou menos uniformes.

Figura 5: Agregados de várias granulometrias



Fonte: Disponível em: <<http://www.halitbayramoglu.com.tr/yapi-malzemeleri/kaba-insaat-malzemeleri/itemlist/tag/%C4%B0NCE%20KUM%20BURSA.html>>. Acesso em: 27 de set. de 2019.

Segundo Pimentel (2007), as funções dos agregados são:

- contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries;
- reduzir as variações de volume provenientes de várias causas
- reduzir o custo.

Pimentel (2007), afirma que cerca de 70% do volume do concreto são ocupados pelos agregados, portanto, a qualidade destes vão ter importância na resistência mecânica do produto acabado, na sua durabilidade e no desempenho estrutural.

Conforme Varela (2012) os agregados são classificados:

a) Quanto à origem (Figura 6)

- Naturais: são os agregados que não sofreram nenhum processo de beneficiamento, sendo encontrado na natureza já na forma particulada e

com dimensões aplicáveis a produção de produtos da construção, como argamassas e concretos. Ex.: areia de rio e seixos.

Figura 6: Rochas de origem de agregados

Sedimentares:



Arenito



Calcário

Ígneas:



Basalto



Granito

Metamórficas:



Ardósia



Mármore



Gnaisse

Fonte: Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/>>. Acesso em: 28 de set. de 2019.

- Artificiais: são os agregados que sofreram algum processo de beneficiamento por processos industriais, como por exemplo, britagem. Ex.: britas, argilas expandidas, escória granulada de alto forno, vermiculita

b) Quanto ao Massa Unitária

- Agregados leves: são os agregados com massa unitária inferior a 1120 kg/m³, sua aplicação principal é na produção de concretos leves, essa menor massa é devido a sua microestrutura celular e altamente porosa.

Ex. agregados artificiais como vermiculita expandida, escória expandida, entre outros

- Agregados normais: são os agregados com massa unitária entre 1500 e 1800 kg/m³, sua principal aplicação é na produção de concretos convencionais. Ex. areia lavada de rio, britas graníticas e calcárias, entre outras.

- Agregados pesados: são os agregados com massa unitária superior a 1800 kg/m³, sua aplicação principal é na produção de concretos pesados, utilizados para blindagens de radiação. A maior massa destes agregados é devido à presença dos minerais de bário, ferro e titânio na estrutura dos agregados. Ex. Barita, hematita entre outros.

c) Quanto a dimensão das partículas - Granulometria

- Agregado miúdo: 0,075mm < < 4,8mm.

Exemplos:

- pó de pedra, areia e siltes. Esses fragmentos passam na peneira com 4,8 mm de abertura.

- Agregado graúdo: 4,8mm.

Exemplo:

- seixo rolado, brita e argila expandida. Esses fragmentos são retidos na peneira com abertura de 4,8 mm.

2.5.2.1. Agregado Graúdo

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm em ensaio realizado segundo NBR NM 248 (ABNT, 2003), com peneiras definidas a ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010 (NBR 7211:2005). A Figura 7 mostra o agregado graúdo.

Figura 7: Agregado Graúdo



Fonte: Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-tipos-de-brita/>>.

Acesso em: 28 de set. de 2019.

Rodrigues (2006) relata que a forma geométrica o tipo de mineral, e textura das partículas afetam diretamente a resistência à tração na flexão. Acrescenta que estudos demonstraram que resistência à tração na flexão pode ser até 25% maior para a mesma relação água/cimento dependendo das características do agregado. Este autor complementa que a forma cúbica é a ideal, já agregados disformes (forma de disco) ou aciculares (forma de agulha) causam no concreto menor resistência à flexão (RODRIGUES, 2006).

Tabela 2: Classificação granulométrica das britas

Pedra britada numerada	NBR-7211/NBR-7225		Comercial	
	Tamanho Nominal			
	Malha de peneira (mm)			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0	-	-	4,8	9,5
Brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
Brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
Brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
Brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
Brita 5	76,0	100,0	-	-

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005)

2.5.2.2. Agregado Miúdo

A NBR NM 248 (ABNT, 2003) define como agregado miúdo cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm .

O agregado miúdo utilizado em concretos é usualmente a areia natural (Figura 8) extraída dos rios ou proveniente do rejeito de britagem do agregado graúdo. Nas pedreiras o material residual, pó de pedra resultado da britagem da rocha na produção de agregado graúdo varia de 10% a 40%, conforme tipo de britagem material que se acumula nas pedreiras (ISHIKAWA, 2010).

Figura 8: Areia natural

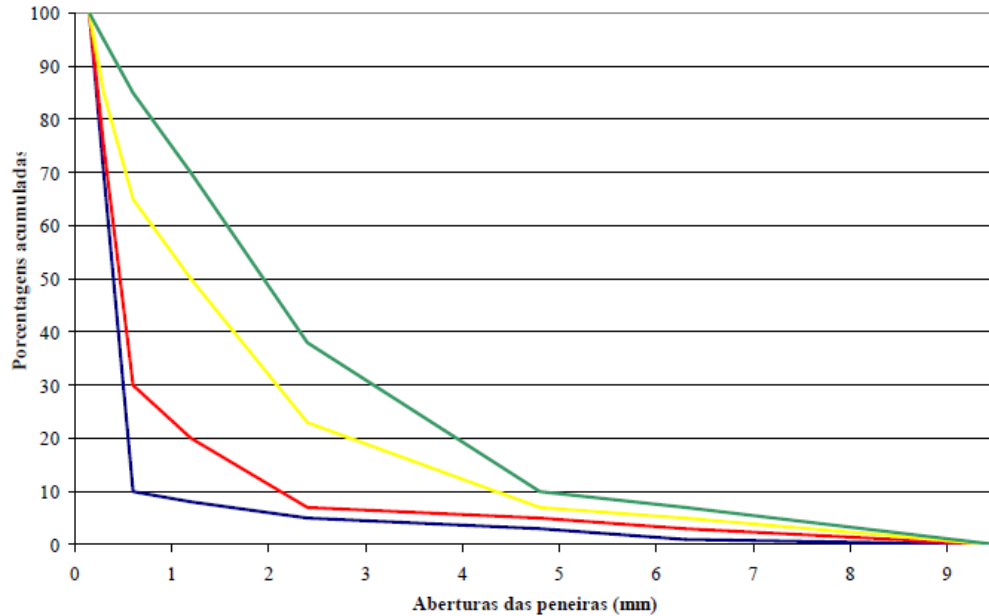


Fonte: Bastos (2006).

Segundo Varela (2012), as areias são provenientes da desagregação de rochas podendo se encontrado com grãos de tamanhos diversos, podendo ser classificadas como areia grossa, média e fina (Figura 9), de acordo com a granulometria, provenientes de leitos de rios rio ou do solo (jazida). Não recomendado o uso da areia

de praia (por conter sal) e areia com matéria orgânica, por principalmente prejudicar as reações químicas do cimento.

Figura 9: Faixa granulométrica das areias



Fonte: Andolfato (2002).

2.5.2.3. Areia Industrial

Areia de brita ou areia artificial: agregado obtido dos finos resultantes da produção da brita, dos quais se retira a fração inferior a 0,15 mm. Sua graduação é 0,15/4,8mm retida/passante.

2.6 Resistência do Concreto

O concreto é um material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos de tração. Sua resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão. Nos ensaios de flexão obtém-se valores da resistência à tração (módulo de ruptura) da ordem do dobro das resistências obtidas por tração simples (ROMANO, 2004).

2.6.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão é uma das características mais importantes do cimento Portland e é determinada em ensaio normal descrito na NBR 5739 (ABNT, 2018).

Para Mehta e Monteiro (2006), a propriedade do concreto mais valorizada pelos engenheiros projetistas e de controle de qualidade é a resistência. Acrescentam que a preocupação com a necessidade da construção de obras duráveis no nosso país é recente, isto porque para os antigos projetistas e construtores as obras em concreto tinham intrinsecamente durabilidade infinita.

Nos sólidos a resistência mecânica é inversamente ao índice de porosidade (fração de volume de vazios). Portanto a porosidade de cada componente ou fase de sua estrutura pode se tornar um fator limitante da resistência (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Segundo Mehta e Monteiro (2006), a porosidade da pasta de cimento endurecida, e a porosidade da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo normalmente determinam a característica de resistência dos concretos usuais, já que os agregados naturais são normalmente densos e resistentes.

Mehta e Monteiro (2006), relatam que o fator mais importante que determina o grau de porosidade da matriz (pasta de cimento) e da zona de transição é a relação água/cimento (Tabela 3) e conseqüentemente da resistência do concreto.

Tabela 3: Relação água/cimento - resistência do concreto

Fator água / cimento (X) para cimento portland tipo I	Resistência média aos 28 dias (f_{cm})	
	kgf/cm^2	MPa
0,37	450	45
0,40	400	40
0,45	350	35
0,50	300	30
0,55	250	25
0,60	220	22
0,65	200	20
0,70	175	17,5
0,75	150	15
0,80	130	13
0,90	100	10

Fonte: Andolfato (2002).

Para Mehta e Monteiro (2006), outros fatores são também importantes para a resistência como adensamento, condições de cura (grau de hidratação do cimento), dimensões, geometria e mineralogia do agregado, aditivos entre outros.

A massa específica do agregado graúdo influi diretamente na massa específica final do concreto e a massa específica do agregado é também diretamente proporcional à resistência a compressão do concreto (KAEFER, 1998).

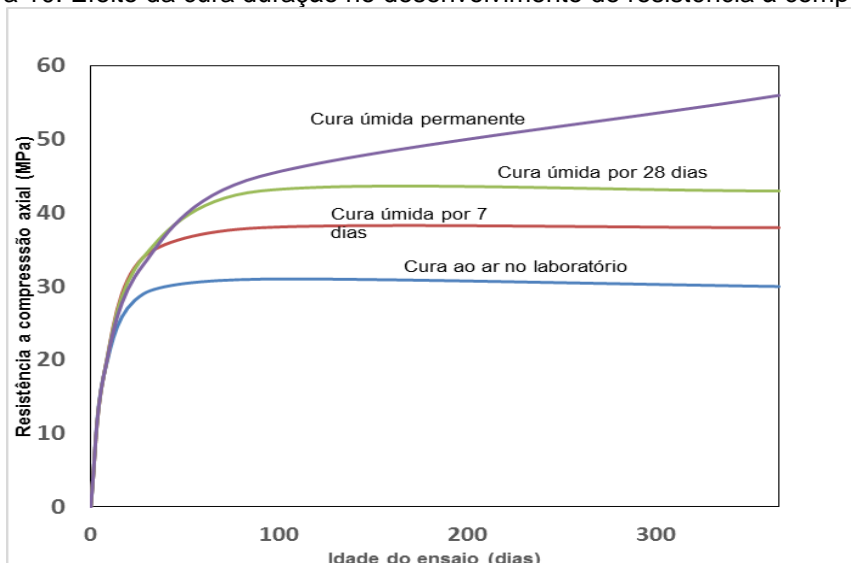
2.7 Cura de Concreto

A cura do concreto diz respeito às ações e condições, temperatura e umidade, que promovem a hidratação do cimento, logo após o lançamento do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Curti (2012) cita que o objetivo da cura é manter a umidade do concreto o mais próximo de saturado, até que os poros da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, tenham sido preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento até uma condição desejável.

Durante a hidratação, determinante para a resistência (Figura 10), e durabilidade do concreto endurecido, a pasta de cimento endurece e aglutina os agregados em uma massa sólida. Nas primeiras 72 horas após o amassamento, o concreto pode ganhar até mais de 50% de sua resistência, sendo neste período especialmente suscetível a fissuras por retração plástica (NCPC, 2007).

Figura 10: Efeito da cura duração no desenvolvimento de resistência à compressão



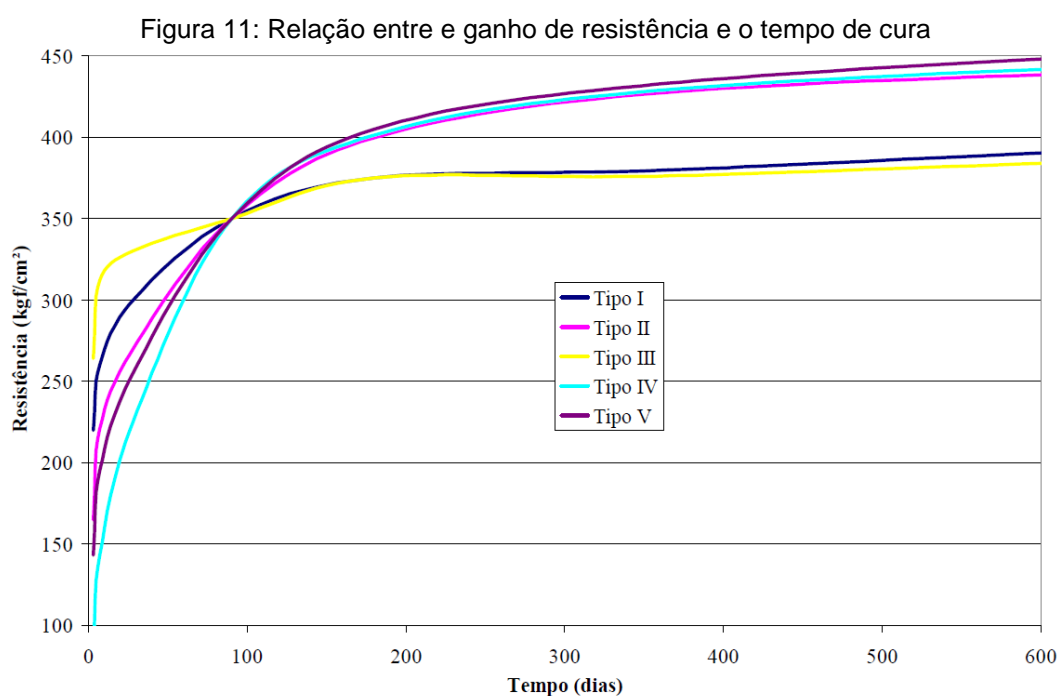
Fonte: Adaptado de NATIONAL CONCRETE TECHNOLOGY PAVEMENT CENTER

Mehta e Monteiro (2006) relatam que a hidratação do cimento no concreto somente acontece satisfatoriamente sob as condições necessárias de saturação, diminuindo muito quando a pressão de vapor de água nos capilares fica abaixo de 80% da umidade saturação.

Se durante a cura, água dos capilares é perdida por evaporação, prevalecendo a cura pelo ar, a resistência não aumentara com o passar do tempo, conforme mostra a Figura 11 (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Funções da cura segundo Foganhole (2014): impedir a evaporação rápida da água de amassamento; promover a total hidratação das partículas de cimento no concreto; eliminar a possibilidade de ocorrência de fissuras de retração plástica.

Aoki (2007) cita que o tempo durante o qual a cura deve ser mantida é uma dúvida bastante comum. Indica que segundo a Norma NBR 14931 (ABNT, 2004) deve-se fazer a cura do concreto até que sua resistência atinja 15,0 MPa. Acrescenta que como medida prática de controle, a própria a norma anterior indicava sete dias como tempo mínimo de cura para qualquer tipo de concreto.



Fonte: Andolfato (2002)

Segundo Aoki (2007) os principais métodos de cura são borrifamento de água, revestimentos saturados, cobrimento com areia ou serragem molhadas e películas

químicas de cura. Este autor acrescenta que a cura nas horas iniciais é a mais importante para evitar a ocorrência de fissuras.

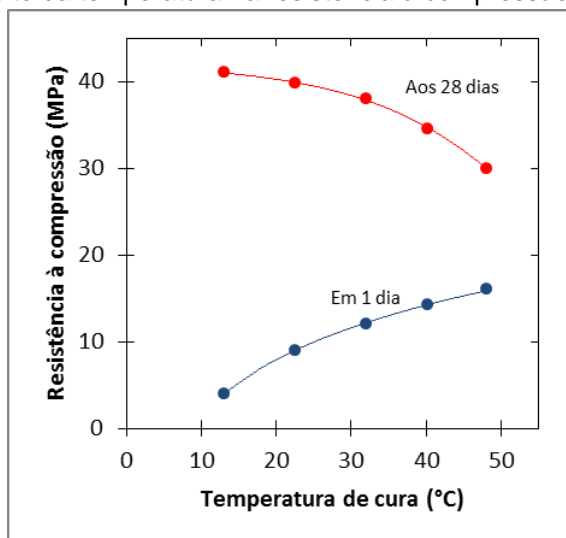
2.7.1 Efeito da Temperatura na Cura

Como nas reações químicas a temperatura tem efeito na aceleração das reações de hidratação do cimento (Figura 12) (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

A NBR 7212 (ABNT, 2012), estabelece no item 4.6 que “As temperaturas ambientes limites para lançamento do concreto são 10°C e 32°C. Fora desses limites devem ser tomados cuidados especiais. A temperatura do concreto, por ocasião de seu lançamento, deve ser determinada de modo a evitar a ocorrência de fissuração de origem térmica.

Já a NBR 14931 (ABNT, 2004), item 9.3.2, estabelece que a temperatura da massa do concreto, no momento do lançamento, não deve ser inferior a 5°C e que a concretagem deve ser suspensa sempre que estiver prevista queda na temperatura ambiente para abaixo de 0°C nas 48 horas seguintes à concretagem, salvo disposição em contrário estabelecida no projeto.

Figura 12: Efeito da temperatura na resistência à compressão durante a cura



Fonte: Adaptado de CP Tech Center

2.8 Micro Estrutura do Concreto

Atualmente o desenvolvimento do concreto está intimamente ligado ao estudo de sua microestrutura. O estudo da microestrutura permite verificar cada material

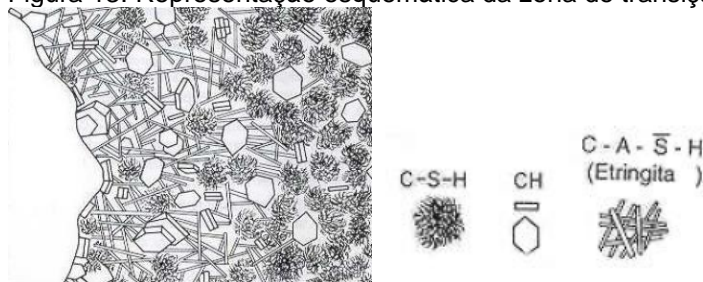
constituente e identificar mecanismos responsáveis pela resistência, estabilidade e durabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

O concreto de cimento Portland é um material poroso com uma estrutura bastante heterogênea e complexa. Analisando sua macroestrutura identificamos dois constituintes principais: a pasta de cimento endurecida e os agregados. Entretanto analisando sua microestrutura com auxílio de microscópio distinguimos que a pasta de cimento em contato com o agregado grão (numa espessura de 10 a 50 μm) possui características diferentes do restante da pasta, podendo ser considerada mais um componente do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Conforme Oliveira (2008) na interface entre a pasta de cimento endurecida e os agregados pode haver aumento da porosidade em consequência de aumento da relação água/cimento, por deficiência de cimento ou por tensões devidas às cargas externas. Acrescenta que a aderência entre a pasta e os agregados é influenciada pelas características da superfície, pela forma e pelo tipo de agregado.

Segundo Kaefer (1998), a matriz é constituída pela zona de transição (Figura 13) entre os agregados, grãos de areia e os agregados graúdos, e a pasta de cimento, sendo constituída por diferentes tipos de compostos hidratados do cimento como os silicatos hidratados C-S-H, carbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e a etringita que cristaliza no início da hidratação do cimento na forma de agulhas. Acrescenta que porosidade da pasta de cimento fica entre 25 e 30% em volume para uma relação água cimento de 0,5.

Figura 13: Representação esquemática da zona de transição



Fonte: Mehta e Monteiro (2006)

A espessura e as características da zona de transição variam conforme os componentes da pasta e do agregado grão. Verifica-se que há maior concentração de agulhas finas de etringita na zona de transição (KAEFER, 1998).

2.9 Influências do Agregado Miúdo no Concreto

É possível realizar traços de concreto com agregados de granulometria descontínua, escolhendo-se os diâmetros das partículas de modo que elas possam acomodar-se deixando entre elas um volume pequeno, que deve ser preenchido pela nata de cimento. Com granulometrias descontínuas é possível obter concretos de grande densidade e elevada resistência, com menor consumo de cimento que nos concretos usuais (ANDOLFATO, 2002).

A parcela composta pelos agregados em concreto de cimento Portland é de aproximadamente 75% do volume, e a qualidade dos mesmos é de grande relevância para que se obtenha um bom concreto (AMBROZEWICZ, 2012).

De acordo com Sbrighi Neto (2011), a forma dos grãos influencia as propriedades do concreto no estado fresco, pois, comparando partículas arredondadas e lisas com as angulosas ou alongadas ásperas, nota-se a necessidade de aumento de pasta de cimento para as partículas angulosas, aumentando o custo da produção. Por outro lado, textura muito lisa, especialmente nos agregados graúdos, pode levar a uma aderência menor entre a pasta de cimento e a superfície do agregado.

2.10 Produção do Concreto

A norma NBR 12655 (ABNT, 2015) define procedimentos para preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto de cimento Portland.

2.10.1 Dosagem dos Concretos

O estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland visa à obtenção da melhor proporção entre os materiais que formam o concreto, também conhecido por traço. A dosagem ou traço pode ser indicado em massa ou em volume, sendo desejada a proporção expressa em massa seca de materiais, por ser mais precisa (HELENE e TUTIKIAN, 2011).

Freitas (2014), relata que são muitos os estudos de dosagem para os mesmos tipos de concreto como métodos IPT/EPUSP, ABCP, ACI e outros específicos para tipos especiais de concretos.

Helene e Tutikian (2011), explicam que no Brasil não existe um consenso para métodos de dosagem levando vários pesquisadores a proporem seus métodos próprios, que acabam levando o nome da instituição onde foram desenvolvidos, ou pela qual foram publicados.

2.10.2 Mistura do Concreto

Segundo Fioratti (2015), a norma NBR 14931 (ABNT, 2004) prevê duas modalidades diferentes de preparo do concreto:

- Concreto preparado pelo executante da obra. As etapas de preparo são realizadas pelo executante da obra, de acordo com o que estabelece a norma NBR 12655 (ABNT, 2015).
- Concreto preparado por empresa de serviços de concretagem. A central deve assumir a responsabilidade pelo serviço e cumprir as prescrições relativas às etapas de preparo do concreto (ver ABNT NBR 12655:2015), bem como as disposições da norma NBR 7212 (ABNT, 2012).

Segundo Fioratti (2015), as duas qualidades desejadas para uma boa mistura são: homogeneidade e integridade.

Na dosagem mecânica, o equipamento empregado é a betoneira. Existem diversos tipos de betoneiras, variando-se o eixo de rotação do tambor, que pode ser horizontal, vertical ou inclinado.

Segundo a NBR 12821 (ABNT, 2009), recomenda-se a seguinte sequência e quantidades na produção do concreto:

- Colocação de 1/3 da quantidade de água e todo o agregado graúdo (proceder a lavagem dos agregados) e misturar por 30s.
- Colocação de todo o cimento e mais 1/3 de água - misturar 30s
- Todo o agregado miúdo mais o restante da água pelo tempo necessário para homogeneização.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece o tempo mínimo de mistura contado a partir do instante em que todos os materiais tenham sido lançados na cuba (depende do tipo de concreto e do tipo de betoneira). Para concretos plásticos:

- inclinadas $\rightarrow t = 120\sqrt{d}$

- eixo horizontal $\rightarrow t = 60\sqrt{d}$

Onde : $t \rightarrow$ em segundos $d \rightarrow$ diâmetro máximo do misturador em metros

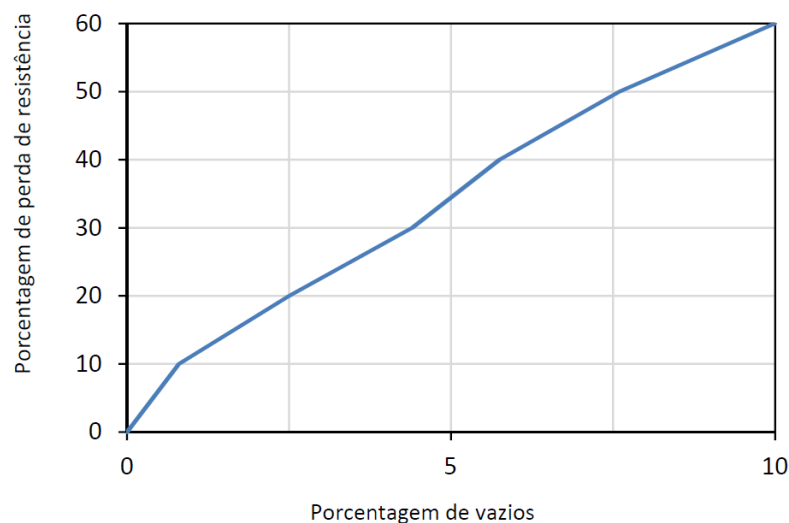
2.10.3 Lançamento

Aoki (2007) denomina de lançamento a operação de colocação do concreto nas fôrmas. Alerta, para se evitar, nesta etapa, a chamada segregação do concreto, que consiste na separação dos materiais, que determina o aparecimento de patologias que o adensamento não conseguirá eliminar.

2.10.4 Adensamento

Aoki (2007) define adensamento como o processo utilizado para a retirada do ar presente no concreto fresco, cujo objetivo é reduzir a porosidade. Obtém-se também melhoria da resistência mecânica. Acrescenta que a forma usual de adensamento é a vibração. A Figura 14 apresenta a redução da resistência devido a porosidade.

Figura 14: Redução da resistência em função do % de vazios



Fonte: Foganhole (2011)

2.11 Conceito de Elasticidade dos Materiais

Para Montija (2007), o termo elasticidade revela a capacidade dos materiais de retornarem à sua forma e volume originais após serem removidas as solicitações atuantes. Essa propriedade do concreto é dependente da composição estrutural dos materiais ao nível atômico, porque a recuperação física apenas se dá quando o material busca retornar ao seu estado original de equilíbrio elétrico e menor dissipação de energia.

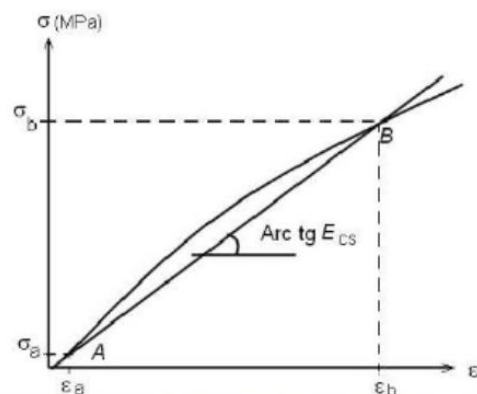
Segundo Bastos (2006), o módulo de elasticidade é um parâmetro numérico relativo à medida da deformação que o concreto sofre sob a ação de tensões, geralmente tensões de compressão. O módulo de elasticidade depende muito das características e dos materiais componentes dos concretos, como o tipo de agregado, da pasta de cimento e a zona de transição entre a argamassa e os agregados.

O módulo de deformação pode ser definido como sendo a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite de proporcionalidade do material. Assim sendo, pode-se ter materiais com comportamento tensão x deformação linear ou não linear dentro do limite de proporcionalidade do material, o que implica em módulo de deformação instantâneos iniciais (E_{ci}) e secantes (E_{cs}), para o concreto.

A NBR 8522 (ABNT, 2017) define:

-Módulo de deformação secante (E_{cs}): Propriedade do concreto cujo valor numérico é o coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão deformação específica, passando pelos seus pontos A e B correspondentes (Figura 15), respectivamente, à tensão σ_a e à tensão considerada no ensaio.

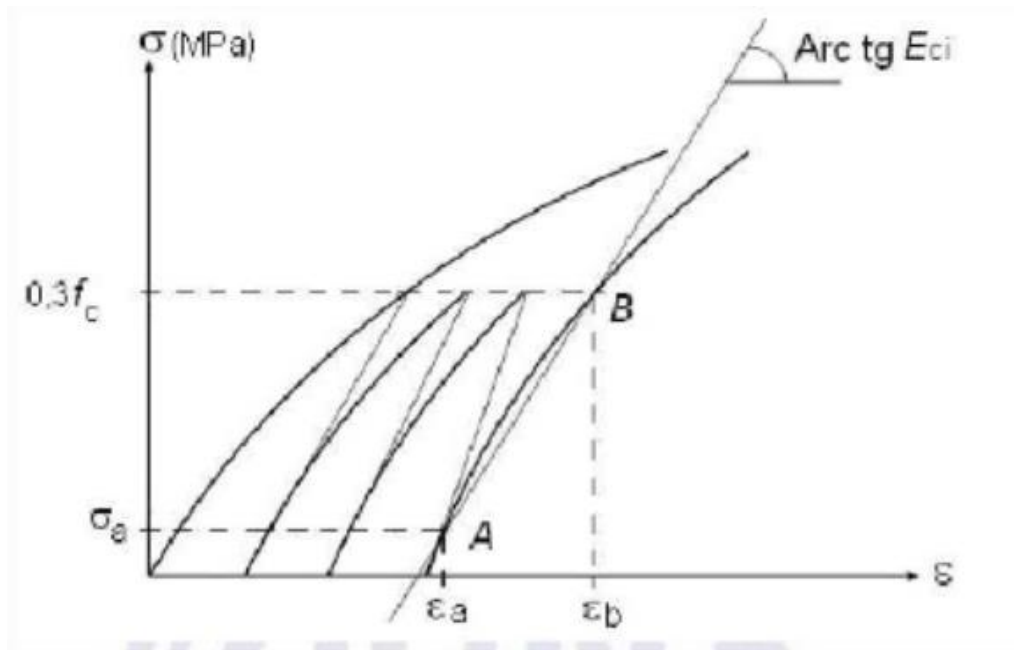
Figura 15: Representação esquemática do módulo de deformação secante (E_{cs})



Fonte: NBR 8522 (ABNT, 2017)

- Módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}): Módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente à origem ou inicial, que é considerado equivalente ao módulo de deformação secante ou cordal entre $6\sigma_a$ e $30\% f_c$ para o carregamento estabelecido neste método de ensaio (Figura 16).

Figura 16: Representação esquemática do módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (E_{ci})



Fonte: NBR 8522 (ABNT, 2017)

2.12 Avaliação da Resistência do Concreto Endurecido

Vários métodos para avaliar a resistência do concreto endurecido podem ser relacionados. Helene (2007), apresenta no Quadro 2 as correlações entre os métodos de avaliação e as características a serem avaliadas nas estruturas de concreto.

Os métodos para a avaliação da resistência do concreto podem ser classificados em destrutivos e não destrutivos.

Quadro 2: Métodos utilizados para avaliar as propriedades do concreto em estruturas acabadas

Método	Características básicas que podem ser avaliadas
Extração de testemunhos de concreto	Resistência característica à compressão
	Módulo de deformação longitudinal
	Diagrama tensão x deformação específica
	Resistência característica à tração
Provas de carga	Comportamento elástico de componentes estruturais
Ultrassom	Uniformidade da resistência do concreto
	Uniformidade do módulo dinâmico de deformação longitudinal do concreto
	Defeitos não visíveis
	Eventual avaliação da resistência à compressão do concreto
Esclerometria	Uniformidade da resistência do concreto
	Eventual avaliação da resistência à compressão do concreto

Fonte: Helene (1984) (adaptado pelo autor)

2.12.1 Métodos Destrutivos

Os ensaios destrutivos são aqueles ensaios que promovem a ruptura ou inutilização do material ensaiado. Em alguns casos, os ensaios destrutivos causam apenas marcas no componente, sem a sua inutilização. Como esses ensaios tendem a deixar o material inutilizável, normalmente são utilizados corpos de provas moldados

juntamente com a concretagem da peça, o que não impossibilita a aplicação desse método em componentes acabados (COPEINSKI, 2014).

De acordo com Lopes (2016), os ensaios destrutivos são os mais eficientes para se avaliar as propriedades mecânicas do concreto. Normalmente são realizados com testemunhos de corpos de prova extraídos e rompidos em ensaios de compressão.

Os ensaios classificados como destrutivos são: ensaios de tração, de dobramento, de flexão, de torção, de fadiga, de impacto e de compressão (COPEINSKI, 2014).

2.12.1.1 Compressão axial em corpos de prova cilíndricos

A resistência à compressão está diretamente ligada à segurança e estabilidade estrutural, sendo adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. Portanto, a estrutura deve ser construída com um concreto de resistência à compressão igual ou superior ao valor exigido no projeto estrutural e tomando como referência para fins de controle (PACHECO E HELENE, 2013).

O controle da resistência à compressão do concreto é sem dúvida indispensável, pois é parte integrante da segurança no projeto estrutural. O que deve ser esclarecido é que para fins da análise da qualidade do concreto, não é a resistência do concreto na estrutura que é controlada, mas sim a resistência à compressão “efetiva” ou “real” do concreto (SOUSA, 2006).

O referencial de segurança do concreto é a resistência à compressão simples, denominada f_c , e é determinada por meio de um ensaio de compressão axial, no qual a carga é aumentada progressivamente para romper o corpo de prova, amostrado, moldado simultaneamente com a concretagem da peça estrutural, curado e ensaiado em condições ideais para “potencializar” a resistência daquele material (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

Conforme descrito por Pacheco e Helene (2013), o corpo de prova padrão brasileiro é cilíndrico, deve ter altura igual ao dobro do diâmetro, podendo ser de 10 cm, 20 cm, 30 cm e 45 cm com tolerância de 1% para o diâmetro, e 2% para a altura.

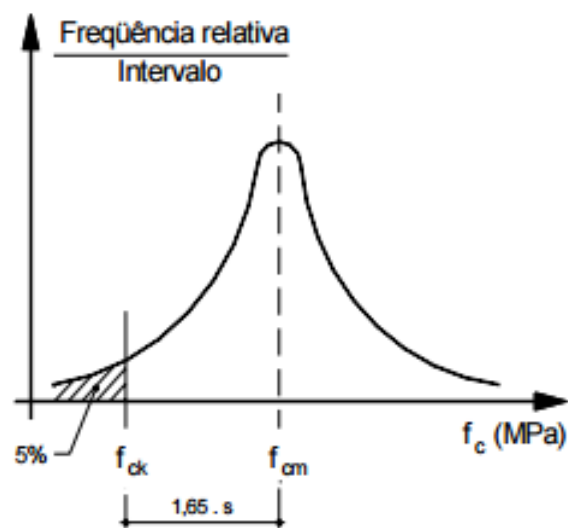
Atualmente o corpo de prova mais utilizado no controle de edificações urbanas, tem as dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Considera-se, normalmente 28 dias como idade padrão para a realização do ensaio, porém usualmente ensaia-se o material aos 3 e 7 dias, para ter, mais rapidamente informações sobre a qualidade do concreto (PETRUCCI, 1998).

À medida que se aumenta a quantidade de corpos de prova ensaiados, pode-se fazer um gráfico com os valores obtidos e gerar uma curva chamada de curva de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para resistência do concreto à compressão (PINHEIRO et al., 2010).

De acordo com Giongo (2007) a resistência característica à compressão pode ser calculada pela resistência média do concreto prevista para a idade de 28 dias, com desvio padrão (s) e coeficiente de variação (δ), conforme Figura 17.

Figura 17: Representação da distribuição da resistência à compressão do concreto. Curva de Gauss com parâmetros obtidos de amostras



Fonte: Giongo (2007)

De acordo com Sousa (2006), na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância: resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} e resistência média do concreto à compressão, f_{cm} . O autor explica que valor f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos de

prova ensaiados, e é utilizado na determinação da resistência característica, f_{ck} , por meio da Equação:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s$$

Segundo o autor supracitado o desvio-padrão (s) corresponde à distância entre a abscissa de f_{cm} e a do ponto de inflexão da curva (ponto em que ela muda de concavidade). O valor 1,65 corresponde ao quantil de 5% dos corpos de prova que possuem $f_c < f_{ck}$, logo 95% possuem $f_c \geq f_{ck}$.

O valor do desvio padrão para a resistência do concreto pode ser calculado pela Equação, a resistência média à compressão em função do número de corpos de provas ensaiados, são calculados pela (GIONGO, 2007).

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}$$

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n}$$

A resistência à compressão é considerada para análise da dosagem dos materiais componentes do concreto e também para determinação da resistência de dosagem. O controle tecnológico é realizado considerando a resistência estimada ($f_{ck,est}$), permite saber se o material com o qual moldaram as peças da estruturas estão seguros, pois se espera que $f_{ck} \geq f_{ckest}$ (GIONGO, 2007).

2.12.1.2 Resistência à tração

A resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa de cimento. Os valores de ensaios são muito dispersos, pois as tensões devidas à temperatura e à retração, não são totalmente evitáveis (LEONHARDT E MÖNNIG, 1982).

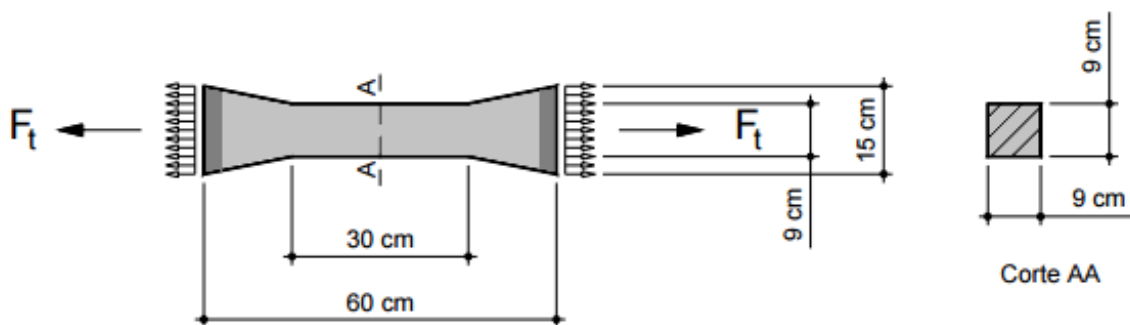
Os conceitos relativos à tração são equivalentes com o de resistência à compressão, logo se tem a resistência média do concreto à tração (f_{ctm}), valor obtido da média dos resultados, e a resistência característica do concreto à tração (f_{ctk}) que

tem 5% de probabilidade de não ser alcançada pelos resultados de um lote de concreto (PINHEIRO, 2007).

De acordo com os autores Leonhardt e Mönning (1997); Pinheiro (2007) a diferença no estudo da tração encontra-se nos tipos de ensaio, pois existem três ensaios normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão.

Os ensaios pelo método de tração axial direta do concreto não são muito aplicados, são de difícil execução e os resultados são influenciados pela maneira na qual se procede ao ensaio na máquina de tração (ALMEIDA, 2002). A realização desse ensaio consiste em aplicar tração direta, até a ruptura do corpo de prova de concreto (Figura 18), de seção central retangular, medindo 9 cm por 15 cm e com as extremidades quadradas com 15 cm de lado (PINHEIRO et al., 2010).

Figura 18: Corpo de prova para determinação da resistência direta.



Fonte: Giongo (2007)

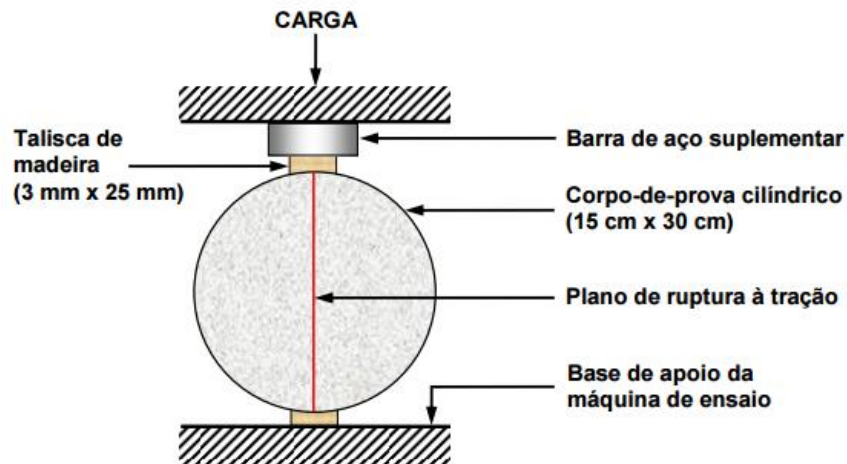
No Brasil, os ensaios mais comumente aplicados para avaliação da resistência à tração são os ensaios por compressão diametral, realizados com base na NBR 7222 (ABNT, 2011) e os ensaios na flexão com carregamento nos terços de vão conforme NBR 12142 (ABNT, 2010).

O ensaio de tração por compressão diametral é o mais utilizado atualmente, devido a sua simples execução e pelo fato de utilizar as mesmas dimensões do corpo de prova do ensaio de compressão. Esse ensaio é conhecido internacionalmente como ensaio brasileiro, pois foi desenvolvido pelo brasileiro Lobo Carneiro no ano de 1943 (NASCIMENTO, 2013).

Nos ensaios de tração por compressão diametral, um corpo de prova de concreto cilíndrico, de 15 por 30 cm, é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da máquina de ensaio, é submetido a cargas de compressão ao longo de duas linhas

axiais que são diametralmente opostas (Figura 19). A carga é aplicada continuamente a uma velocidade constante até a ruptura do corpo de prova. A tensão de compressão produz uma tensão de tração transversal, que é uniforme ao longo do diâmetro vertical (MEHTA E MONTEIRO, 2006).

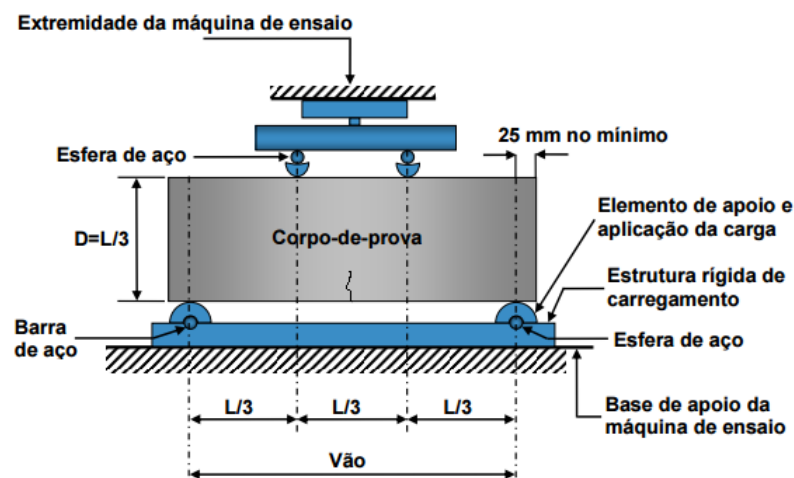
Figura 19: Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: PINHEIRO et al. (2010)

Já o ensaio de tração na flexão, conhecido como ensaio de Stuttgart é realizado com um corpo de prova prismático de seção quadrada (Figura 20), suas extremidades são apoiadas com duas aplicações de cargas iguais e simétricas dispostas em relação ao meio do vão, até à ruptura (ALMEIDA, 2002).

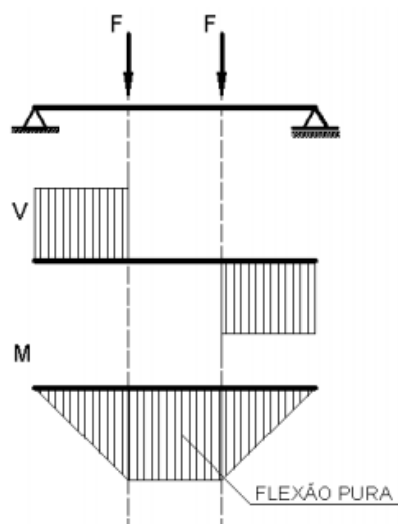
Figura 20: Ensaio de tração a flexão



Fonte: PINHEIRO et al. (2010)

A ruptura do corpo de prova ocorre na região onde o momento fletor é máximo e as forças cortantes são praticamente zero, ou seja, a região compreendida entre os planos de ações das duas forças (Figura 21), as forças cortantes só ocorrem por ação do peso próprio da viga que é de pequena intensidade (GIONGO, 2007).

Figura 21: Diagramas de esforços solicitantes resultantes do ensaio de tração na flexão



Fonte: PINHEIRO (2004)

2.12.2 Métodos não Destrutivos

Dentre as várias opções de ensaios para avaliar as propriedades de resistência do concreto, os estudos denominados ensaios não destrutivos (ENDs) vêm ganhando espaço no cenário da engenharia civil. Conforme o relato de Castro (2009) os ENDs evoluíram bastante nas décadas de 70 e 80, devido ao avanço da tecnologia e pela busca da melhor caracterização do concreto, visto que, os ensaios padrão em corpos de prova representam apenas sua resistência potencial, diferentemente das condições do concreto encontrado na estrutura.

Petrucci (1998), também relata que há muito tempo é de conhecimento de todos, que os ensaios clássicos de resistência à compressão dos concretos, por meio de corpos de provas, apresentam deficiências em seus resultados, as diferenças são tidas pelas diferenças de adensamento e cura que ambos estão sujeitos, além da moldagem do corpo de prova e da peça estrutural que são realizadas de formas e escalas diferentes.

Outro fator que impulsionou o crescimento desses métodos é o fato de não causar nenhum dano no elemento ensaiado e não provocar perda na capacidade resistente do elemento (EVANGELISTA, 2002).

Conforme o autor citado, os ENDs podem ser utilizados em estruturas antigas e novas. No caso de estruturas antigas visa avaliar a integridade e capacidade de resistir às solicitações. Em estruturas novas, procura-se monitorar a evolução da resistência ou esclarecer dúvidas sobre suas propriedades como: resistência, massa específica, módulo de elasticidade, absorção, permeabilidade, umidade, existência de vazios e fissuras.

Assim os ENDs podem ser aplicados em estruturas. Os métodos não destrutivos são convenientes para aplicação para: (BS 1881: PART 201, 1986) Controle tecnológico em pré-moldados ou construção *in situ*;

- Esclarecimento de dúvidas sobre a mão de obra envolvida em mistura, lançamento, compactação, cura do concreto e transporte;
- Monitoramento do desenvolvimento da resistência do concreto para remoção de formas, duração da cura, aplicação de protensão ou de cargas ou ainda da remoção de escoramentos;
- Verificar a deterioração do concreto resultante da influência de sobrecarga, fadiga, fogo, ataque do meio ambiente;
- Avaliação do potencial de durabilidade do concreto;
- Determinação da posição e condição das armaduras;
- Monitoramento de mudanças das propriedades do concreto ao longo do tempo; entre outras.

Os ensaios não destrutivos existentes podem ser divididos em diretos e indiretos, sendo diretos os ensaios que possuem medidas da resistência à compressão ou tração do concreto e os indiretos aqueles onde a resistência é estimada a partir de outras propriedades. Dentre os ensaios existentes podem-se citar os métodos:

- De ultrassom que mede a resistência por meio de pulsos ultrassônicos;
- Da penetração de pinos que relaciona a resistência do concreto com a profundidade de penetração de um pino ou parafuso disparado por dispositivo a base de pólvora;

- De arrancamento ou “pull off” no qual é inserido um elemento metálico ao concreto ainda fresco que é arrancado posteriormente, a medida resistência é dada pela força necessária para arrancá-lo;
- Da maturidade, no qual monitora-se a temperatura interna do concreto ao longo da pega e endurecimento e a resistência é dada em função da combinação tempo-temperatura (CASTRO, 2009).

2.12.3 Método de Esclerometria

O método de esclerometria baseia-se na análise do choque entre dois corpos, dos quais um está fixo e o outro em movimento, também é denominado como método da medição da dureza superficial que método da reflexão por choque (BAUER, 2008).

Petrucci (1998) relata que o ensaio foi embasado no método empírico antigo, onde se bate com um martelo de cabo comprido para determinar a sua dureza e resistência por meio do som obtido e da altura que o martelo subia após o choque. Observando o método empírico o engenheiro Ernst Schmidt no ano de 1948, desenvolveu um aparelho ao qual denominou esclerômetro.

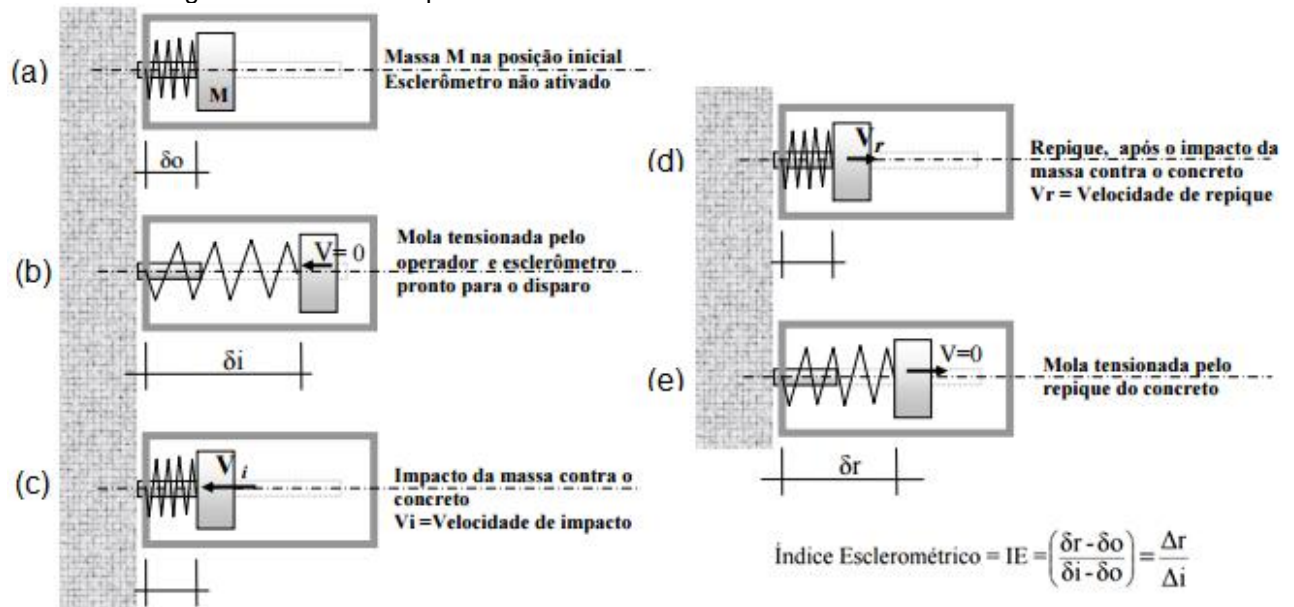
Segundo Bauer (2008), o método de esclerometria mede a energia remanescente em relação à energia incidente do elemento móvel, logo toda energia incidente sobre o elemento fixo se transforma em energia de deformação e que a energia cinética após o choque pertence exclusivamente ao elemento móvel. Schmidt observou que se a massa do elemento fixo for muito grande em relação à massa móvel, teria alterações no resultado, para isso Schmidt desenvolveu alguns tipos de esclerômetros, que são descritos por BAUER (2008) como:

- a. Modelo N (Energia de percussão = 0,225 kgm) – Utilizado para o controle do concreto nos casos normais de construção de edifícios e pontes;
- b. Modelo L (Energia de percussão = 0,075 kgm) – É uma redução do modelo N, sendo apropriado para exame de elementos no concreto ou

em pedra artificial de dimensões pequenas e sensíveis a golpes, como tijolos e ladrilhos;

- c. Modelo M (Energia de percussão = 3 kgm) – Serve para determinação da resistência do concreto em obras de grandes dimensões e para exame de qualidade de estradas e pistas de aeroportos concretados;
- d. Modelo P (Energia de percussão = 0,09 kgm) – Utilizado para exame de materiais de construção de pouca dureza e resistência, como materiais leves de construção, estuques e revestimentos.

Figura 22: Modelo simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro



Fonte: Thomaz (2011)

Com o valor conhecido do índice esclerométrico é possível então estimar com auxílio da curva de calibração indicada um valor referente à resistência a compressão da peça ensaiada. As curvas de equivalência variam de acordo com as especificações do fabricante e vem juntamente com o manual de uso do aparelho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os materiais e métodos que foram utilizados para a realização do presente estudo.

3.1 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho está representada no fluxograma das atividades na Figura 23.

3.1.1 Síntese do Trabalho

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Concreto da UNISC, em Santa Cruz do Sul-RS.

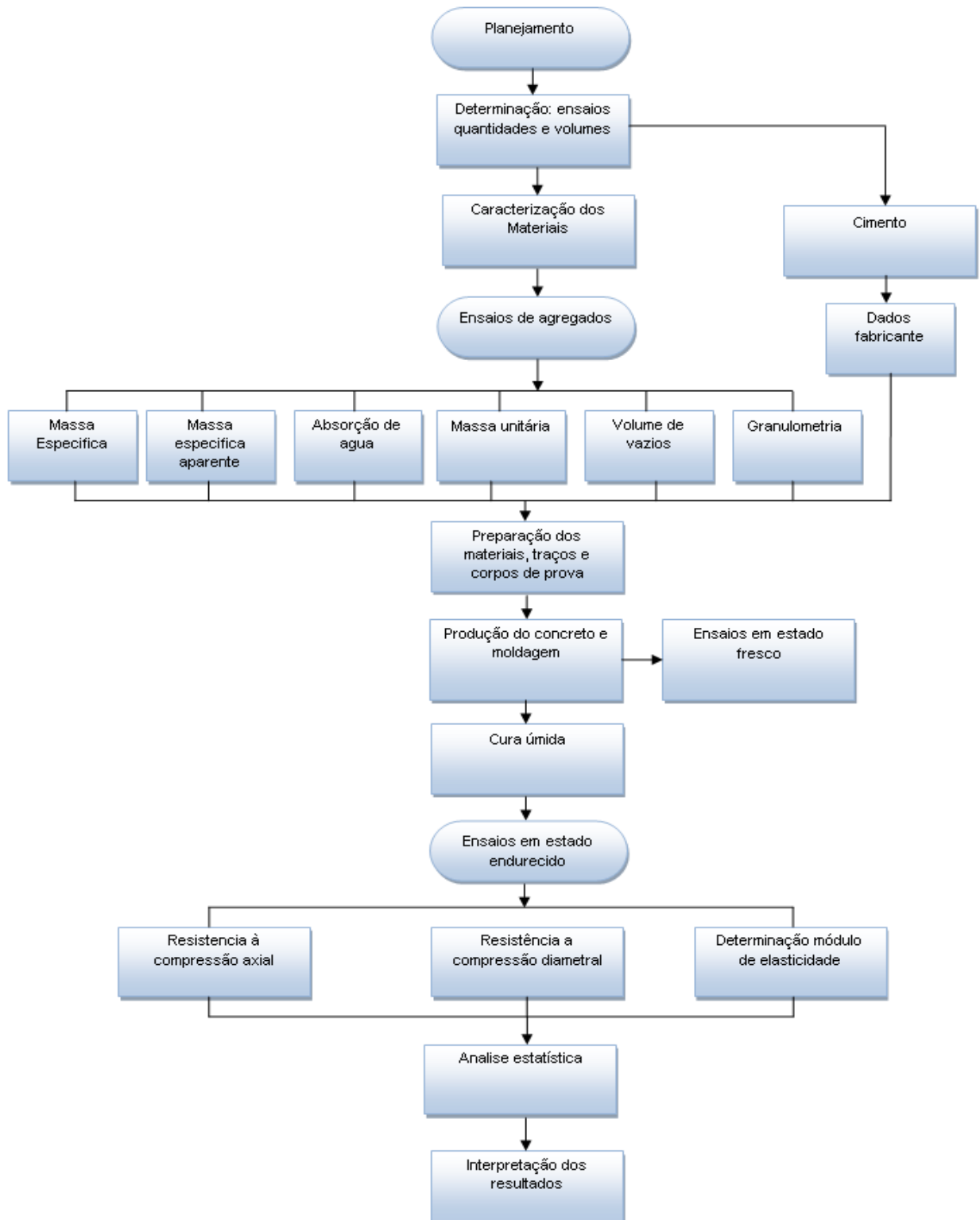
Na realização dos ensaios de laboratório, para cada material utilizado, foram realizadas as devidas caracterizações as quais serão apresentadas ao longo deste tópico.

Como pretendido, foi produzido o concreto com um traço fixo em massa (1:2:3), com fator água cimento 0,45, variando apenas a granulometria do agregado miúdo, perfazendo 3 tipos de concreto, sendo um concreto consistindo com areia fina, outro com areia média e por fim o último com areia grossa.

Com o concreto produzido foram realizados ensaios no estado fresco, e no estado endurecido, os ensaios no concreto serão apresentados ao longo deste tópico.

Para cada tipo de concreto, por ensaio, no estado endurecido, foram moldados 18 corpos de prova de diâmetro de 10 cm e 20 cm de altura. Os corpos de prova foram submetidos à cura úmida até a data do ensaio, sendo rompidos nas idades de 7 e 28 dias.

Figura 23: Fluxograma das atividades



Fonte: AUTOR (2019)

3.2 Materiais

Para a execução dos corpos de prova experimentais, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP IV-32 RS.
- Agregado miúdo natural (areia de extração);
- Agregado graúdo natural (brita 0);
- Água potável proveniente do abastecimento público.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado no preparo dos corpos de prova consiste no CP IV-32-RS. Para a caracterização desse material foram usadas as especificações do fabricante.

3.2.2 Agregado Miúdo

Para o agregado miúdo natural, foi utilizada a areia comercial, disponível na região de Santa Cruz do Sul.

3.2.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo de rocha basáltica, com dimensão máxima característica de 9,5mm, brita 0, como premissa.

3.3 Caracterização de Materiais e Ensaio

As determinações das características dos materiais empregados na produção de concretos são de fundamental importância para o mesmo, já que para o uso em concreto são necessárias determinadas propriedades para serem empregados como agregados para concreto, sendo estas determinadas por meio de ensaios específicos que serão descritos neste capítulo.

3.3.1 Caracterização do Agregados

Para caracterização dos agregados foram realizados os ensaios que constam no quadro 3.

Quadro 3: Caracterização dos agregados.

	ENSAIO A SER REALIZADO
AGREGADO GRAÚDO	Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003).
	Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT NBR NM 45:2006).
	Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT NBR NM 46:2003).
AGREGADO MIÚDO	Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003).
	Agregado miúdo – Determinação da absorção de água (NBR NM 30:2001).
	Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT NBR NM 45:2006).

3.3.1.1 Composição Granulométrica dos Agregados

A granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada

tamanho. A composição granulométrica é a característica de um agregado de maior aplicação prática, principalmente para:

- Determinar o módulo de finura e a curva granulométrica utilizados na dosagem do concreto;
- Controlar a homogeneidade dos lotes recebidos na obra;
- Elaborar a dosagem do concreto (ITAMBÉ, 2006).

A classificação de um agregado é determinada comparando sua composição granulométrica com as faixas granulométricas especificadas em normas, sua determinação deve seguir as orientações da NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

Foram realizados 4 ensaios, um para cada tipo de agregado, sendo eles os três agregados miúdos: areia grossa, areia média e areia fina. E o agregado graúdo: brita 0.

3.3.1.1.1 Quantidade de Material

A amostra deve ser coletada conforme a NBR NM 26 (ABNT, 2001) e ser reduzida segundo as orientações da NBR NM 27 (ABNT, 2001). A quantidade mínima de material para cada determinação da composição granulométrica de um agregado deve atender os valores da Tabela 4.

Tabela 4: Massa mínima por amostra de ensaio.

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20

Fonte: Adaptado NBR NM 248 (ABNT, 2003).

3.3.1.1.2 Equipamentos e Acessórios

São necessários os seguintes aparelhos para a determinação da composição granulométrica dos agregados, e acessórios para auxílio na realização do ensaio:

- Balança: com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio;
- Estufa: capaz de manter a temperatura no intervalo de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- Peneiras: das series intermediarias ou normal com tampa e fundo, que atendam às exigências da NBR NM ISSO 3310-1 ou 2.
- Agitador de peneiras (opcional);
- Bandejas;
- Escova ou pincel;
- Fundo avulso de peneira.

3.3.1.1.3 Execução do Ensaio

Na determinação da composição granulométrica deve ser realizada duas amostras para cada agregado, a sequência de execução do ensaio segue-se da seguinte maneira:

1) Secar as duas amostras em estufa e esfriar a temperatura ambiente e determinar suas massas (m_1 e m_2); 2) Encaixar as peneiras limpas, formando um único conjunto, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo conforme Figura 24, encaixando um fundo para o conjunto. As malhas das peneiras devem ser escolhidas de acordo com o tipo de agregado (gráudo ou miúdo); 3) Colocar a amostra m_1 ou porções da mesma sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras, para evitar a deformação da tela e prejuízos ao peneiramento. As quantidades máximas em cada peneira em questão não devem exceder o limite estabelecido na Tabela 5.

Figura 24: Encaixe das peneiras.



Fonte: AUTOR (2020).

Tabela 5: Máxima quantidade de material sobre as peneiras.

Abertura da malha (mm)	Máxima quantidade de material sobre a tela (peneiras redondas de 203mm de diâmetro) (kg)
< 4,75	0,20
4,75	0,33
9,5	0,67
12,5	0,89
19	1,4
25	1,8
37,5	2,7
50	3,6

Fonte: Adaptado NBR NM 248 (ABNT, 2003).

4) Caso o material a ser ensaio apresente uma quantidade significativa de material pulverulento, deve-se ensaiar previamente conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003) e considerar o teor de finos no cálculo da composição granulométrica; 5) Em seguida deve-se promover a agitação mecânica do conjunto de 10 a 15 minutos; 6) Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto, com a tampa e outro fundo por aproximadamente 1 minuto; 7) Colocar o material retido em uma bandeja. Escovar a peneira dos dois lados, colocando o resíduo interno na bandeja e o externo no fundo, sendo que o material do fundo deve ser acrescentado à peneira seguinte; 8)

Determinar a massa do material retido em função da malha da abertura da peneira, inclusive para o fundo do conjunto de peneiras; 9) Realizar o procedimento descrito nos itens 7 e 8 para as demais peneiras; 10) A soma das massas retidas em todas as peneiras e o fundo não deve diferir em 0,3% da massa inicial da amostra; 11) Peneirar a segunda amostra conforme o procedimento descrito; 12) Para cada uma das amostras calcular a porcentagem retida em cada peneira, com aproximação de 0,1%; 13) As duas amostras devem apresentar a mesma dimensão máxima características e as porcentagens retidas na mesma peneira não devem diferir em mais de 4%. Caso isso ocorra, deve-se repetir o peneiramento para outras amostras; 14) Calcular as porcentagens médias, retida e acumulada, em cada peneira com aproximação de 1%; 15) Determinar a dimensão máxima característica em mm, como sendo a abertura da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa; 16) Determinar o módulo de finura, com aproximação de 0,01, que é a soma das porcentagens retilas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100. Sendo que quanto maior o valor maior o tamanho do agregado.

3.3.1.2 Massa Unitária e Volume de Vazios (NBR NM 45: 2006)

A massa unitária de um agregado é definida pela relação entre a sua massa e seu volume considerando-se os vazios existentes entre os grãos, este parâmetro é tido como próprio para transformar massa em volume ou vice-versa, para o proporcionamento dos agregados em volume durante a preparação do concreto por exemplo.

Define-se como volume de vazios o espaço entre os grãos de uma massa de agregado. Para a determinação da massa unitária e do volume de vazios segue-se as orientações da NBR NM 45 – Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2006).

3.3.1.2.1 Quantidade de Material

A amostra a ser tomada para a determinação da massa unitária deve ser construída de aproximadamente 150% do material requerido para encher o recipiente

e deve ser obtida conforme a NBR NM 27 (ABNT, 2001) e NBR NM 26 (ABNT, 2001). Deve-se segar a amostra previamente em estufa em temperatura de $(105 \pm) ^\circ\text{C}$.

3.3.1.2.2 Equipamentos e Acessórios

São necessários os seguintes equipamentos e acessórios para a determinação da massa unitária.

- Balança com resolução de 50g.
- Haste de adensamento, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento.
- Recipiente, deve ser de forma cilíndrica, deve possuir capacidade mínima, o diâmetro interior e altura conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Volume do recipiente.

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Recipiente		
	Capacidade mínima (kg)	Diâmetro interior (mm)	Altura interior (mm)
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 < d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

Fonte: NBR NM 45 (ABNT, 2006).

- Pá ou concha.
- Estufa.

3.3.1.2.3 Procedimento de Ensaio

Previamente deve-se conhecer o volume do recipiente a ser utilizado para a determinação da massa unitária, caso não se conheça o volume dos recipientes, o mesmo deve ser determinado segundo o item 7 da NBR NM 45 (ABNT, 2006).

A NBR NM 45 (ABNT, 2006) designa três métodos para a determinação da massa unitária dos agregados que são descritos abaixo:

Método A: deve ser empregado para determinar a massa unitária de material compacto, quando os agregados tem dimensão máxima característica de 37,5 ou menor.

Método B: deve ser empregado para determinar a massa unitária de material compacto, quando os agregados tem dimensão máxima característica superior a 37,5 mm e inferior a 75 mm.

Método C: deve ser empregado para determinar a massa unitária de material no estado solto.

3.3.1.2.3.1 Método C

Primeiramente deve-se determinar a massa do recipiente vazio. A seguir, encher o recipiente até que o mesmo transborde conforme Figura 25, utilizando uma pá ou uma concha, despejando o agregado de uma altura que não supere 50 mm acima da borda superior do recipiente.

Figura 25: Enchimento do recipiente com agregado.



Fonte: AUTOR (2020).

Em seguida deve-se nivelar a camada superficial do recipiente conforme Figura 26, com as mãos ou com o uso de uma espátula ou haste, após determina-se a massa do recipiente com o agregado.

Figura 26: Nivelamento da camada superficial do recipiente.



Fonte: AUTOR (2020).

3.3.1.3 Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água do Agregado Miúdo (NBR NM 30: 2001)

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. Já a massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis à água. As determinações dos volumes são feitas na balança, pela massa de água deslocada pelo agregado no frasco. A absorção é o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem de sua massa seca. Todas as propriedades são importantes na dosagem do concreto (ITAMBÉ, 2006).

3.3.1.4 Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água do Agregado Graúdo (NBR NM 53: 2009)

Tem-se por definição de massa específica a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. A massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, considerando os poros permeáveis à água, as determinações de volume são feitas na balança hidrostática, pela diferença de massa do material ao ar e submerso. Absorção é o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem de sua massa seca. Enfatizando que estas propriedades são importantes para a dosagem de concretos.

3.3.1.4.1 Equipamentos e Acessórios

- Balança hidrostática com capacidade mínima de 10 kg, com resolução de 1g.
- Recipiente para conter a amostra, que deve ser constituído de um cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm.
- Recipiente para conter água onde será imerso o agregado.
- Peneira de malha 4,75 mm.
- Bandejas para a pesagem do material, e para imergi-los.
- Panos para a secagem dos agregados.

3.3.1.4.2 Preparação da Amostra

A amostra deve ser obtida conforme procedimentos da NBR NM 26 (ABNT, 2001) e NBR NM 27 (ABNT, 2001). Lavar completamente o agregado graúdo para remover o pó ou outro material da superfície. Secar a amostra de ensaio até massa constante a uma temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Deixar esfriar a temperatura ambiente durante 1h à 3h. A massa mínima da amostra a ser ensaiada é definida pela Tabela 7.

Tabela 7: Massa mínima da amostra de ensaio.

Dimensão máxima nominal (mm)	Massa mínima (kg)
12,5	2
19,0	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

Fonte: NBR NM 53 (ABNT, 2003).

Pesar a amostra conforme a Tabela 7 e submergi-la por 24 horas, em temperatura ambiente.

Em seguida retirar a amostra da água e envolvê-la em um pano absorvente até que toda a água visível seja eliminada, ainda que a superfície das partículas se apresente úmida. Os fragmentos grandes devem ser limpos individualmente. É necessário evitar a evaporação da água dos poros do agregado durante a operação de enxugamento da amostra.

Imediatamente após ser enxugada, pesar a amostra com precisão de 1 g (ms, agregado saturado com superfície seca).

Colocar a amostra no recipiente (Figura 27), submergi-la em água mantida a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e pesar em água com precisão de 1 g (ma, massa em água).

Figura 27: Recipiente submerso

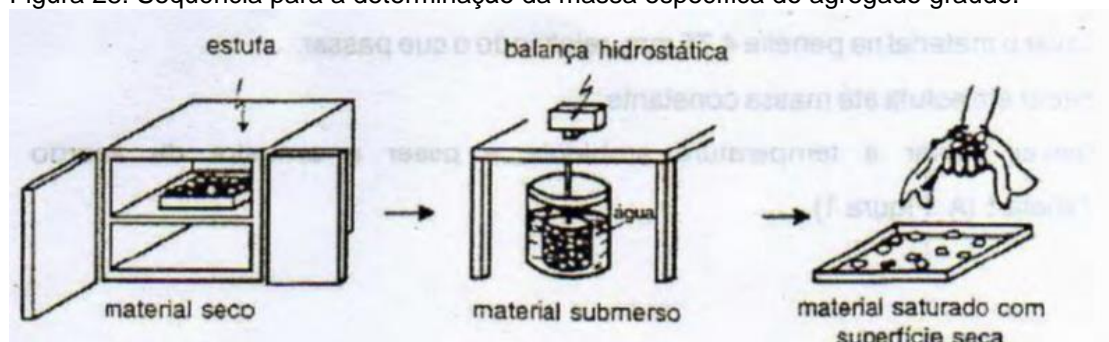


Fonte: AUTOR (2020)

Deve-se tomar cuidado para que a balança seja previamente zerada com o recipiente vazio imerso em água.

Secar a amostra a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ até massa constante, deixar esfriar até a temperatura ambiente durante 1h a 3 h ou até que o agregado esteja a uma temperatura que permita sua manipulação e pesar com precisão de 1 g (m, agregado seco). O procedimento é demonstrado na Figura 28.

Figura 28: Sequência para a determinação da massa específica do agregado graúdo.



Fonte: Itambé (2006).

3.3.2 Preparação dos Tipos de Concreto

A mistura e produção do concreto foi realizada em uma betoneira (Figura 29) de eixo inclinado, sendo executado na seguinte ordem:

1. Imprimação da betoneira;
2. Adição de toda a brita e parte da água;
3. A betoneira é acionada para que a água molhe todo o agregado;
4. O cimento é adicionado então na sua totalidade;
5. A betoneira é acionada para que o cimento se distribua uniformemente sobre os agregados;
6. Adição da areia e o restante da água sendo a betoneira acionada pelo tempo mínimo para obter homogeneidade na mistura.

Figura 29: Preparação do concreto.



Fonte: AUTOR (2020).

No total foram moldados 18 corpos de prova para cada um dos traços analisados, na Tabela 8 estão apresentados os corpos de prova moldados para cada um dos ensaios a serem realizados.

Tabela 8: Quantidade de ensaios/corpos de prova

Traço	Compressão axial	Módulo de elasticidade	Tração por compressão diametral	Total de ensaios
A – Areia fina	9	6	3	18
B – Areia média	9	6	3	18
C – Areia grossa	9	6	3	18
TOTAL				54

3.3.2.1 Produção do concreto para ensaios

A produção do concreto deve seguir a seguinte ordem seguinte ordem:

1. Imprimação da betoneira;
2. Adição de toda a brita e parte da água;
3. A betoneira é acionada para que a água molhe todo o agregado;
4. O cimento é adicionado então na sua totalidade;
5. A betoneira é acionada para que o cimento se distribua uniformemente sobre os agregados;
6. Adição da areia e o restante da água sendo a betoneira acionada pelo tempo mínimo para obter homogeneidade na mistura

O tempo mínimo de mistura será conforme NBR 6118, contado após todos os materiais sejam lançados na cuba (depende do tipo de concreto e do tipo de betoneira). Para concretos plásticos:

- inclinadas $\rightarrow t = 120\sqrt{d}$

- eixo horizontal $\rightarrow t = 60\sqrt{d}$

Onde: $t \rightarrow$ em segundos $d \rightarrow$ diâmetro máximo do misturador em metros

3.3.3 Ensaios no concreto

Os ensaios que foram realizados em cada tipo de concreto, tanto em estado fresco quanto endurecido, estão apresentados no quadro 4. Foram realizados 12 ensaios com os corpos de provas de cada traço na idade 7 dias, sendo eles 6 de resistência à compressão axial, 3 de módulo de elasticidade e 3 de resistência à tração por compressão diametral. Por fim, na idade 28 dias foram realizados 3 ensaios de resistência à compressão axial e os 3 restantes de módulo de elasticidade.

Quadro 4: Ensaio no concreto

ENSAIO	NORMA	Nº DE CORPOS DE PROVA
Abatimento (Slump teste)	NBR NM67/1998	-
Compressão axial	NBR 5739/2018	9
Tração por compressão diametral	NBR 7222/2011	3
Determinação do módulo de elasticidade	NBR 8522/2017	6

3.3.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Após a execução dos ensaios em estado fresco, os corpos de prova cilíndricos foram moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003) (Figura 30), utilizando duas camadas de compactação manual com uma haste metálica. Após 24 horas de concretagem, os corpos de prova foram desmoldados e levados a câmara úmida para a cura, onde permaneceram até o momento da realização dos ensaios.

Figura 30: Moldagem corpo de provas.



Fonte: AUTOR (2020).

3.3.5 Determinação da Resistência à Compressão Axial

A determinação da resistência à compressão foi realizada de acordo com as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2007), deve ser feito o capeamento do corpo de prova antes da realização do ensaio. A base do corpo de prova deve ser regularizada por meio de polimento, utilizando-se uma máquina retificadora com rebolo diamantado para polimento. A Figura 31 mostra o procedimento do ensaio.

Figura 31: Rompimento por Compressão Axial do corpo de prova



Fonte: AUTOR (2020).

3.3.6 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A determinação da resistência à tração por compressão diametral foi realizada de acordo com as recomendações da NBR 7222 (ABNT, 2011). O ensaio visa determinar a carga máxima de ruptura a tração de maneira indireta, por meio da compressão diametral. A Figura 32 mostra o procedimento do ensaio.

Figura 32: Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.



Fonte: AUTOR (2020).

3.3.7 Determinação do Módulo de Elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade à compressão foi realizada de acordo com as recomendações da NBR 8522 (ABNT, 2017), por meio do método da tensão fixa (método A). A Figura 33 mostra o procedimento do ensaio.

Figura 33: Ensaio de Determinação do Módulo de Elasticidade.



Fonte: AUTOR (2020).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados para cada um dos ensaios e as análises estatísticas.

4.1 Caracterização dos Agregados

Neste tópico será apresentado os resultados da caracterização dos agregados, apresentando os dados resultantes e a representação gráfica do agregado miúdo.

4.1.1 Agregados Miúdos

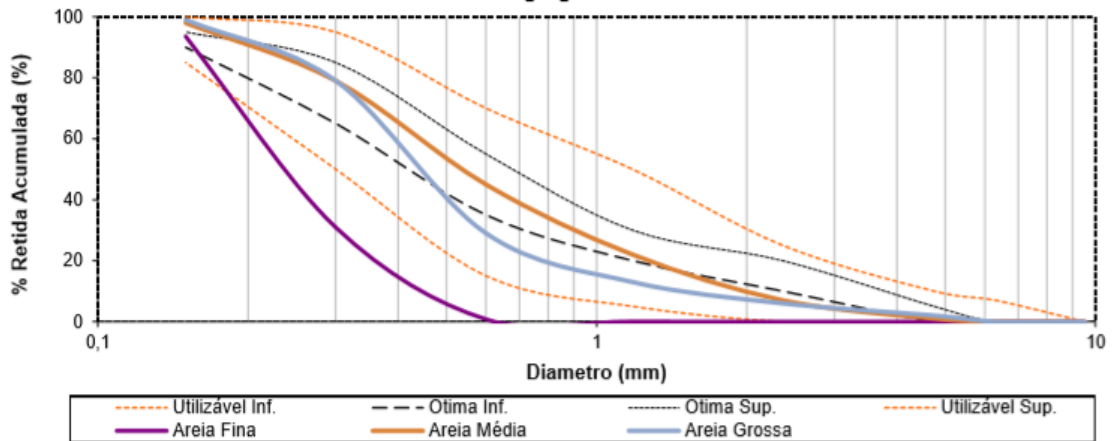
Foram utilizados três tipos de agregados miúdos na realização dos estudos, todos de origem natural, designados areia fina, areia média e areia grossa.

As características físicas e granulométricas dos agregados miúdos estão expostas na Tabela 9, com o respectivo método de ensaio normalizado. As composições granulométricas estão apresentadas graficamente na Figura 34, onde os valores obtidos são comparados com os limites da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 9: Características físicas e granulométricas dos agregados miúdos

Característica		Método de ensaio	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
Massa específica (g/cm ³)		NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,62	2,62	2,62
Massa unitária (g/cm ³)		NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,46	1,53	1,09
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	0,6	4,8	4,8
Módulo de Finura		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	1,25	2,52	2,28
Abertura da Peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Porcentagem retida acumulada média (%)		
Distribuição granulométrica	4,75		0	1	2
	2,38		0	7	6
	1,18		0	22	13
	0,60		0,1	45	29
	0,30		31	79	79
	0,15		94	98	99

Figura 34: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos
Granulometria Agregado Miúdo



4.1.2 Agregados Graúdos

Foi utilizado um tipo de agregado graúdo na realização dos estudos, britado de origem basáltica. O agregado graúdo foi classificado conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009) em Brita tipo 0. As características físicas e granulométricas do agregado graúdo está exposta na Tabela 10, com o respectivo método de ensaio normalizado.

Tabela 10: Características físicas e granulométricas dos agregados graúdos

Característica		Método de ensaio	Brita 0
Massa específica (g/cm ³)		NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,84
Massa unitária (g/cm ³)		NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,46
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	9,5
Módulo de Finura		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	5,79
Absorção (%)		NBR NM 53 (ABNT, 2009)	3,4
Abertura da Peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	25		0,0
	19		0,0
	12,5		0
	9,5		1
	6,3		43
	4,75		79
	2,36		100,0

4.2 Ensaios no Concreto

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados no concreto no estado endurecido, sendo eles de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

4.2.1 Resistência à Compressão Axial

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial realizados de acordo com NBR 5739 (ABNT, 2007), para o traço executado com a areia fina (Traço A) se encontram na Tabela 11 abaixo.

Observação: Os ensaios a serem realizados na idade de 7 dias foram rompidos aos 10 dias em função de disponibilidade do laboratório de concreto da UNISC.

Tabela 11: Traço A – Resultados ensaio de resistência à compressão axial.

Corpos de Prova	Resistência (MPa)	
	Idade 10 dias	Idade 28 dias
CP1	12,54	-
CP2	14,26	-
CP3	13,30	-
CP4	12,97	-
CP5	15,31	-
CP6	14,30	-
CP7	-	22,32
CP8	-	23,50
CP9	-	21,19
Média (MPa)	13,78	22,34
Desvio Padrão	1,03	1,16
CV (%)	7,45	5,17

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial realizados de acordo com NBR 5739 (ABNT, 2007), para o traço executado com a areia média (Traço B) se encontram na Tabela 23 a seguir.

Tabela 12: Traço B - Resultados ensaio de resistência à compressão axial.

Corpos de Prova	Resistência (MPa)	
	Idade 7 dias	Idade 28 dias
CP1	9,72	-
CP2	13,35	-
CP3	10,35	-
CP4	15,16	-
CP5	16,86	-
CP6	19,64	-
CP7	-	25,87
CP8	-	26,94
CP9	-	33,14
Média (MPa)	14,18	28,65
Desvio Padrão	3,83	3,93
CV (%)	26,98	13,70

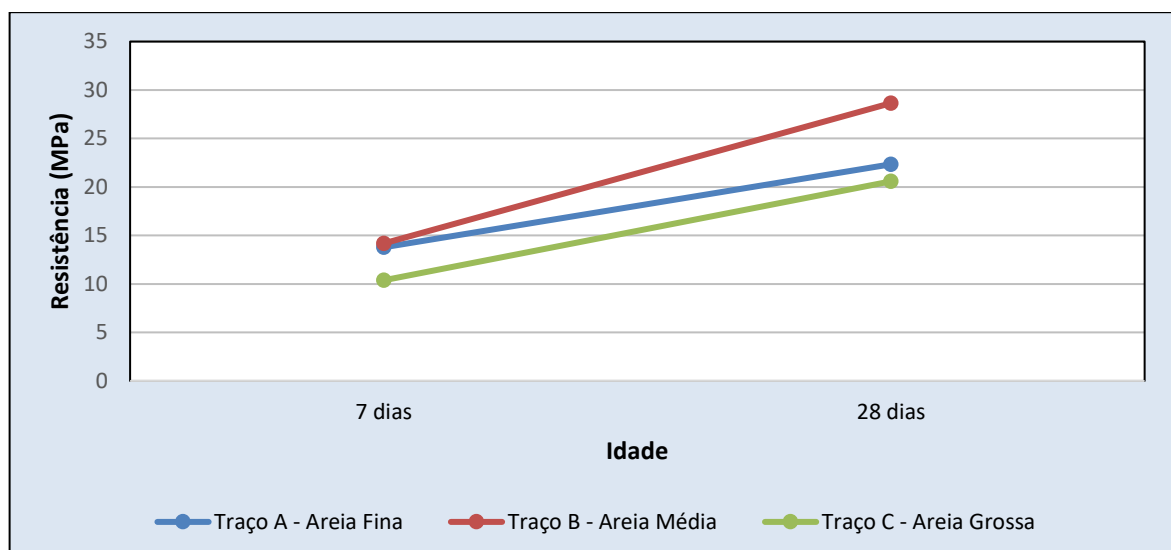
Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial realizados de acordo com NBR 5739 (ABNT, 2007), para o traço executado com a areia grossa (Traço C) se encontram na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13: Traço C – Resultados ensaio de resistência à compressão axial.

Corpos de Prova	Resistência (MPa)	
	Idade 7 dias	Idade 28 dias
CP1	10,86	-
CP2	9,81	-
CP3	11,60	-
CP4	9,27	-
CP5	10,20	-
CP6	10,55	-
CP7	-	19,74
CP8	-	22,38
CP9	-	19,61
Média (MPa)	10,38	20,58
Desvio Padrão	0,82	1,56
CV (%)	7,87	7,60

Com o objetivo de melhor visualizar a evolução da resistência à compressão para os diferentes tipos de agregados miúdos, plotou-se graficamente a média da resistência à compressão para as diferentes idades em função do tipo dos agregados. O resultado está apresentado na Figura 35.

Figura 35: Crescimento das resistências à compressão axial do concreto obtidas nos ensaios.



Analisando o gráfico apresentando na Figura 35, observa-se que houve um aumento da resistência à compressão do concreto com o aumento da idade de ruptura dos corpos de prova, como era esperado. Quando se analisa a influência do tipo do agregado miúdo, destaca-se que a areia média apresentou melhores resultados quanto a resistência a compressão aos 28 dias. Já para a idade de 7 dias constata-se que a areia média e a areia fina apresentaram resultados próximos.

Outro ponto que pode ser destacado no gráfico da Figura 35 é a menor resistência para o traço executado com areia grossa para ambas as idades, tal fato pode estar associado a baixa existência de finos e conseqüentemente uma falha no pacote granulométrico do concreto.

4.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Na Tabela 14 abaixo são mostrados os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral para os traços A, B e C. A resistência à tração por compressão diametral foi calculada conforme NBR 7222 (ABNT, 2011).

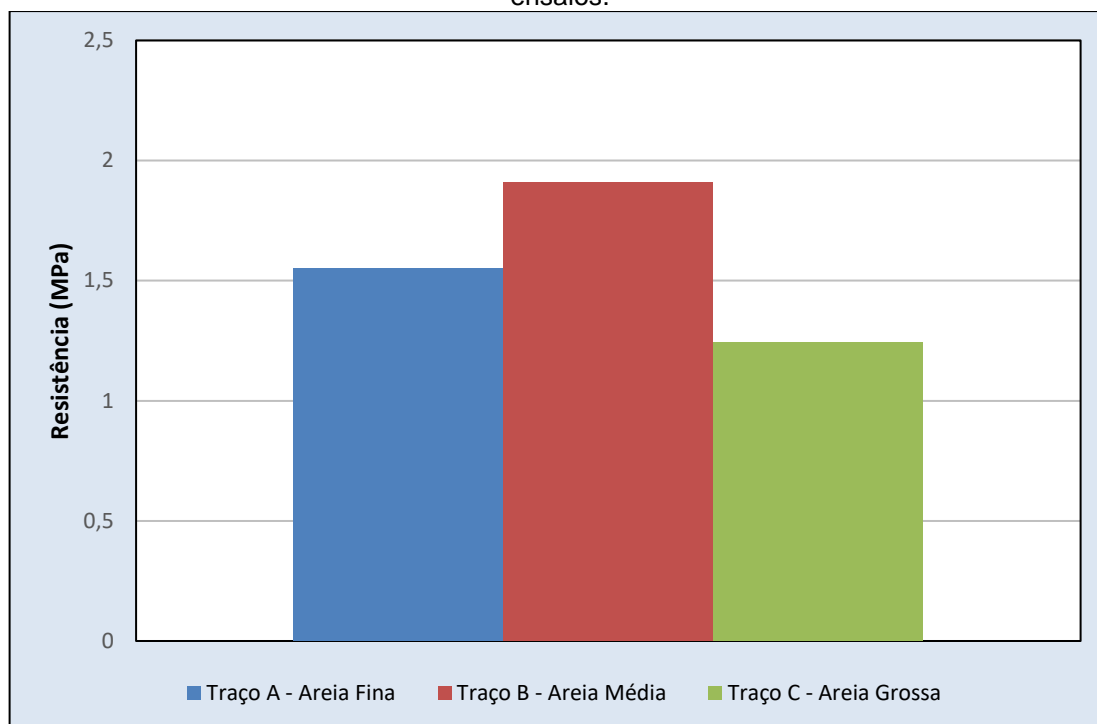
Tabela 14: Resultados ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

7 dias	Resistência (MPa)			Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)
	CP1	CP2	CP3			
Traço A*	1,59	1,56	1,49	1,55	0,051	3,32
Traço B	1,99	1,80	1,95	1,91	0,100	5,24
Traço C	1,19	1,43	1,10	1,24	0,171	13,76

Observação (*): A execução do ensaio do traço A foi realizado com a idade de 10 dias em função de disponibilidade do laboratório.

O gráfico mostrado na Figura 36 abaixo representa o crescimento das resistências à tração por compressão diametral obtido nos ensaios dos corpos de prova para cada traço produzido.

Figura 36: Crescimento das resistências à tração por compressão diametral do concreto obtidas nos ensaios.



De acordo com o gráfico apresentado na Figura 36 acima, tratando-se de resistência à tração por compressão diametral, observamos que ao analisar a influência do tipo do agregado miúdo, nota-se que o Traço B que foi executado com agregado miúdo areia grossa atingiu um resultado melhor. Em comparação, o Traço B apresentou 23,2% de resistência a mais que o Traço A que é composto de areia fina. Já em relação ao Traço C, não será feita a comparação em razão da grande variabilidade nos resultados do Traço C.

Percebe-se também na Figura 36 que o Traço C executado com areia grossa como agregado miúdo apresentou a menor resistência, seguindo o mesmo comportamento apresentado no gráfico da Figura 35, onde é apresentado a resistência à compressão axial.

4.2.3 Determinação do Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade foi determinado de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2017), sendo os valores apresentados na Tabela 15 para os 3 traços analisados.

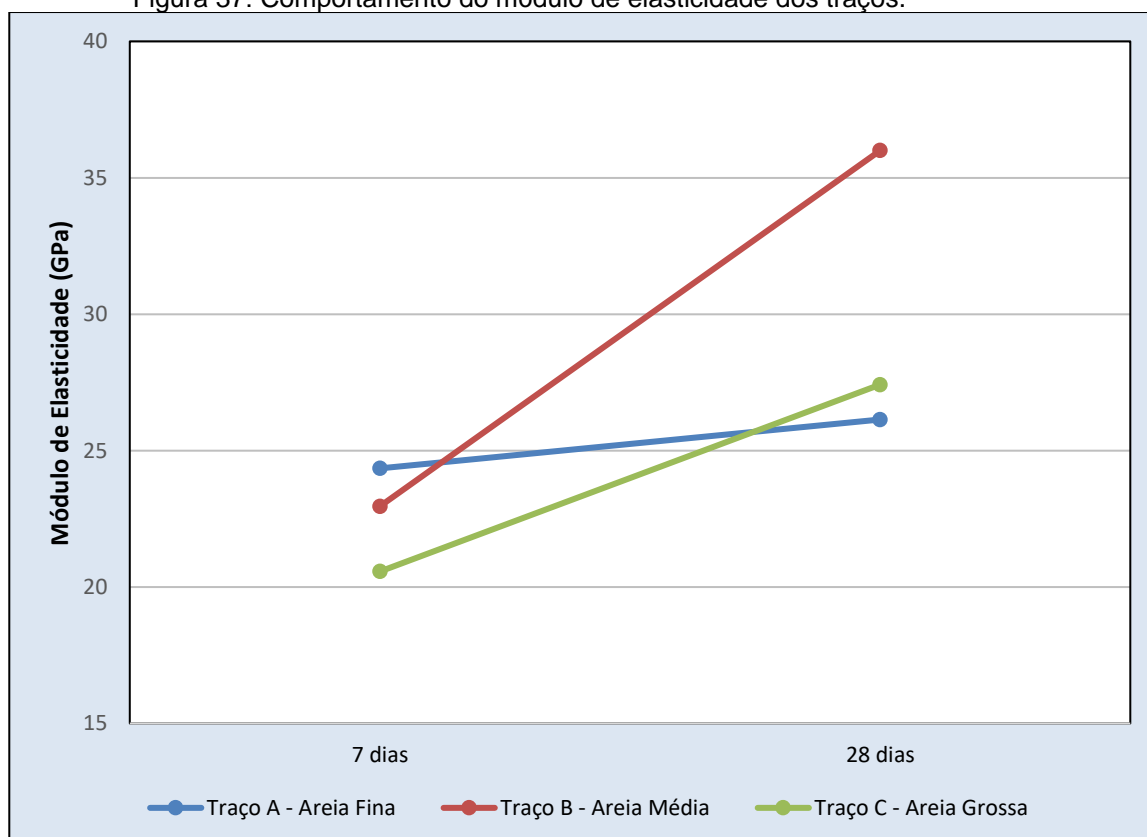
Tabela 15: Determinação do módulo de elasticidade para os traços A, B e C.

7 dias	Módulo de Elasticidade (GPa)			Média
	CP1	CP2	CP3	
Traço A*	24,87	23,66	24,51	24,35
Traço B	28,97	19,96	19,96	22,96
Traço C	17,70	20,19	23,81	20,57
28 dias				
Traço A	25,87	31,21	21,34	26,14
Traço B	28,11	40,18	39,68	36,00
Traço C	26,92	25,83	29,52	27,42

Observação (*): A execução do ensaio do traço A na idade 7 dias foi realizado com a idade de 10 dias em função de disponibilidade do laboratório.

O gráfico representado na Figura 37 abaixo representa o comportamento do Módulo de Elasticidade a partir dos resultados obtidos por meio dos ensaios.

Figura 37: Comportamento do módulo de elasticidade dos traços.



Analisando o gráfico estabelecido acima na Figura 37, repara-se que houve um aumento no módulo de elasticidade em função do aumento da idade de ruptura dos corpos de prova, atendendo à expectativa. Partindo da análise da influência do tipo do agregado miúdo, podemos observar que a areia média apresentou melhores resultados quanto ao módulo de elasticidade na idade 28 dias. Por outro lado, na idade de 7 dias, nota-se que a areia fina apresentou os melhores resultados, isso pode ter sido ocasionado em função dos corpos de prova da areia fina terem sido rompidos com idade de 10 dias conforme consta na observação.

Vale ressaltar que houve uma divergência no resultado atribuído aos 28 dias do corpo de prova da areia média.

5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

A análise dos resultados sugere que existe variação nas propriedades do concreto endurecido quando usamos areias de granulometria diferentes, no caso, grossa, média e fina, podendo ser observado nos gráficos comparativos elaborados. Salienta-se que as areias utilizadas foram obtidas na região de Santa Cruz do Sul – RS.

O concreto produzido com areia média apresentou melhores resultados em todos os ensaios realizados quando comparado com a areia grossa e fina. Com base nos resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados miúdos, verifica-se que o agregado que possui a maior massa unitária, no caso, a areia média, apresentou os melhores resultados tratando-se das resistências.

Para o ensaio de resistência à compressão, a areia média apresentou a maior resistência nas idades 7 dias e 28 dias, sendo elas, 14,18 MPa e 28,65 MPa, respectivamente. Tendo em vista, que na idade 7 dias, a areia fina atingiu o resultado de 13,78 MPa, valor próximo ao da areia média. Enquanto o traço C executado com areia grossa, apresentou a menor resistência em ambas as idades, atingindo a resistência de 20,58 MPa aos 28 dias.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, os corpos de prova foram rompidos apenas na idade 7 dias. Observa-se que a areia média novamente apresentou a maior resistência alcançando 1,91 MPa, seguido da areia fina que atingiu 1,55 MPa e por fim com a menor resistência, a areia grossa com o resultado de 1,24 MPa. Importante ressaltar que os corpos de prova da areia fina foram rompidos na idade de 10 dias em função da disponibilidade do Laboratório de Tecnologia da Construção da UNISC.

O último ensaio consistiu no módulo de elasticidade, podemos analisar que para a idade de 7 dias a areia fina apresentou o maior módulo de elasticidade com o valor de 24,35 MPa, enquanto a areia grossa atingiu o menor valor consistindo em 20,57 MPa. Em contrapartida, na idade de 28 dias, a areia média alcançou o maior valor, sendo ele 36,00 MPa, e a areia fina com o menor valor, consistindo em 26,14 MPa.

Podemos apontar que o fato da areia grossa atingir os menores valores tratando-se das resistências à compressão e à tração pode estar associado a baixa

existência de finos e conseqüentemente uma falha no pacote granulométrico do concreto.

Portanto, para afirmar que concretos produzidos com areia média apresentam características melhores de resistência a compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, seria necessário aumentar o número de amostras e repetir os ensaios com um número significativo a modo de obter resultados com maior precisão.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 308R-01-Guidet o Curing Concrete, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** ABNT, 2003.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 7212: Execução de concreto dosado em central - Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 8522: Concreto – Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Norma técnica, 2017.

_____. **NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL- **MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL**, 2007. Disponível em: <<https://cimento.org/wp-content/uploads/2018/03/manual-cdc.pdf>>. Acesso em: 29/09/2019.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: PINI, 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) - Manual of Concrete Practice Par1, 1980.

AOKI, Jorge. **Proteja seu Concreto - Sobre Concreto**, 18 de dezembro de 2007. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/proteja-seu-concreto-3/>>. Acesso em: 23/09/2019.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Unesp - Universidade Estadual, Paulista. Ilha solteira, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. (BT-106).

BS 1881: PART 201, 1986

<<https://www.passeidireto.com/arquivo/40468875/bs-1881-part-201-guide-tc-the-use-of-non-destructive-methods-of-test-for-hardene>> Acesso: em 03/11/2019.

ADÃO, Francisco Xavier e HEMERLY, Adriano Chequeto. **CONCRETO ARMADO NOVO MILÊNIO - Cálculo Prático e Econômico**. EDITORA INTERCIÊNCIA. Rio de Janeiro, 2010.

Almeida, Luiz Carlos. **Concreto Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV– Concreto armado**, 2002. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>. Acesso em: 23/09/2019.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de aula: Sistemas estruturais I – Fundamentos do concreto armado**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. São Paulo: Bauru, 2006. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>. Acesso em: 23/09/2019.

BAUER, L.A Falcão. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. Volume 1 - 5ª Edição Revisada (reimpressão). Livros Técnicos e Científicos. Editora Limitada. Rio de Janeiro, 2011.

Breve Histórico do Concreto Armado. Universidade de Brasília, 2015. Disponível em: file:///C:/Users/hansmann/Downloads/Aula_1_Concreto_Armado_1_Breve_historico > Acesso em: 28/09/2019.

CASTRO, Elisângela de. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Civil. Uberlândia, 2009.

Cimento. **Unochapecó**, 2007. Disponível em <https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1276.pdf>. Acesso em: 29 de set. de 2019.

COPEINSKI, Vagner. **Ensaio destrutivos e não destrutivos: Notas de Aula – Disciplina materiais de construção civil II**. Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhanguera. Santo André, 2014

CUSTODIO, Mayara Moraes. **CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**, PUC - Goiás. Disponível em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17310/material/01%20-%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20e%20Materiais%20Constituintes.pdf>.

Acesso em: 27/09/2019.

CURTI, Rubens. **Estradas de Concreto uma escolha inteligente e sustentável**. CONCRETE SHOW ABCP. São Paulo, 2012.

FIORATTI, Netulio Alarcon. **Processo de Produção de Concreto**. Disponível em:

http://netulio.weebly.com/uploads/9/0/6/6/9066781/processo_de_produo_do_concreto.pdf. Acesso em: 27/09/2019.

FOGANHOLE, P.C. Leovaldo. **Tecnologia de execução do pavimento de Concreto**. CONCRETE SHOW – ABCP. São Paulo, 2014.

GIONGO, Jose Samuel. **Introdução e Propriedades dos Materiais**. São Carlos, 2007. Disponível em:

http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf. Acesso em: 01/10/2019.

HALITBAYRAMOGLU. Disponível em: <http://www.halitbayramoglu.com.tr/yapi-malzemeleri/kaba-insaat-malzemeleri/itemlist/tag/%C4%B0NCE%20KUM%20BURSA.html>. Acesso em: 27/09/2019.

HELENE, Paulo. Concreto de Cimento Portland

IBRACON. 2010. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>. Acesso em: 02/10/2019.

HELENE, Paulo. Controle da resistência a compressão do concreto das estruturas de edificações e obras de arte. A Construção São Paulo, PINI, v.01/24, São Paulo, 1984.

ISHIKAWA, Paulo H. CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO COM AREIA ARTIFICIAL. Boletim Técnico da FATEC-SP - BT/ 28, 2010.

KAEFER, Luís Fernando. A Evolução do Concreto Armado. 1998. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>. Acesso em: 20/09/2019.

KIHARA, Y. et al. A Microscopia do clínquer Portland e seus benefícios tecnológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 2, 1990, São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1990.

LOPES, Yuri Danilo. Estimativa da resistência do concreto à compressão por meio de ensaios não destrutivos: Estudos de caso. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, 2016.

MAPA DA OBRA. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/>. Acesso em: 28/09/2019.

MARTINS, Aline; **MERCADÉ**, Suzana Ramos; **AOKI**, Jorge; **MADI**, Fábio; **MARCONDES**, Carlos Gustavo; **NEVES**, Idércio França. APOSTILA DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO. Disponível em: <https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1276.pdf>. Acesso em: 29/09/2019.

MEHTA, P. Kumar e **MONTEIRO**, Paulo J. M. **Concrete Microstructure, Properties, and Materials**. University of California at Berkeley McGraw-Hill, 2006.

MONTIJA, Fernando Celotto. **Aspectos da variabilidade experimental do ensaio de módulo de deformação do concreto**. Dissertação de mestrado em engenharia de construção civil e urbana, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

NATIONAL CONCRETE PAVEMENT TECHNOLOGY CENTER. Disponível em: <http://www.cptechcenter.org>. Acesso em: 02/10/2019.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=dYOPCgAAQBAJ&pg=PA1&hl=pt-BR&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 05/10/2019.

OLIVEIRA JR., Benedito Carlos de. **Apontamentos de aula - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em:

<<http://www.dryplan.com.br/media/posts/anexos/f5be889278.pdf>>. Acesso em: 01/10/2019.

PACHECO, Jéssika; HELENE, Paulo. **Boletín Técnico: Controle da Resistência do Concreto**. Mérida: Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción - Alconpat Int., 2013. Disponível em:

<<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B9-Controle-da-Resistência-do-Concreto.pdf>> Acesso em: 03/11/2019.

PATTON, Willian John. **Materiais de Construção**

Ed da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**

13. ed. Co-editor Vladimir Antônio Paulon. São Paulo: Globo, 1998.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Agregados para concreto**.

PUC – CAMPINAS. Disponível em: <<http://ptdocz.com/doc/441150/agregados-notas-de-aula---puc>>. Acesso em: 02/10/2019.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios: Apostila de Aula**. (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

PINHEIRO, Libânio. et al. **Estruturas de concreto – Capítulo 2**. Departamento de Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. Disponível em:

<<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/02%20Concreto.pdf>> Acesso em: 03/11/2019.

PINHEIRO, Libânio. et al. **Estruturas de Concreto – Capítulo 2**. Departamento de Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em: 16 de ago. de 2020.

ROMANO, Cezar Augusto. **Manual de Tecnologia do Concreto**, 2004. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>>. Acesso em: 25/09/2019.

RUSCHEL, Rony. **CURSO BÁSICO DE CONCRETO ARMADO**. Editora Globo. Porto Alegre, 1974.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados naturais, britados e artificiais para concretos**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. v. 1, p. 233-260.

SIQUEIRA, Lígia Vieira Maia. **AGREGADOS**. UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC. Joinville, 2008. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/ensaios-tecnicos-agregados/4764365/>>. Acesso em: 02/10/2019.

S. CHAND. **CONCRETE TECHNOLOGY THEORY AND PRACTICE**. Multicolour Illustrative Edition (An ISO 9001: 2000 Company). Ram Nagar, New Delhi – 110055.

THOMAZ, Eduardo C. S. **Notas de aula: Esclerômetro**. Instituto Militar de Engenharia - IMEB. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/esclerometro_14jun2011.pdf>. Acesso em: 23 de set. de 2019.

TIPOS DE BRITA: CONHEÇA AS DIFERENÇAS. MAPA DA OBRA. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-tipos-de-brita/>>. Acesso em: 28/09/2019.

To improve today's concrete, do as the Romans did. Disponível em: <<https://www.amieindia.in/downloads/ebooks/concrete-tech.pdf>>. Acesso em: 29/09/2019.

VARELA, Marcio. **Dosagem do concreto**, 2012. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao/aula-7-dosagem-do-concreto/aula-7-dosagem-do-concreto-texto/view>> Acesso em: 23/09/2019.

WOLTER, A. **Influence of the kiln system on the clinker properties.** Zement-Kalk-Gips, Wiesbaden, v. 38, n. 10, p. 612-14, Oct. 1985.