

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SARA RAFAELA DE SOUZA VILELA

**INFLUÊNCIA DO CIMENTO PORTLAND COMERCIALIZADO EM ARACAJU-
SERGIPE EM CONCRETOS CONVENCIONAIS**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

SARA RAFAELA DE SOUZA VILELA

**INFLUÊNCIA DO CIMENTO PORTLAND COMERCIALIZADO EM ARACAJU-
SERGIPE EM CONCRETOS CONVENCIONAIS**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Carla Cristina
Nascimento Santos Pereira.

ARACAJU

2017

Dedico este trabalho em especial a minha mãe, ao meu esposo, minha filha e a toda minha família, por acreditarem e investirem em mim, sem medir nenhum esforço para que eu pudesse completar mais uma etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, meu guia, presente nas horas de angústia, foi Ele quem permitiu que tudo isso acontecesse. A minha amada e querida família (meus pais, meu avô, minha vó, meus tios e tias, irmãos, primos), por de acreditarem e investirem em mim, por compreender minha ausência, pelo apoio e carinho que sempre depositaram em mim, e em especial a minha mãe, Cintia, seu cuidado e dedicação foi quem deram a esperança para eu seguir e a certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

Ao meu esposo, Marcelo, pessoa com quem amo partilhar minha vida. Obrigado pelo carinho paciência e compreensão, me deu força e coragem nos momentos mais complicados. E que nós momentos de minha ausência dedicados aos estudos, você entendeu que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

E o que dizer de você minha guerreirinha? Julia, minha filha, obrigada principalmente pela sua paciência, seu amor, desde bebezinha me acompanhando nas aulas, e nos últimos meses passando dia e noite no laboratório, essa conquista é mais sua do que minha.

A família do meu esposo por todo esforço que fizeram pra eu conseguir chegar até aqui. Sou muito grata por tudo.

As minhas amigas do IFS, minhas companheiras de trabalho (Thaysa, Thayna, Thanmiris, Rafaela, Luanda) pelas alegrias e tristezas compartilhadas e a todos os meus amigos que fizeram parte desta minha caminhada.

Um agradecimento especial, a uma pessoinha que eu adoro, meu amigo Ramon, foi essencial nesse trabalho, quantas vezes pensamos em desistir né meu amigo, mas estávamos ali juntos, um incentivando o outro, e foi isso que fez com nos chégássemos ate aqui.

A minha amiga/irmã Hannah Uruga, sempre me ajudando quando eu mais preciso, me dando dicas preciosas, você também foi essencial nessa minha caminhada, obrigada por tudo.

A minha orientadora Dra. Carla Cristina, pela paciência, pela sua amizade, pelo apoio, pelo seu empenho dedicado para que este trabalho tivesse sido concluído. Foi um prazer enorme trabalhar com você.

A todos os professores, em especial os da COEC, por passarem todo seu conhecimento, vocês foram muito importantes na minha vida acadêmica.

Aos técnicos do laboratório por sempre estarem dispostos a ajudar nos momentos que precisei.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação!

“Perder tempo em aprender coisas que não interessam, priva-nos de descobrir coisas interessantes”. (Carlos Drummond de Andrade)

RESUMO

VILELA, Sara Rafaela de Souza. **Influência do cimento Portland comercializado em Aracaju-Sergipe em concretos convencionais**. 64 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

O concreto é o material de construção que se compõe de uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, água e ar, contendo ou não aditivo químico e adições, que melhoram ou modificam suas propriedades, tornando-o mais utilizado na atualidade. É de extrema importância estudar estes componentes, pois os mesmos têm características e funções distintas que podem influenciar nas propriedades do concreto. A qualidade final do concreto depende tanto do controle de suas propriedades no estado fresco como no seu estado endurecido. Sendo o cimento o material essencial na fabricação do concreto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos tipos de cimento comercializados em Aracaju-Sergipe nas propriedades do concreto, através de ensaios laboratoriais. Foram utilizadas três marcas distintas do cimento tipo CP II Z – 32, a partir disso foram dosados os traços e posteriormente analisadas diversas propriedades, do concreto convencional com consumo normal de cimento e do concreto com baixo consumo de cimento, por meio dos ensaios de: abatimento de tronco de cone, velocidade de abatimento, perda de abatimento, densidade de massa e resistência mecânica, além da caracterização do agregado e de todos os aglomerantes utilizados. Os resultados mostraram comportamentos distintos para misturas com diferentes tipos de cimento. No CBC (Concretos com Baixo Consumo de Cimento) percebe-se que os concretos realizados com os diversos cimentos apresentaram maior fluidez em relação aos CC's (Concretos Convencionais). E que em outras análises notou-se que mantendo a mesma relação água/cimento, tanto para os CC's quanto os CBC's, os concretos com cimento X e Z apresentaram maiores resistências do que o concreto com cimento Y.

Palavras-chave: Concreto; Cimento; Propriedades; Marcas.

ABSTRACT

VILELA, Sara Rafaela de Souza. **Influence of Portland cement commercialized in Aracaju – Sergipe used in conventional concretes**. 64 pages. Monograph (Bachelor of Civil Engineering) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2016.

Concrete is the building material that is composed of a homogeneous mixture of cement, small and large aggregates, water and air, with or without chemical additives and additions, that can improve or modify its properties. It is extremely important to study these components, since they have different characteristics and functions that can influence the properties of the concrete. The final concrete quality depends as much on the control of its properties in the fresh state as in its hardened state. Bearing in mind that cement can be considered the most important component of concrete, the objective of this work is to evaluate the influence of the types of cement commercialized in Aracaju-Sergipe on the properties of the concrete, through laboratory tests. Three different brands of cement type CP II Z - 32. From this, the concrete recipes were then measured and then analyzed for various properties of conventional concrete with normal cement consumption and concrete with low cement consumption, were realized the tests: concrete slump test, velocity of slump, loss of slump, mass density and mechanical strength, besides the characterization of the aggregate and all the binders used. The results showed different behaviors for mixtures with different types of cement. In the CBC (concrete with low cement consumption) it is noticed that the concretes composed by diverse cements presented more fluidity comparing to the CC's (Conventional Concrete). In the other analyzes, it was observed that in the same water/cement ratio, both CC and CBC, concretes with cement X and Z presented higher resistance to compression than concrete with cement Y.

Keywords: Concrete; Cement; Properties; Brands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico relação a/c X resistência à compressão	21
Figura 2 - Composição do cimento Portland	21
Figura 3 - Concreto coeso e concreto não coeso, respectivamente.....	31
Figura 4 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	35
Figura 5 - Fatores que influenciam na permeabilidade, absorção e porosidade do concreto.	36
Figura 6 - Modelo de Diagrama de dosagem dos concretos do método IPT/EPUSP	39
Figura 7 – Fluxograma da metodologia adotada e das variáveis	44
Figura 8 - Aparelhagem do ensaio de abatimento do tronco de cone	49
Figura 9 - Resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone	49
Figura 10 - Corpos de prova (CP's).....	51
Figura 11 - Cura dos corpos de prova (CP's).....	51
Figura 12 - Rompimento dos corpos de prova	51
Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral	52

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Principais compostos do cimento Portland.....	22
Tabela 2 - Valores do desvio padrão para cálculo da resistência aproximada.....	42
Tabela 3 - Resultados da caracterização do Cimento X	44
Tabela 4 - Resultados da caracterização do cimento Y	45
Tabela 5 - Resultados da Caracterização do cimento Z.....	45
Tabela 6 - Granulometria da areia.....	46
Tabela 7 – Resultado da caracterização da areia	46
Tabela 8 - Granulometria do agregado graúdo	47
Tabela 9 - Características da brita	47
Tabela 10 - Resultados relacionados com a proporção de materiais.....	53
Tabela 11 - Resultados dos ensaios do CC e do CBC.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	46
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo	47
Gráfico 3 - Resultado do abatimento do tronco de cone do concreto convencional (CC)	54
Gráfico 4 - Resultado do abatimento do tronco de cone do concreto com baixo consumo de cimento (CBC)	54
Gráfico 5 - Resultado da velocidade de abatimento do concreto convencional (CC)	55
Gráfico 6 - Resultado da velocidade de abatimento do concreto com baixo consumo de cimento (CBC).....	55
Gráfico 7 - Resultados da perda de abatimento do concreto convencional (CC)	56
Gráfico 8 - Resultados da perda de abatimento do concreto com baixo consumo de cimento (CBC).....	56
Gráfico 9 - Análise percentual da perda de abatimento em relação ao primeiro abatimento (CC).....	56
Gráfico 10 - Análise percentual da perda de abatimento em relação ao primeiro abatimento (CBC)	56
Gráfico 11 - Resultado da massa específica do CC	57
Gráfico 12 - Resultado da massa específica do CBC	57
Gráfico 13 - Resultados da resistência à compressão do CC	58
Gráfico 14 - Resultados da resistência à compressão do CBC.....	58
Gráfico 15 - Resultados resistência à tração do CC.....	58
Gráfico 16 - Resultados resistência à tração do CBC	58
Gráfico 17 - Correlação entre velocidade de abatimento e abatimento do CC	59
Gráfico 18 - Correlação entre velocidade de abatimento e abatimento do CBC	59
Gráfico 19 – Comparativo entre tempo de abatimento e o abatimento do CC	60
Gráfico 20 - Comparativo entre tempo de abatimento e o abatimento do CBC	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Definição e Histórico do Concreto Convencional	18
3.2	Materiais constituintes do concreto	19
3.2.1	Agregados	19
3.2.2	Aditivos e adições	20
3.2.3	Água de amassamento	20
3.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	27
3.3.1	Trabalhabilidade	27
3.3.2	Segregação e Exsudação	29
3.3.3	Coesão	30
3.4	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	31
3.4.1	Resistência Mecânica	32
3.4.2	Massa específica	34
3.4.3	Durabilidade	34
3.4.4	Permeabilidade	35
3.5	INFLUÊNCIA DO CIMENTO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	36
3.6	MÉTODOS DE DOSAGEM DO CONCRETO	37
3.6.1	Método IPT/EPUSP	37
4	METODOLOGIA	43
4.1	MATERIAIS	44
4.1.1	Cimento	44
4.1.2	Agregado miúdo	45
4.1.3	Agregado graúdo	46
4.1.4	Água	48
4.1.5	Aditivo	48
4.2	MÉTODOS – ENSAIOS	48
4.2.1	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test)	48
4.2.2	Velocidade de Abatimento	50
4.2.3	Perda de Abatimento	50
4.2.4	Moldagem e cura dos corpos de provas	50
4.2.5	Resistência Mecânica	51
4.2.6	Massa específica	52

5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
6	CONCLUSÃO	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

O concreto surgiu a partir da descoberta de um agente aglomerante cimentício, seu principal componente, e que produz uma reação química formando uma pasta aderente. Por conseguinte, o concreto teve seu surgimento no século II AC, no momento em que surgiu o primeiro aglomerante. Desde então, foi bastante usada na época dos Romanos onde era utilizado um material semelhante, apresentando como aglomerante uma mistura de cal e cinza vulcânica (pozolana natural), uma vez que com esse material foram realizadas admiráveis obras de engenharia.

O concreto é o material mais utilizado na atualidade, segundo Mehta e Monteiro (2008) e sua aplicação abrange diversas áreas, como na construção de casas e edifícios, pontes, viadutos, túneis, em obras de contenção, entre outras aplicações. Sobretudo, pode-se definir o concreto como sendo uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, água e ar, contendo ou não aditivo químico e adições, que melhoram ou modificam suas propriedades.

Segundo Petrucci (1998), o concreto quando misturado deve proporcionar condições de plasticidade que permitam operações de manuseio, nos quais são fundamentais no lançamento nas fôrmas, adquirindo coesão e resistência, no decorrer do tempo, pela reação irreversível da água com o cimento (hidratação).

Conforme o mesmo autor (Petrucci, 1998), para adquirir um concreto durável, resistente, econômico e de bom aspecto, é importante estudar as caracterizações de cada um dos materiais integrantes, as propriedades do concreto e os fatores que possivelmente podem alterá-las, além da proporção correta e a execução cuidadosa da mistura dos materiais, a fim de atender as características de trabalhabilidade necessária para o transporte, lançamento e adensamento compatíveis com a obra e analisar as características exigidas após o endurecimento.

A proporção dos materiais constituintes do concreto é conhecida como dosagem ou traço, sendo um fator muito importante para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, além das características de trabalhabilidade, condições estas que variam caso a caso.

No preparo do concreto deve-se levar em consideração a qualidade e a quantidade da água a ser utilizada, pois ela está diretamente ligada por ativar a

reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade ou qualidade forem inadequados, a reação poderá não ocorrer por completo, modificando a resistência e a permeabilidade do concreto. Diante disso, a água tem um papel de destaque, sendo relevante obter a relação entre o peso da água e do cimento utilizados na dosagem, conhecido como relação água/cimento (a/c), como também a proporção correta entre água e materiais secos. Cada material a ser utilizado na dosagem deve ser analisado previamente em laboratório (conforme normas da ABNT), a fim de verificar a qualidade e obter os dados necessários à elaboração do traço.

A qualidade final de um concreto depende do controle de suas propriedades, tanto no estado fresco como no estado endurecido, podendo estes ser alteradas pela adição de certos materiais na dosagem. O presente trabalho tem sua importância devido às discordâncias observadas tanto em estudos desenvolvidos em laboratório, quanto em problemas relacionados às resistências de concretos de obra em relação especialmente às propriedades dos materiais, enfatizando-se a heterogeneidade destes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a influência das marcas de cimento comercializada em Aracaju/SE nas propriedades de concretos convencionais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, cabe salientar:

- Analisar as propriedades no estado fresco de concretos convencionais tanto os concretos com consumo de cimento normal, quanto os de baixo consumo;
- Verificar as diferenças ou semelhanças dos concretos ao se alterar apenas as marcas dos cimentos;
- Constatar a influência das marcas de cimento nas resistências mecânicas dos concretos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definição e Histórico do Concreto Convencional

A história do concreto é bastante antiga sendo confundida com a própria história da civilização humana. A argila foi o primeiro material utilizado pelo homem, de modo a obter uma pedra artificial dura para utiliza-lo na fabricação de objetos e utensílios domésticos. Após essa descoberta outros materiais aglomerantes começaram a ser utilizado pelo homem, como a cal e o gesso.

Na Grécia, a cal hidráulica já era utilizada para revestir fontes atenienses desde o século V a.C. No entanto, o material mais utilizado nas grandes construções gregas foram as pedras aparelhadas em sistemas de vigas e colunas. Já os romanos utilizavam o concreto como material estrutural, sendo este constituído de cal hidráulica, pozolanas, areia reativa, argila ou pedras calcinadas e água, onde eram empregados na construção de edificações, aquedutos, pontes e obras em geral em todo o império, estendendo-se por toda a Europa, parte da Ásia e África.

Nas ultimas décadas com o surgimento de novos materiais e aditivos químicos foram desenvolvidos diversos concretos especiais para diferentes tipos de obras na engenharia, dentre eles destacam-se concreto de alto desempenho, alto adensável, com fibra, entre outros. (ISAIA ET AL, 2011)

Segundo Neville (1997), o concreto é definido como sendo um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, podendo ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições.

Por ser um material de grande resistência, o concreto é capaz de suportar toda a carga de uma edificação, e em função de sua fácil moldagem e execução em várias formas e tamanhos, vem sendo muito utilizado na construção civil. Com os avanços tecnológicos, é possível utilizar o concreto em grandes obras com economia e segurança. O concreto pode ser considerado como um material fácil de obter e de baixo custo, por ser simples a sua fabricação e tendo como principais constituintes o cimento Portland e os agregados, sendo encontrados em quase todas as regiões do mundo.

A qualidade do concreto depende de vários fatores, tais como, dosagem e mistura dos materiais corretamente, lançamento, adensamento, para tornar o concreto mais denso e eliminar os vazios, e por último, a cura, que é a denominação

dada aos procedimentos que se recorre para impedir que o concreto perca água rapidamente para o meio e consiste em controlar a temperatura e a saída e entrada de umidade do concreto. Os materiais utilizados na dosagem do concreto devem passar por uma análise no laboratório de acordo com as normas da ABNT a fim de verificar a qualidade e alcançar os dados para a elaboração do traço.

Além dos fatores citados, a qualidade final do concreto depende também, do controle tecnológico de suas propriedades tanto no estado fresco como no seu estado endurecido. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), tais propriedades permitem que a moldagem de corpos com elevada resistência e geometrias variáveis seja realizada de maneira simples e com custos relativamente reduzidos.

3.2 Materiais constituintes do concreto

3.2.1 Agregados

Agregados são materiais de pequenos grãos, normalmente inertes, com dimensões e propriedades pertinentes para o uso em obras de engenharia (PETRUCCI, 1998). Para Neville o agregado não pode ser considerado como material inerte, pelo fato de suas propriedades físicas, térmicas e até química influenciarem no desempenho do concreto. É muito utilizado na fabricação de concretos e argamassas.

Os agregados para concreto são classificados em agregado graúdo e miúdo, de acordo com as dimensões das partículas, massa específica ou origem dos mesmos.

Os agregados são adicionados ao concreto com o intuito de:

- Reduzir o consumo de cimento, pois o mesmo é mais caro que os demais materiais;
- Aumenta a durabilidade em relação à pasta de cimento pura;
- Melhorar a trabalhabilidade;

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) em concretos usuais o agregado não tem influência direta na resistência à compressão, possui apenas um papel secundário, onde em alguns casos os agregados porosos e sua composição mineralógica afetam na resistência à compressão, dureza, módulo de deformação e influenciando, assim, em várias propriedades do concreto endurecido.

3.2.2 Aditivos e adições

De acordo com a NBR 11768:2011, aditivo é o produto adicionado em pequena quantidade ao concreto de cimento Portland, com o objetivo de modificar algumas de suas propriedades no estado fresco e endurecido, afim de melhor adequá-las a determinadas condições. Geralmente não se adiciona quantidades superiores a 5% em relação à massa de cimento.

Os aditivos são substâncias adicionadas ao concreto intencionalmente com diversas finalidades, destacando-se as seguintes:

- Acelerar ou retardar a pega;
- Diminuir a permeabilidade aos líquidos;
- Diminuir a retração;
- Aumentar a aderência do agregado ao concreto;
- Aumentar tensões nas primeiras idades;
- Reduzir a relação a/c;
- Acelerar o endurecimento nas idades iniciais.

Nesta pesquisa foi utilizado o aditivo plastificante, cuja função é reduzir a relação água/cimento a fim de melhorar a resistência e durabilidade do concreto.

Já as adições minerais são utilizadas com o propósito de acrescentar ou mesmo substituir, parcialmente, o cimento (pelo fato de possuir propriedades cimentícias). As adições mais utilizadas nos concretos têm sido as cinzas-volantes, pozolanas artificiais, metacaulim, escórias de alto-forno moído e sílica ativa.

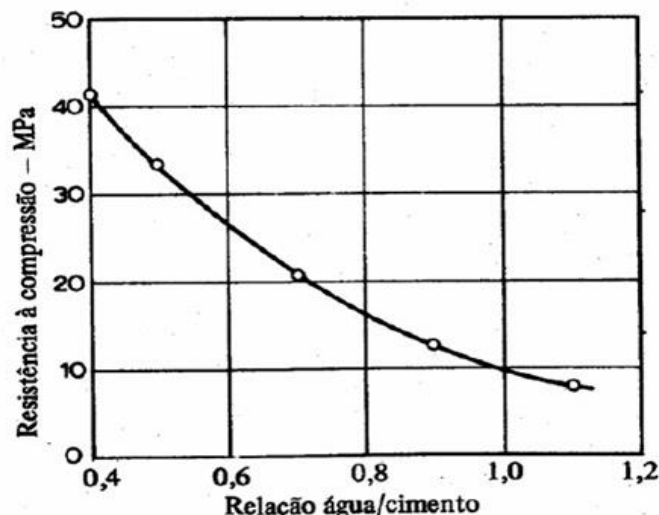
3.2.3 Água de amassamento

A água é de extrema importância, pois influencia nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, destacando as reações de hidratação do cimento e as características ligadas à resistência e durabilidade e entre outras propriedades reológicas do concreto.

A relação entre a quantidade de água e cimento acrescida na produção do concreto tem influência na resistência final do concreto. O primeiro a conhecer essa relação foi Abrams em 1919, onde estabeleceu experimentalmente que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta de cimento. Essa descoberta ficou

conhecida como a Lei de Abrams e é utilizada para a formação da curva de correlação da relação água/cimento (a/c) em função de uma dada resistência a compressão do concreto para uma determinada idade.

Figura 1 - Gráfico relação a/c X resistência à compressão



Fonte: Propriedades do concreto de Adam M. Neville, 1997.

3.2.4 Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer e outras adições. É um pó fino que endurece sob a ação da água, após endurecer, mesmo submetido à ação da água, não se decompõe mais.

Para Neville (1997), é considerado como um material com propriedades adesivas e coesivas unindo fragmentos e minerais entre si formando um todo compactado.

O cimento, atualmente, é um dos materiais mais utilizados na construção civil, com uma diversidade no campo de aplicação.

Esse aglomerante hidráulico é obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento e tem como matéria prima o calcário e a argila. Outros materiais podem ser adicionados à mistura do cimento, como pozolanas, escórias de alto forno e fíler calcário (materiais carbonáticos).

Figura 2 - Composição do cimento Portland

Cimento Portland = Clínquer + gipsita + adição

Fonte: Próprio autor (2017)

O cimento Portland é composto pelas matérias primas como mostrado seguir.

- a)** Calcário: É o principal componente do cimento, sendo composto do mineral calcita (carbonato de cálcio - CaCO_3), mas são apresentados na natureza como óxidos de ferro, alumínio e silício. A matéria prima que interessa na fabricação do cimento é a cal, onde são aproveitados 56% do total da matéria bruta, o restante é perdido em forma de gás.
- b)** Argila: A argila apresenta em sua composição para a fabricação do cimento os seguintes compostos: silicatos de alumínio hidratados, óxidos de ferro (Fe_2O_3), alumínio (Al_2O_3) e sílica (SiO_2).
- c)** Gesso: A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mais conhecida como gesso, é a forma mais usada na indústria cimenteira. É adicionado no final do processo de fabricação do cimento Portland, sendo usado para regular o tempo de pega do cimento, ou seja, permitindo-o que se torne trabalhável por mais tempo. Sem a adição do gesso, o tempo de pega do cimento seria muito rápido, tornando-o difícil a sua utilização. Por isso o gesso está presente em todos os tipos de cimentos existentes no mercado.

Para a fabricação do cimento é utilizado basicamente o calcário, a sílica, a alumina e o óxido de ferro. Quando esses compostos reagem entre si no interior do forno, formando o clínquer, da combinação entre eles, têm-se os compostos mostrados na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Principais compostos do cimento Portland

Nome do composto	Composição em Óxidos	Abreviações
Silicato Tricálcio	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato Dicálcio	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminato Tricálcio	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Ferroaluminato Tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

Fonte: Modificado (Neville, 1997)

As características principais destes compostos estão apresentadas a seguir:

- C₃S: É responsável pela resistência do cimento até os 28 dias. Quando em contato com a água, libera calor de hidratação.
- C₂S: Libera baixo calor no processo de hidratação, possuindo pega lenta, sendo responsável pela resistência em idades maiores.
- C₃A: É o componente mais reativo do cimento, responsável pelo calor de hidratação, tendo uma pega instantânea. Tem baixa resistência, sendo responsável pelas resistências iniciais e não resiste às águas sulfatadas.

- C4AF: Libera baixo calor de hidratação, baixa resistência, possuindo pega rápida. Tem a vantagem de melhorar o desempenho do cimento a ação de águas sulfatadas.

O uso do cimento para fins construtivos é uma atividade bastante antiga na história da civilização. Os egípcios usavam gesso impuro calcinado. Posteriormente os gregos e os romanos melhoraram esses materiais, utilizando calcário calcinado. Mas foram os romanos que descobriram que adicionando cinzas vulcânicas à cal hidratada obtinha-se um aglomerante que endurecia quando em contato com a água.

Entretanto, foi o construtor inglês Joseph Aspdin, em 1824, realizando um experimento queimando pedras calcárias e argila juntas, obtendo um pó fino, quem observou que a mistura seca em contato com a água não se dissolvia. Aspdin observou que o resultado desse experimento apresentava cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha de Portland. Assim, ele registrou esse nome em sua patente.

Com o avanço no desenvolvimento do cimento Portland, outros materiais começaram a ser adicionados à sua composição, de modo a obter características distintas para cada tipo de construção, surgindo os cimentos com adições, diferindo entre si pelos teores de adições e clínquer determinados pela ABNT. Existem no Brasil diversos tipos de cimento Portland, os principais tipos oferecidos no mercado são os seguintes:

3.2.4.1 Cimento Portland Comum (CP I)

O primeiro cimento lançado no Brasil foi o CP. Este tipo de cimento não possui nenhum tipo de adição com exceção do gesso, utilizado para controlar a pega. É bastante empregado em construções de concreto em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. (ABCP, 2002)

3.2.4.2 Cimento Portland Comum com adição (CP I - S)

O CPI-S tem as mesmas características do cimento Portland comum, o que difere são as adições, na proporção de 1% a 5% de material pozzolânico, escória ou fíler calcário e o restante de clínquer. Este tipo de cimento apresenta melhor

resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Dessa forma, é muito utilizado em lançamentos maciços de concreto.

3.2.4.3 Cimento Portland (CP II)

Este tipo de cimento é constituído por escória, pozolana e fíler. É utilizado em obras em geral, sendo mais indicado em lançamentos maciços de concreto. Apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo e melhor calor de hidratação. Os tipos de CP II são:

- Cimento Portland composto por Escória (CP II – E): O CP II – E inclui a adição de escória granulada de alto-forno, possuindo propriedade de baixo calor de hidratação. É composto de 94% a 56% de clínquer e gesso e 6% a 34% de escória e 0% a 10% de calcário. Este cimento possui secagem rápida e maior resistência iniciais e finais. Recomendado para estruturas que requerem um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacados por sulfatos, em argamassas de assentamento, revestimento, contrapiso e chapisco, em concretos simples, armado, rolado ou projetado entre outros.
- Cimento Portland composto por Pozolana (CP II – Z): Cimento composto de material pozolânico que varia de 15% a 50% da massa total do aglomerante, o que lhe permite menor permeabilidade, e até 10% de material carbonático (fíler), podendo ser usado em obras subterrâneas, com presença de água, inclusive marítima. O CP II – Z possui baixo calor de hidratação, baixo ganho de resistência nas primeiras idades. É recomendado para argamassas de assentamento e revestimento, em concreto magro, concreto armado, concreto para pavimentos e solo-cimento.
- Cimento Portland composto por Fíler (CP II – F): Este cimento é constituído de fíler calcário com teor compreendido entre 6% e 10% e gesso. O cimento possui uma coloração mais clara e secagem rápida. É um cimento trabalhável nas mais diversas aplicações, tornando assim um dos mais utilizados no Brasil. Por sua vez as propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento. Não recomendado para obras em meio agressivo.

3.2.4.4 Cimento Portland de Alto Forno (CP III)

O cimento Portland de Alto Forno apresenta um teor entre 35% a 70% de escória, o que permite ao cimento as propriedades, como baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, resistência a meios agressivos. Este tipo de cimento é recomendado para uso geral em argamassas de assentamento, revestimento e armada, concreto simples, armado, protendido, entre outros. Pode ser utilizado em obras de grande porte e ambientes agressivos, como por exemplo, barragens, esgotos e efluentes industriais, obras submersas, pavimentação de estradas, etc.

3.2.4.5 Cimento Portland Pozolânico (CP IV)

O CP IV possui um alto teor de pozolana, entre 15% a 50% de sua massa, o que lhe confere estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, principalmente de ataque por sulfatos e garante que o calor liberado pela hidratação do clínquer de cimento seja menor evitando o risco de fissuração. A adição pozolânica irá proporcionar maior durabilidade à estrutura e maiores resistências à compressão em idades avançadas. É indicado em situações onde o ambiente de aplicação é quimicamente agressivo. Devido ao baixo calor de hidratação, este tipo de cimento é recomendável na concretagem de obras com grande volume de concreto e em condições de temperaturas elevadas. (ABCP, 2002)

3.2.4.6 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI)

O CP V – ARI é submetido a uma dosagem diferente de argila e calcário na produção do clínquer, constituído em sua maior parte por silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas permanecendo por mais tempo no moinho, tornando-o mais fino. Por isso, ao reagir com a água, este tipo de cimento adquire altas resistências nos primeiros dias de aplicação, continuando a ganhar resistência até os 28 dias. Devido ao grau de moagem, o cimento Portland de alta resistência inicial tem alta reatividade em baixas idades, por esse motivo, precisa de uma cura bastante cuidadosa.

É recomendado em produção industrial de artefatos de concreto e argamassa, construções de edificações de grande porte, destacando-se as fábricas

de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, de tubos, lajes, elementos pré-moldados, onde se exige desforma rápida e resistência inicial elevada. (ABCP, 2002)

3.2.4.7 Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)

O cimento Portland Resistente a Sulfatos tem como propriedade resistir aos meios sulfatados devido a adição de cinza pozzolânica, como por exemplo, rede de esgotos de águas servidas ou industriais, águas marítimas e alguns tipos de solos. Pode ser utilizado em concreto dosado em central, concreto de alto desempenho, em argamassa de assentamento e revestimento, concreto magro, concreto armado, elementos pré-moldados de concreto, pavimentos, contudo, em conformidade com a norma NBR 5737:1992, seja qual for o tipo de cimento (CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI), os mesmos podem ser resistentes a sulfatos, contanto que obedeçam pelo menos umas das condições a seguir:

- Possuir um teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer de 8% e teor de adições carbonática de no máximo 5% em massa;
- Cimentos pozzolânicos compreendido entre 25% e 40% em massa de material pozzolânico;
- Cimentos de alto forno tiverem 60% e 70% de escória granulada de alto forno;
- E por último, cimentos que atingiram resultados de ensaio de longa duração ou de obras que confirmem resistência sulfatos.

3.2.4.8 Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)

O cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação é utilizado para retardar o desprendimento de calor em peças com grande volume de concreto evitando, assim, as fissuras de origem térmicas, originadas a partir da hidratação do cimento, maior durabilidade e impermeabilidade, resistente ao sulfato. Segundo a NBR 13116, este tipo de cimento produz no máximo 260 J/g^{-1} em três dias e até 300 J/g^{-1} em sete dias de hidratação, e pode ser os tipos básicos de cimento: CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V - ARI. O cimento de baixo calor de hidratação vem designado pelas siglas e

classes de seu tipo, acrescidas de BC, como por exemplo, CP III - 32 BC. (ABCP, 2002)

3.2.4.9 Cimento Portland Branco (CPB)

O cimento Portland Branco é produzido através da pulverização do clínquer, onde ocorre a diminuição do teor de óxido de ferro e manganês e condição especial durante a fabricação com relação ao resfriamento e à moagem do produto, substituindo a argila pelo caulim. Essa coloração branca o diferencia dos outros tipos básicos de cimentos, que segundo a NBR 12989 deve ter um índice de brancura maior que 78 %, sendo classificada em dois tipos: o estrutural e não estrutural. O estrutural é utilizado para fins arquitetônicos, com classe de resistência entre 25,32 e 40 Mpa. E o não estrutural é aplicado em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais, não exigindo classe de resistência. (ABCP, 2002)

3.3 Propriedades do concreto fresco

O tempo em que a mistura apresenta consistência plástica ou fluida é dito como estado fresco do concreto. A homogeneidade e a facilidade de obtenção de uma mistura com facilidade de transportar, lançar e adensar, sem que haja exsudação nem segregação e ainda com consistência adequada é importante para que se tenha um concreto trabalhável.

Portanto, as principais propriedades relacionadas à trabalhabilidade do concreto no estado fresco são:

- Consistência e plasticidade;
- Exsudação e segregação;
- Coesão e estabilidade.

3.3.1 Trabalhabilidade

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a trabalhabilidade do concreto é a facilidade com a qual o material pode ser misturado, manuseado, transportado, lançado, adensado e acabado sem que haja segregação. A trabalhabilidade

depende da separação e proporção adequada dos materiais, e até mesmo, o uso de adições e aditivos.

De acordo com Guimarães (2005) para que se tenha um concreto trabalhável deve ser levada em consideração a geometria da peça estrutural, a taxa de armadura, o tipo de forma, os equipamentos de mistura, transporte, lançamento e adensamento, a técnica e o tipo de acabamento pretendido.

A água é um fator que deve ser analisado, ou seja, deve ser empregada na quantidade necessária, aplicada com o fator mais baixo possível, com o propósito de cobrir os grãos, possibilitando a hidratação e cristalização do cimento. Essa relação entre água e cimento é conhecida como relação água/cimento (a/c). A seguir são listados alguns fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto.

- Consistência: teor de água/materiais secos;
- Tipo e finura do cimento;
- Granulometria dos agregados: proporção dos agregados miúdo e graúdos;
- Forma dos grãos dos agregados;
- Traço do concreto;
- Presença de qualquer adição mineral em substituição ao cimento;
- Uso de aditivo;
- Tempo e manipulação da mistura;
- Tipos de misturadores, transporte, lançamento e adensamento.

A consistência está relacionada com o índice de mobilidade ou facilidade de fluidez do concreto no seu estado fresco (METHA e MONTEIRO, 2008). Para Neville (1997) a consistência é definida como sendo “resistência momentânea do concreto fresco à mudança de forma, ou aptidão do concreto fresco fluir”, e é um dos fatores que influencia na trabalhabilidade do concreto.

Essa propriedade esta diretamente ligada com a quantidade de água utilizada para a elaboração da massa e também com sua plasticidade. O principal parâmetro que influencia na consistência do concreto é o teor de água/ materiais secos (H%) (NEVILLE, 1997; SOBRAL, 1998). Esse teor é calculado pela expressão a seguir:

$$H \% = \frac{a/c}{1+a+p} \times 100 \quad (1)$$

Onde: H % = relação água/materiais secos;

a/c = relação água/cimento

a e p = agregado miúdo e graúdo, respectivamente;

$$m = a + p$$

O H% está relacionado com a forma e composição granulométrica do agregado graúdo, superfície específica do agregado miúdo, pelo tipo de cimento, pela quantidade de pasta da argamassa, pelo tempo de amassamento da mistura.

O concreto pode ser classificado, em função da sua consistência, em:

- Seco ou úmido: quando H% está entre 6% e 8%, considerado baixa;
- Plástico: quando H% está entre 8% e 11%;
- Fluido: quando H% é alta, entre 11% e 14%.

Outros fatores que podem influenciar na consistência é a quantidade de ar incorporado e pela adição de aditivos redutores de água. Devido a um grande avanço na tecnologia, existe uma grande variedade de aditivos utilizados para alterar a consistência de concretos bem dosados e até mesmo compensar algumas deficiências na mobilidade de concretos pobres e secos.

A consistência deve ser adequada para as dimensões da peça a ser concretada, a taxa de armadura e com a intensidade indicada para o lançamento e adensamento (NBR 6114/2014).

Não existe um ensaio aceitável que determine a trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 1997). Porém, a verificação do controle tecnológico e a constatação da trabalhabilidade no seu estado fresco podem ser analisadas através do ensaio normatizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) chamado abatimento de tronco de cone, conhecido como Slump Test. Muito utilizado no Brasil, devido a sua rapidez, simplicidade e facilidade tanto na execução da obra como em laboratório. O Ensaio de abatimento mede a consistência e a fluidez do material, permitindo o controle da uniformidade do concreto.

3.3.2 Segregação e Exsudação

Segregação é a separação dos materiais constituintes do concreto fresco, desde a mistura até o adensamento, de forma que a distribuição não se mantenha mais uniforme, apresentando vazios superficiais ou profundos, ou aglomeração do agregado graúdo sem o envolvimento da argamassa. Vários fatores ocasionam a segregação, dentre eles se destacam:

- Teor de água;

- Adições ou aditivos;
- Concretos muito secos ou úmidos;
- Granulometria dos agregados;
- Adensamento inadequado;
- Concretos mal dosados;
- Vibração exagerada.

Existem duas formas básicas de segregação. Na primeira, os grãos maiores tendem a se separar dos grãos menores de agregados, devido ao lançamento com energia acima do normal ou vibração excessiva. Este tipo de segregação ocorre em concretos pobres e secos. Já o segundo, ocorre o fenômeno conhecido como exsudação, onde a água da mistura da pasta de cimento se separa, e essa água tende a subir para a superfície do concreto, após o mesmo ter sido lançado e adensado (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Esse fato acontece devido aos constituintes da mistura ser incapaz de reter água quando tendem a descer, sendo a água o que tem menor massa específica entre esses constituintes. Não existe um ensaio normalizado para verificar da segregação, mas, quanto à exsudação existe um ensaio normalizado pela NBR 15558 – Concreto – Determinação da Exsudação.

Para Neville, 1997, a segregação pode causar:

- Enfraquecimento da aderência pasta-agregado;
- Formação de nata de cimento na superfície do concreto;
- Aumento da permeabilidade do concreto.

A velocidade e a quantidade de exsudação dependem da dosagem de concreto, do teor de água, temperatura, finura do cimento, ação dos aditivos e granulometria dos agregados.

Tanto a segregação como a exsudação pode ser evitada através de um controle maior de dosagem, ou seja, aumentando a proporção de finos e teor de cimento (ARAÚJO et al., 2000) e de métodos de adensamento e lançamento do concreto mais eficientes.

3.3.3 Coesão

Coesão é uma propriedade do concreto no seu estado fresco que está relacionada com a homogeneidade e a separação dos grãos da mistura, durante o

processo de produção, no transporte, lançamento e até mesmo no seu adensamento. A falta de coesão da mistura pode provocar a desagregação do concreto fresco. A coesão depende de diversos fatores, tais como:

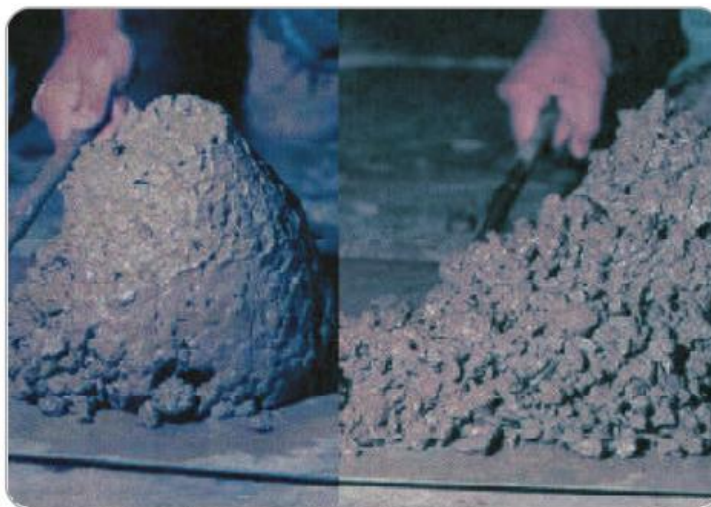
- Dosagem correta dos elementos finos da mistura, em especial nas misturas com baixos teores de cimento;
- Granulometria da extremidade fina da curva granulométrica

De acordo com Helene e Terzian (1993) para que se alcance uma mistura com coesão adequada, às vezes é necessário fazer várias misturas experimentais com diferentes proporções entre agregado graúdo e miúdo.

A coesão é medida através do Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test), batendo-se com uma haste na lateral do concreto. Não existe um ensaio normatizado, entretanto, o Slump Test mede, empiricamente, a coesão do concreto.

A figura abaixo mostra um concreto coeso e não coeso, respectivamente, através do ensaio de abatimento.

Figura 3 - Concreto coeso e concreto não coeso, respectivamente



Fonte: HELENE e TERZIAN, 1993

3.4 Propriedades do concreto endurecido

As propriedades do concreto endurecido decorrem a partir do momento que dá-se o fim da pega, e as características no seu estado fresco influencia nas propriedades do seu estado endurecido.

Emprego dos materiais de boa qualidade, dosagem correta dos materiais, colocar o concreto nas formas sem que haja segregação dos materiais e uma cura

adequada do concreto, são alguns fatores que influenciam numa boa qualidade do concreto no seu estado endurecido.

As propriedades no estado endurecido são:

- Resistência mecânica;
- Massa específica;
- Durabilidade;
- Permeabilidade e absorção;

3.4.1 Resistência Mecânica

Segundo Isaia (2011) “define-se resistência mecânica como sendo a capacidade do material de suportar as cargas aplicadas sobre ele, sem que o mesmo entre em ruína”.

Essa capacidade do material de suportar ações aplicadas depende do tipo de material utilizado e qual finalidade o concreto. A resistência adequada é obtida através de uma mistura com trabalhabilidade e quantidade de materiais adequados. Os fatores que influenciam na resistência do concreto são os seguintes:

- Relação água/cimento: a resistência à compressão do concreto está diretamente ligada com a resistência da pasta, à medida que este parâmetro aumenta, maior será a porosidade da pasta e conseqüentemente menor será sua resistência e quanto menor for essa relação, maior será sua resistência, mas, deve-se ter o mínimo de água necessária para reagir com o cimento e garantir trabalhabilidade do concreto. Essa relação foi denominada Lei de Abrams, denotada pela equação 2:

$$(f_c = \frac{A}{B^{a/c}}) \quad (2)$$

Onde a/c é a relação água/cimento e A e B são constantes empíricas;

- Tipo e teor do cimento (finura, composição química): este parâmetro interfere no endurecimento e na resistência da pasta. Os cimentos mais finos resultam em concretos com maiores resistências e tem influências significativas nas primeiras idades. Os grãos mais finos se hidratam mais rapidamente. Os compostos responsáveis pela resistência são: C_3S (maiores contribuições entre 10 horas e 28 dias), C_2S (contribuição a partir de 45 dias) e C_3A (contribuição nas primeiras 24 horas).

- Aderência pasta-agregado: a forma, natureza química e a textura dos grãos influencia diretamente a ligação pasta-agregado.
- Relação cimento/agregado: A resistência do concreto aumenta proporcionalmente quando os grãos de agregado aumentam, para diferentes valores de consumo de cimento.
- Grau de hidratação do cimento: A concentração de sólidos resultantes da hidratação do cimento influencia na resistência do concreto. Durante essa hidratação cada grão de cimento multiplica-se em várias partículas de gel de silicato de cálcio, aumentando o seu volume. Diferentes tipos de cimentos apresentam diferentes graus de hidratação, conseqüentemente, diferentes níveis de massa endurecida.
- Cura do concreto: tem como função proporcionar a hidratação do cimento e controlar a temperatura e a saída e entrada de umidade por um período suficiente para atingir o nível de resistência desejado (METHA e MONTEIRO, 2008).

A resistência mecânica do concreto é uma das propriedades mais importantes para se avaliar a qualidade do material, visto que elementos estruturais de concreto podem ser analisados a resistência à compressão, a tração e ao cisalhamento.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008); Neville (1997), algumas propriedades estão diretamente relacionadas com a resistência à compressão do concreto, tais como módulo de elasticidade, impermeabilidade e resistência às intempéries.

O endurecimento do concreto de cimento Portland pode levar anos para adquirir a resistência adequada. A resistência aos esforços mecânicos vai aumentando com a idade e aos 28 dias o concreto já adquiriu aproximadamente sua resistência total. É através desse conceito que se baseia o cálculo dos elementos de concreto.

O concreto no seu estado endurecido tem elevada resistência à compressão, porém, baixa resistência à tração. Existem basicamente três métodos de determinação da resistência à tração do concreto: resistência à tração direta, resistência à tração por compressão diametral e resistência a tração na flexão.

A determinação da resistência à compressão do concreto é realizada através de ensaios de corpo de provas (CP's), moldando-se cilindros de concreto, na qual será submetido a uma carga crescente que produza esforços de compressão distribuídos ao longo da seção transversal, até o máximo que possa resistir.

Os ensaios devem seguir os procedimentos conforme NBR 5738 (2015) – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e NBR 5739 (2007) – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

3.4.2 Massa específica

A massa específica do concreto é a massa da unidade de volume, incluindo os vazios. Quando não se conhece a massa específica, é usual considerar para o concreto simples o valor 2400 kg/m^3 e para o concreto armado, 2500 kg/m^3 (NBR 6118/2014).

Muitos fatores influenciam na determinação da massa específica do concreto, dentre eles se destacam a natureza dos agregados, sua granulometria e o método de compactação empregado. Para Bauer (2000), a massa específica também sofre uma pequena influência do meio ambiente, em razão da variação da proporção de água contida nos seus poros.

A massa específica pode ser dividida em três categorias: os concretos leves tem massa específica 1800 kg/m^3 , são produzidos com a utilização de agregados leves. Já massa específica normal, são aqueles que, depois de secos em estufa, têm massa específica que varia entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 . E por fim os concretos pesados, que são produzidos a partir de agregados de alta densidade e normalmente pesam mais do que 3200 kg/m^3 (NBR 6118/2014).

3.4.3 Durabilidade

A durabilidade é a capacidade que os elementos construtivos de concreto têm de resistir às ações de agentes agressivos, de modo a serem projetadas e construídas, sob condições ambientais previstas no projeto, a fim de conservar sua segurança, estabilidade e aptidão durante o prazo correspondente a sua vida útil (NBR 6118/2014).

Para Mehta e Monteiro (2008), “uma longa vida útil é considerada sinônimo de durabilidade”. O concreto é considerado durável quando conserva sua forma original, sua qualidade e a capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente.

Alguns tópicos devem ser determinados para analisar a durabilidade do concreto. São eles:

- Traço do concreto;
- Compactação do concreto nas estruturas;
- Cura do concreto nas estruturas;
- Cobrimento do concreto quanto a sua espessura nas armaduras.

A NBR 6118/2014 estabelece valores mínimos de cobrimentos das armaduras quanto à agressividade do meio ambiente:

- Meio fracamente agressivo (Classe de agressividade I);
- Moderadamente agressivo (Classe de agressividade II);
- Fortemente agressivo (Classe de agressividade III);
- Muito fortemente agressivo (Classe de agressividade IV).

Na falta de ensaio comprobatório de desempenho de durabilidade e devido a uma forte correspondência entre a relação a/c e a resistência à compressão do concreto, a NBR 6118/2014 estabelece requisitos mínimos a serem adotados, como mostra a figura abaixo.

Figura 4 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

3.4.4 Permeabilidade

Permeabilidade é a propriedade do concreto endurecido na qual se exprime a quantidade de água ou outros líquidos que atravessa seu interior devido aos vazios existentes, durante certo tempo, sob pressão constante.

O concreto por si só é um material poroso, pois na maior parte dos casos, utiliza-se uma quantidade de água superior para que ocorra a hidratação do cimento, onde essa água evapora deixando vazios no interior do concreto. Além do mais,

existem outros fatores que contribuem para que os vazios apareçam, destacando-se (PETRUCCI, 1998):

- Incorporação de ar na massa;
- Vazios existentes no agregado;
- Diminuição dos volumes absolutos do cimento e da água após as combinações químicas.

A figura 11 mostra os fatores que influenciam na permeabilidade, absorção e porosidade do concreto:

Figura 5 - Fatores que influenciam na permeabilidade, absorção e porosidade do concreto.

Materiais constituintes	Água	Quantidade Pureza
	Cimento	Composição Finura
	Agregados	Quantidade Tipo Diâmetro Graduação Impurezas
	Adições	Quimicamente ativos Quimicamente inerentes
Modos de preparação	Mistura Lançamento Adensamento Acabamento	
Condições posteriores	Idade Cura Condições de ensaio	

Fonte: Petrucci (1998)

3.5 Influência do cimento nas propriedades do concreto

O cimento é o material essencial para a fabricação do concreto. As características do cimento influenciam diretamente nas propriedades do concreto, onde podem ser observados comportamentos distintos para misturas com diferentes tipos de cimento. É importante estudar os componentes do concreto com base no tipo de cimento utilizado ou disponível no mercado, a fim de estabelecer a melhor composição que proporcione o melhor resultado ao menor custo possível. Existem vários motivos que influenciam na reologia dos materiais a base de cimento, como por exemplo, a relação água/cimento, composição química, tempo de hidratação do cimento, distribuição granulométrica, massa específica, textura superficial, porosidade (na qual depende da densidade das partículas e do grau de hidratação

do cimento), das propriedades do aditivo químico, condições de misturas e a metodologia de ensaio adotado.

A finura do cimento é outro fator importante que influencia nas propriedades do concreto, pois é ele quem comanda a velocidade de hidratação do cimento, ou seja, quanto mais fino o cimento, mais rápido ele reagirá. O aumento da finura melhora a resistência, principalmente nas primeiras idades, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a trabalhabilidade, a coesão e a impermeabilidade.

3.6 Métodos de dosagem do concreto

Dosagem de concreto pode ser definida como o estudo da proporção mais adequada dos materiais constituintes do concreto, também conhecida como traço. Essa proporção tem por objetivo analisar as propriedades do concreto no seu estado fresco e endurecido ao menor custo possível. O traço pode ser obtido em massa ou em volume, tendo o cimento tomado como uma referência de unidade, em relação aos outros materiais.

No Brasil existem diversos tipos de métodos de dosagem, sendo diferenciados pela sua complexidade. O método adotado neste trabalho será o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo / EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), por ser um método simples e eficiente e o mais utilizado no Brasil.

3.6.1 Método IPT/EPUSP

O método de dosagem denominado IPT/EPUSP foi feita na Escola Politécnica da USP a partir do método desenvolvido inicialmente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Esse método teve a colaboração de vários pesquisadores, inicialmente foi proposto por Eládio Petrucci e modificado por Simão Prizskulnik, Helene & Terzian, Carlos Tango, Kirilos.

Segundo Petrucci (1998) a principal característica desse método é a de utilizar os agregados disponíveis em obras, sem o conhecimento prévio da sua composição granulométrica. Deve-se levar em consideração o conhecimento dos outros materiais que compõem o concreto, ou seja, verificar as características físicas

desses materiais, pois os mesmos influenciam na dosagem do concreto. O método IPT/EPUSP avalia os seguintes fatores:

- Resistência característica do concreto aos 28 dias (f_{ck});
- Diâmetro máximo dos agregados;
- Consistência do concreto;
- Obter as proporções de areia e pedra britada para cada unidade de cimento;
- Obtenção da relação água/cimento (considerado como fator mais importante para concretos estruturais).

O método entende que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter certo abatimento requerido. Fixado a trabalhabilidade, definidos os materiais e a relação água/cimento, os fatores de resistência e durabilidade do concreto passam a ser únicas.

É um método que estabelece parâmetros básicos chamados “Leis de comportamento”, onde o resultado final é apresentado pelo diagrama de dosagem sobre três quadrantes, os quais serão apresentados a seguir:

1. Lei de Abrams: “A resistência de um concreto, numa determinada idade (f_{cj}), é inversamente proporcional à relação água cimento (a/c)”, expressa pela fórmula abaixo.

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad (3)$$

Onde:

f_{cj} = Resistência à compressão axial em Mpa, à idade j (dias);

a/c = relação água/cimento, em massa (kg/kg);

K_1 e K_2 = são constantes particulares de cada conjunto de materiais.

2. Lei de Lyse: Independentemente do traço seco, a consistência, medida através do abatimento do tronco de cone, é em função da relação agregados secos/cimento (m) e da relação água/cimento (a/c), segundo a equação abaixo:

$$m = k_3 + k_4 \frac{a}{c} \quad \text{e} \quad m = (a + b) \quad (4)$$

Sendo:

m = relação agregado/cimento, em massa (kg/kg);

a/c = relação água cimento;

K_3 e k_4 = são constantes particulares de cada conjunto de materiais.

a = relação agregado miúdo seco/cimento, em massa (kg/kg);

p = relação agregados graúdos secos/cimento, em massa (kg/kg).

3. Lei de Molinari: “O consumo de cimento por m^3 de concreto varia na proporção inversa da relação em massa seca de agregados/cimento (m)”.

$$C = \frac{1000}{(k_5 + k_6).m} \quad (5)$$

Onde:

m = relação agregado/cimento, em massa (kg/kg);

C = consumo de cimento/ m^3 de concreto.

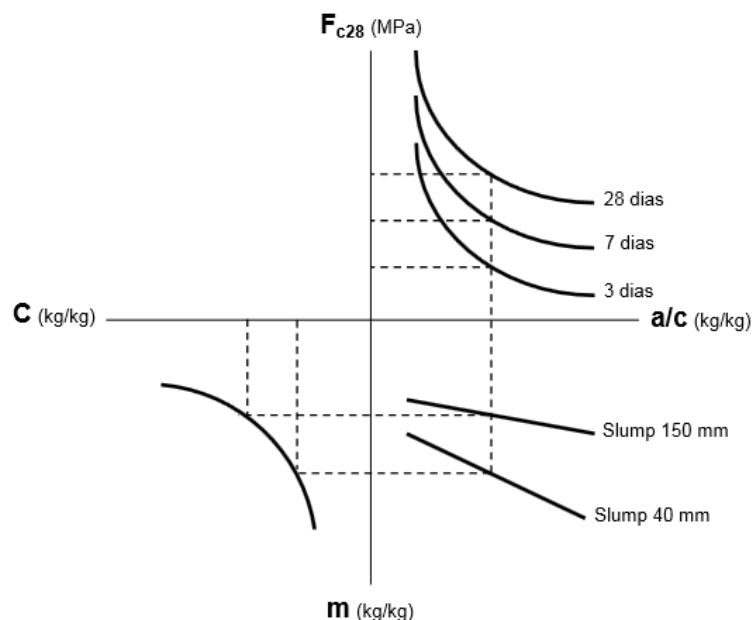
K_5 e k_6 = são constantes particulares de cada conjunto de materiais.

a/c ou x = relação água cimento;

K_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 e k_6 são constantes particulares pode ser fixada a partir do emprego ou da escolha dos materiais (cimento, agregados, adições, aditivos).

Conhecido os parâmetros de dosagem relacionados às leis citadas acima, traça-se o diagrama de comportamento de dosagem do concreto mediante três quadrantes, como mostrado na figura 12

Figura 6 - Modelo de Diagrama de dosagem dos concretos do método IPT/EPUSP



Fonte: IPT/EPUSP

O método consiste inicialmente em gerar uma proporção adequada de materiais (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água), fixando um traço inicial de 1:5 (cimento: agregados secos(m)) chamado de traço piloto. Logo após, é

determinado experimentalmente o teor de argamassa seca $\alpha(\%)$ e a relação água/materiais secos (H%) misturando os materiais em uma betoneira. A partir do traço inicial, fixa-se o $\alpha(\%)$ considerando o valor mínimo possível. Depois de encontrado o teor de argamassa ótimo, deve – se ajustar o teor de água (ou teor de água e aditivos, se necessário) pela relação água/materiais secos (H%) através do ensaio de abatimento de tronco de cone.

3.6.1.1 Parâmetros e fórmulas fundamentais

a) A proporção de agregados é entendida como sendo a soma das proporções dos agregados graúdos e miúdos. Este pode ser obtido quando se divide a massa dos agregados pela massa do cimento, podendo ser representada pelas equações:

$$a = \frac{\text{Quantidade de areia}}{\text{Quantidade de cimento}} \quad (6)$$

$$p = \frac{\text{Quantidade de brita}}{\text{Quantidade de cimento}} \quad (7)$$

Com os valores de “a” e “p” encontra-se a proporção de agregados a partir da equação:

$$m = a + p \quad (8)$$

O valor de “m” é representado da seguinte forma:

$$1: a: p: \frac{a}{c} \quad (9)$$

Sendo:

1 - Proporção de cimento;

a - Proporção de areia;

p - Proporção de brita;

a/c ou x - Relação água/cimento.

b) Relação água/cimento (a/c)

A relação a/c é o resultado da divisão entre a quantidade de água pela quantidade de cimento estabelecida no traço e pode ser representada da seguinte forma:

$$\frac{a}{c} = \frac{\text{Quantidade de água}}{\text{Quantidade de cimento}} \quad (10)$$

Esta relação é a única que domina a resistência à compressão e as demais resistências mecânicas do concreto, ou seja, quanto maior é a relação a/c , normalmente menores resistências mecânicas são encontradas. Essa relação também é importante com relação à durabilidade do concreto, pois, quanto maior esta relação, maior também é o grau de porosidade e conseqüentemente mais facilmente os agentes agressivos terão acesso ao concreto, acarretando em deterioração mais rápida ao mesmo.

c) Teor de argamassa seca ($\alpha\%$)

O teor de argamassa ou $\alpha\%$ é fundamental para determinar a quantidade mínima de materiais (cimento e agregados) suficientes para garantir a trabalhabilidade do concreto de modo compatível com o transporte, lançamento e adensamento a serem empregados. O valor de $\alpha\%$ é expresso pela seguinte fórmula:

$$\alpha(\%) = \frac{(1+a)}{(1+m)} \times 100 \quad \text{ou} \quad \alpha(\%) = \frac{(1+a)}{(1+a+p)} \times 100 \quad (11)$$

Sendo:

$\alpha(\%)$ = teor de argamassa seca;

m = Proporção de agregados;

a = Proporção de areia;

1 = Proporção de cimento

p = Proporção de brita

O método IPT/EPUSP diz que independente do traço ou resistência requerida no concreto, existe um teor ideal de argamassa “ $\alpha\%$ ” para o concreto. Para produzir o primeiro traço, o valor de $\alpha\%$ é tomado como sendo igual a 50 % e caso seja considerado insuficiente, deve-se aumentar a quantidade de argamassa de 2 em 2 % até que as características da mistura sejam satisfatórias.

d) Relação água/materiais secos ($H\%$)

Essa relação atua diretamente na consistência do concreto, assim, quanto maior o H (%) maior a fluidez do concreto. Esta relação pode ser expressa pela seguinte equação:

$$H(\%) = \frac{a/c}{1 + a + p} \times 100 \quad (12)$$

e) Consumo de cimento

O consumo de cimento por metro cubico de concreto pode ser determinado a partir da massa especifica do concreto e pelo traço (1:a:p:a/c).

$$C = \frac{1000 - \%ar}{\frac{1}{\gamma_{cim}} + \frac{a}{\gamma_{areia}} + \frac{p}{\gamma_{brita}} + a/c} \quad (13)$$

Sendo:

γ_{cim} = massa específica do cimento;

γ_{areia} = massa específica da areia;

γ_{brita} = massa específica da brita.

f) Cálculo da resistência de dosagem

Esse parâmetro é calculado pela expressão abaixo:

$$f_c = f_{ck} + 1,65 Sd \quad (14)$$

Onde:

f_c = resistência de dosagem

f_{ck} = resistência característica do concreto

Sd = desvio padrão

Os valores de Sd são fixados e definidos de acordo com a função do concreto. De acordo com a NBR 12655:2015, para o cálculo da resistência de dosagem do concreto, depende das condições de preparo do concreto, descritos no quadro a seguir:

Tabela 2 - Valores do desvio padrão para cálculo da resistência aproximada

Condição de preparo	Desvio padrão (Sd) em MPa	Tipos de controle
A	4,0	Proporcionamento medido em massa, correção da umidade dos agregados.
B	5,5	Cimento em massa, agregados em volume, correção da umidade.
C	7,0	Cimento em massa, agregados em volume, controle umidade estimados.

Fonte: próprio autor (2017)

4 METODOLOGIA

Com objetivo de analisar a influência do cimento comercializado na cidade de Aracaju em concretos convencionais utilizou-se o método de dosagem IPT/EPUSP, onde foram gerados os dados e as quantidades iniciais para o traço piloto. Foram realizados ensaios no concreto, fixando o traço e utilizando os mesmos agregados miúdo e graúdo, variando apenas a marca de cimento.

Com o intuito de diminuir a relação água/cimento para o concreto com baixo teor de cimento (concreto pobre), foi utilizado o aditivo polifuncional para obter-se um concreto com função estrutural, fixando o traço, utilizando os mesmos agregados miúdo e graúdo, variando apenas a marca de cimento.

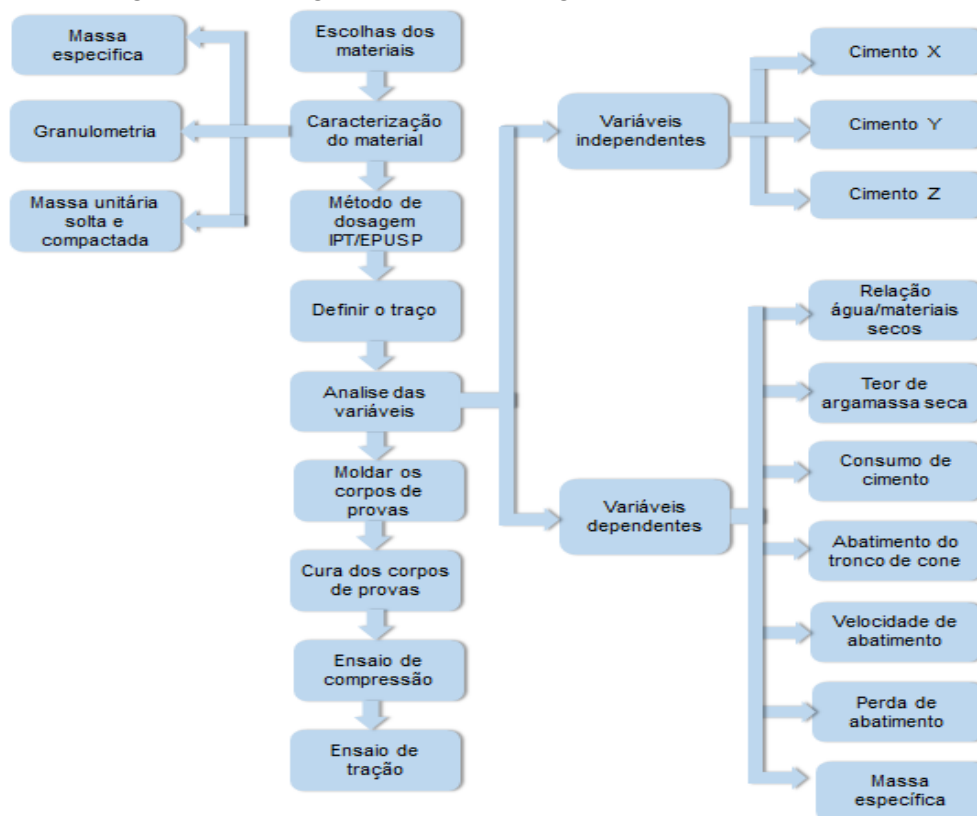
Para os dois tipos de concretos foram analisados as variáveis independentes (as três diferentes marcas de cimento) e as variáveis dependentes (abatimento de tronco de cone, velocidade de abatimento, perda de abatimento, relação água/materiais secos, teor de argamassa seca, densidade de massa, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral).

Neste trabalho foram adotadas nomenclaturas para os concretos produzidos, a fim de simplificar ao escrever as considerações realizadas. Portanto as denominações foram reduzidas da seguinte forma:

- Concreto Convencional – CC;
- Concreto com baixo consumo de cimento - CBC

O fluxograma da metodologia adotada e das variáveis está exposto na página a seguir:

Figura 7 – Fluxograma da metodologia adotada e das variáveis



Fonte: Próprio autor (2017)

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Cimento

Foram utilizadas três diferentes marcas de cimento, do tipo CP II Z-32. A caracterização do material obedeceu aos procedimentos prescritos nas normas da NBR.

Tabela 3 - Resultados da caracterização do Cimento X

Característica	Resultados	Limites (NBR 11578/91)	Método de ensaio
Massa específica	3,080 g/cm ³	-	NBR NM 23:2001
Finura (#200)	0,96%	≤12,0%	NBR 11579:2012
Água de Consistência normal	29,4%	-	NBR NM 43:2003
Tempos de pega	Início	127min	≥60min
Resistência	28 dias	32,1	≥ 32 Mpa

Fonte: Próprio autor (2017).

Tabela 4 - Resultados da caracterização do cimento Y

Característica		Resultados	Limites (NBR 11578/91)	Método de ensaio
Massa específica		3,008 g/cm ³	-	NBR NM 23:2001
Finura (#200)		0,60%	≤12,0%	NBR 11579:2012
Água de Consistência normal		30%	-	NBR NM 43:2003
Tempos de pega	Início	84min	≥60min	NBR NM 65:2003
Resistência	28 dias	24,6	≥ 32 Mpa	NBR 7215:1997

Fonte: Próprio autor (2017).

Tabela 5 - Resultados da Caracterização do cimento Z

Característica		Resultados	Limites (NBR 11578/91)	Método de ensaio
Massa específica		2,849g/cm ³	-	NBR NM 23:2001
Finura (#200)		0,42%	≤12,0%	NBR 11579:2012
Água de Consistência normal		29%	-	NBR NM 43:2003
Tempos de pega	Início	160min	≥60min	NBR NM 65:2003
Resistência	28 dias	26,1	≥ 32 Mpa	NBR 7215:1997

Fonte: Próprio autor (2017).

Observa-se pelas tabelas 3, 4 e 5, que os resultados de caracterização dos cimentos foram diferentes, enfatizando-se que o cimento que atingiu a resistência à compressão aos 28 dias foi apenas o cimento X.

4.1.2 Agregado miúdo

A areia utilizada para o estudo tem origem no rio Paramopama, na cidade de São Cristóvão, no estado de Sergipe, fornecida pela empresa Macário Construções. Os ensaios realizados para caracterização da areia estão contidos na tabela 6 e 7 e no gráfico 1, fundamentados pelas normas: ABNT NBR NM 243:2003 - Determinação da composição granulométrica e ABNT NBR 9776:1988 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.

Tabela 6 - Granulometria da areia

GRANULOMETRIA							
Peneira	Ensaio a		Ensaio b		MÉDIA		% RETIDA ACUMULADA
	Massa da Areia retida (gr)	% Retida	Massa da Areia retida (gr)	% Retida	Massa da Areia retida	% Retida	
4.75	17.6	6%	11.5	4%	14.55	5%	5%
2.36	22.2	7%	20.0	7%	21.10	7%	12%
1.18	33.0	11%	32.2	11%	32.60	11%	23%
0.6	73.6	24%	73.7	25%	73.65	24%	47%
0.3	101.4	33%	102.7	34%	102.05	34%	81%
0.15	42.0	14%	41.7	14%	41.85	14%	94%
Fundo	16.4	5%	17.3	5.8%	16.85	6%	100%

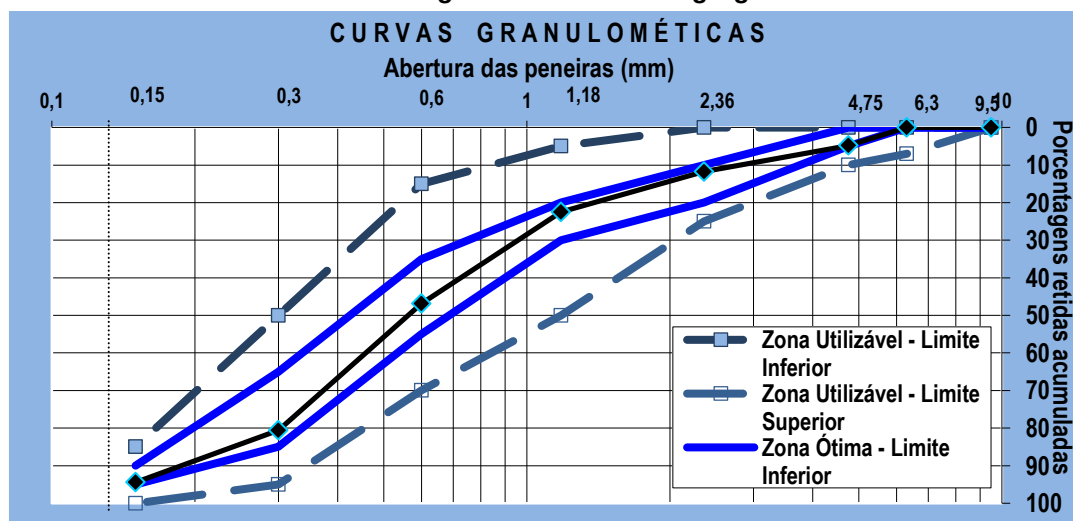
Fonte: Próprio autor (2017)

Tabela 7 – Resultado da caracterização da areia

CARACTERÍSTICAS		
Modulo de finura	Massa específica (g/cm³)	Diâmetro máximo (mm)
2,61	2,577	4.75

Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Próprio autor (2017)

4.1.3 Agregado graúdo

Utilizou-se como agregado graúdo a brita conhecida como 3/4, encontrada no estado de Sergipe, na cidade de Itabaiana, fornecida pela empresa Macário

construções. Os ensaios de caracterização foram realizados de acordo com as normas: ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, ABNT NBR NM 53:2003 – Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água e a NBR NM 248:2003 – Determinação da composição granulométrica. Os resultados dos ensaios estão mostrados nas tabelas 8 e 9 e no gráfico 2.

Tabela 8 - Granulometria do agregado graúdo

Peneiras ABNT (mm)	% retida individual	% retida acumulada
75	0,0	0
63	0,0	0
50	0,0	0
37,5	0,0	0
31,5	0,0	0
25	0,0	0
19	0,2	0
12,5	47,3	47
9,5	35,6	83
6,3	15,7	99
Fundo	1,2	100
Total:	100,00	

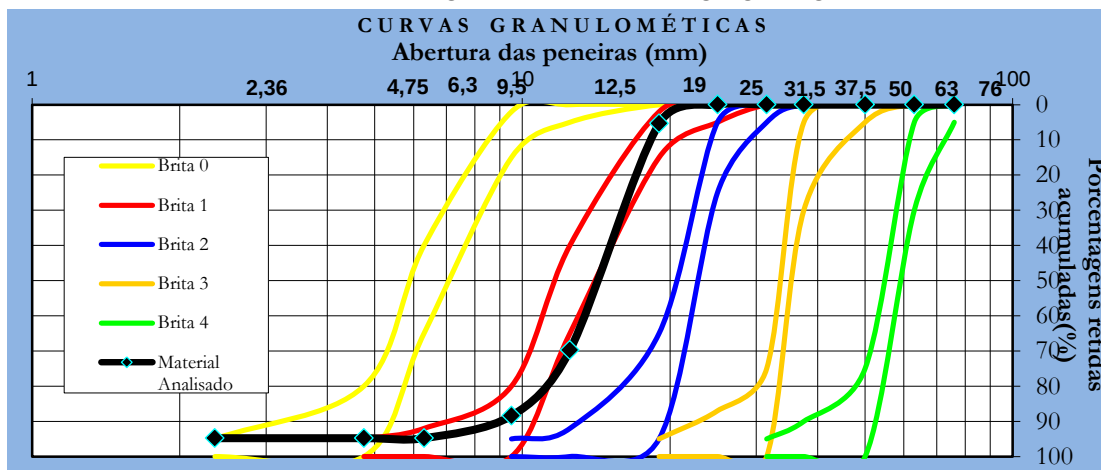
Fonte: Próprio autor (2017)

Tabela 9 - Características da brita

Massa unitária compactada (kg/m³)	Massa específica (kg/m³)	Diâmetro máximo característico (mm)
1,916	2,662	19,0

Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Próprio autor (2017)

4.1.4 Água

A água utilizada para os ensaios foi a da rede de abastecimento do laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju, fornecida pela empresa de abastecimento DESO.

4.1.5 Aditivo

Foi utilizado o aditivo plastificante CEMIX, fabricado pela empresa Vedacit impermeabilizantes, composto basicamente por lignosulfonato, que se apresenta da forma líquida, de cor marrom escuro, isento de cloretos. Sua densidade é de 1,22 g/cm³. O consumo aproximado é de 0,2% a 0,3% sobre a massa de cimento (de 170 ml a 250 ml do aditivo para cada 100 kg de cimento). (Especificações do fabricante)

Esse aditivo tem como função reduzir a água do concreto, assim, além de aumentar as resistências mecânicas, garante concretos mais homogêneos, coesos e com menor permeabilidade.

A dosagem utilizada foi de 1,6% de material líquido por massa de cimento. Primeiramente foi feita uma pré-mistura do cimento e dos agregados, adicionando uma parte do volume de água a ser utilizado. Em seguida foi adicionado o aditivo junto com restante da água ate obter a trabalhabilidade adequada.

4.2 MÉTODOS – ENSAIOS

4.2.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test)

O ensaio que determina a consistência do concreto fresco é o abatimento do tronco de cone, normatizado pela ABNT NM 67:1998 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Para que se utilize este ensaio no concreto, é necessário que a dimensão máxima do agregado graúdo não ultrapasse o valor de 37,5mm. As figuras 8 e 9 mostram os aparelhos utilizados para execução deste ensaio.

Para realização deste ensaio utilizou-se as seguintes aparelhagens:

- Molde tronco – cônico com diâmetro da base de 200 mm, diâmetro superior de 100 mm e altura de 300±2 mm;

- Haste de compactação com diâmetro de 16 mm e comprimento de 600 mm;
- Placa de base plana, quadrada, com dimensões mínimas de 500 x 500 mm.

Figura 8 - Aparelhagem do ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 9 - Resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Próprio autor (2017)

4.2.2 Velocidade de Abatimento

Este método foi adaptado do ensaio de abatimento do tronco de cone e foi desenvolvido por Ferraris & De Larrard (1998). A intenção deste ensaio é que de uma maneira prática possa se obter a viscosidade e tensão limite de escoamento dos concretos com consistência determinada pelo abatimento de tronco de cone mínima de 120 mm.

Para execução deste ensaio, são necessários os seguintes equipamentos:

- Molde tronco-cônico;
- Cronômetro com precisão de 0,01s;
- Base quadrada com haste vertical central;
- Placa de formato circular com furo no centro para encaixe na haste;
- Graxa para lubrificação da haste
- Anel de vedação para encaixe no orifício da placa.

O método foi uma adaptação devido a não utilização de todos os equipamentos. Assim mediu – se o tempo em segundos que o concreto saía da posição de repouso até a posição de abatimento final, ao ser realizado o ensaio normal de abatimento de tronco de cone.

4.2.3 Perda de Abatimento

O ensaio de perda de abatimento tem como objetivo medir a consistência do concreto com o passar do tempo. Esse ensaio é normalizado pela ABNT NBR 10342:2012. O procedimento do ensaio é da seguinte forma:

- Após a primeira leitura, deve-se medir o abatimento a cada 15 minutos;
- A cada determinação, o concreto deve ser misturado durante 1 minuto, ficar em repouso por 10 minutos e novamente ser misturado durante 2 minutos, isso no intervalo correspondente a 15 minutos;
- O ensaio encerra-se quando o concreto apresentar abatimento de (20 ± 10) mm.

4.2.4 Moldagem e cura dos corpos de provas

Os corpos de prova foram moldados e curados seguindo os critérios da ABNT NBR 5738:2015 - Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

As desformas foram feitas 24 horas após as moldagens, logo depois os CP's foram submetidos à cura, através da imersão em água saturada com cal durante 28 dias. As figuras 10 e 11 abaixo mostram os corpos de prova e a cura do concreto.

Figura 10 - Corpos de prova (CP's)



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 11 - Cura dos corpos de prova (CP's)



Fonte: Próprio autor (2017)

4.2.5 Resistência Mecânica

Após 28 dias de cura, o concreto foi submetido ao ensaio de compressão normatizado pela ABNT NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, realizado no laboratório do IFS.

Figura 12 - Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Próprio autor (2017)

4.2.6 Massa específica

Massa específica do concreto fresco é a massa de unidade de volume do concreto fresco, adensado de acordo norma ABNT NBR 9833:2009 - Concreto fresco - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico, considerando-se o volume de ar aprisionado ou incorporado. Foi feita uma adaptação para a execução do ensaio, devido a falta de equipamentos. Para execução deste ensaio, são necessários os seguintes equipamentos:

- Balança;
- Haste de adensamento;
- Vibrador;
- Régua metálica;
- Recipiente de metal;

É colocada uma amostra de concreto dentro do recipiente e após isso determinar sua massa. O resultado é dividindo a massa de concreto pelo seu volume (volume do recipiente).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e posteriormente estes serão analisados. Os resultados em relação à proporção de materiais dos concretos produzidos neste trabalho se encontram na tabela a seguir.

Tabela 10 - Resultados relacionados com a proporção de materiais

Concreto Convencional (CC)					Concreto com baixo consumo de cimento (CBC)			
Traço	1	2,36	2,64	0,58	1	3,2	3,3	0,53
H%	9,67				8,83			
α %	56				56			
m	5,0				6,5			
ρ (kg/m ³)	355,9				299,9			

Fonte: Próprio autor (2017)

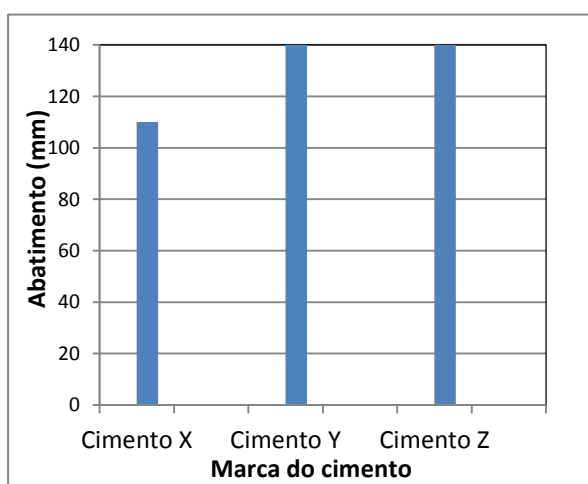
Nota-se que o concreto com baixo consumo de cimento possui maior proporção de agregados (m). Houve uma diminuição de 15.73% de cimento do concreto com baixo consumo de cimento em relação ao concreto convencional. Com relação ao teor de água/ materiais secos (H%), percebe-se que o CBC apresentou o menor valor entre os dois. Esse fato possivelmente aconteceu pelo uso de aditivo, que reduziu o teor de água da mistura e, em consequência disso, a relação a/c resultou menor do que a do concreto convencional. Obviamente, para o CBC o valor de “m” resultou maior do que o CC já que o consumo de cimento daquele concreto foi menor.

Os gráficos 2, 3, 4, 5, 6 e 7 mostram os resultados do abatimento do tronco de cone, velocidade abatimento e perda de abatimento dos concretos estudados. Na tabela 11 encontram-se os resultados dos ensaios para o CC e o CBC.

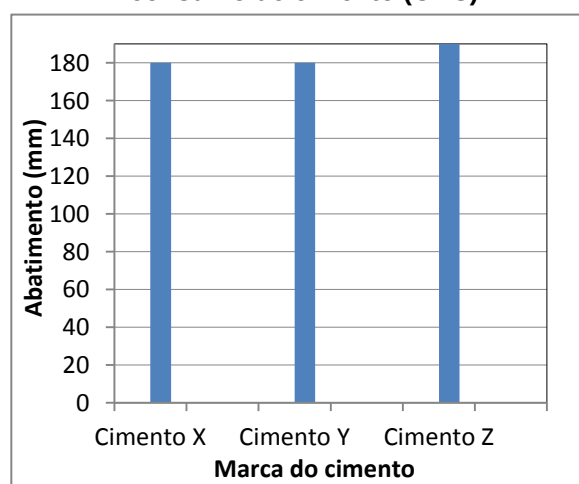
Tabela 11 - Resultados dos ensaios do CC e do CBC

Concreto Convencional (CC)				Concreto com baixo consumo de cimento (CBC)		
Marca do cimento	Cimento X	Cimento Y	Cimento Z	Cimento X	Cimento Y	Cimento Z
Abatimento do tronco de cone (mm)	110	140	140	180	180	190
Tempo de abatimento (s)	0,69	0,75	0,78	1,22	1,19	1,4
Velocidade abatimento (mm/s)	159,4	186,7	179,5	147,5	151,3	135,7
Massa específica (Kg/l)	2,2	2,5	2,6	2,4	2,5	2,5
Resistencia a compressão (Mpa)	29	26,5	29,6	37	30,4	31,25
Resistencia a tração (Mpa)	2,4	2,6	2,3	2,8	2,5	2,5

Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 3 - Resultado do abatimento do tronco de cone do concreto convencional (CC)

Fonte: Próprio autor (2017)

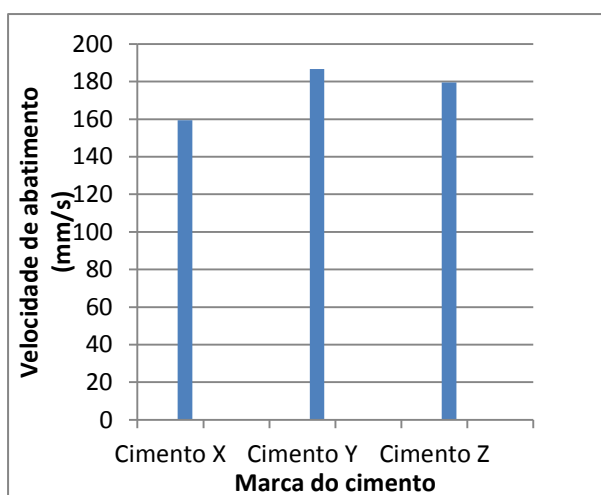
Gráfico 4 - Resultado do abatimento do tronco de cone do concreto com baixo consumo de cimento (CBC)

Fonte: Próprio autor (2017)

Nota-se que, pelos gráficos 3 e 4, usando os mesmos materiais e fixando o mesmo traço, variando apenas a marca de cimento, o concreto produzido com o cimento X apresentou o menor abatimento em relação aos demais cimentos. No

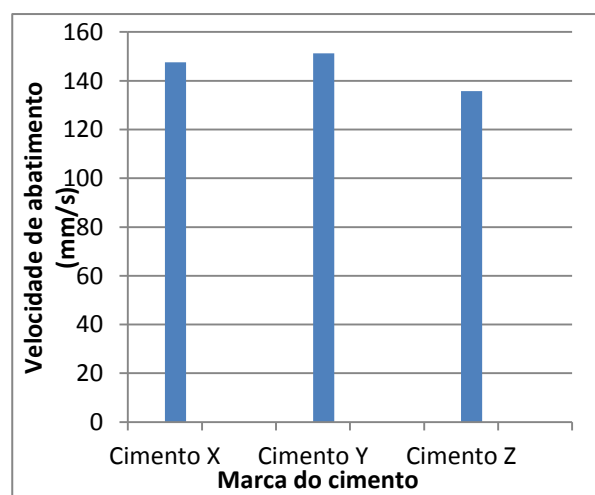
CBC percebe-se que os concretos realizados com os diversos cimentos apresentaram maior fluidez em relação ao CC's e que os CBC's com os cimentos X e Y apresentaram os menores abatimentos dentre os três concretos de baixo consumo de cimento.

Gráfico 5 - Resultado da velocidade de abatimento do concreto convencional (CC)



Fonte: Próprio autor (2017)

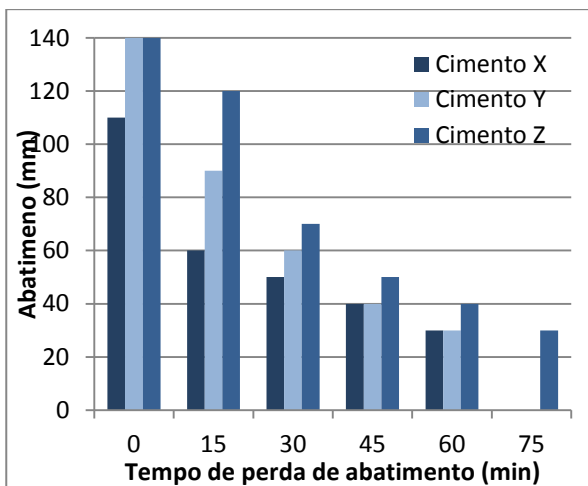
Gráfico 6 - Resultado da velocidade de abatimento do concreto com baixo consumo de cimento (CBC)



Fonte: Próprio autor (2017)

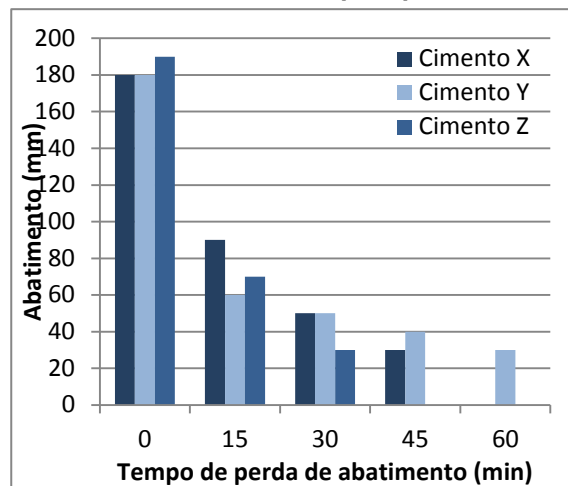
Os gráficos 5 e 6 mostram os resultados da velocidade de abatimento dos concretos CC e CBC, visto que essa característica teria relação direta com a viscosidade. Nota-se, pelos gráficos, que o concreto com cimento Y apresentou maior velocidade de abatimento, o que significa que este apresentaria a menor viscosidade plástica dentre os demais e que o concreto com cimento X resultou na menor velocidade dos CC's, no entanto, analisando-se os CBC's nota-se que o cimento X apresentou velocidade de abatimento maior que a do Z.

Gráfico 7 - Resultados da perda de abatimento do concreto convencional (CC)



Fonte: Próprio autor (2017)

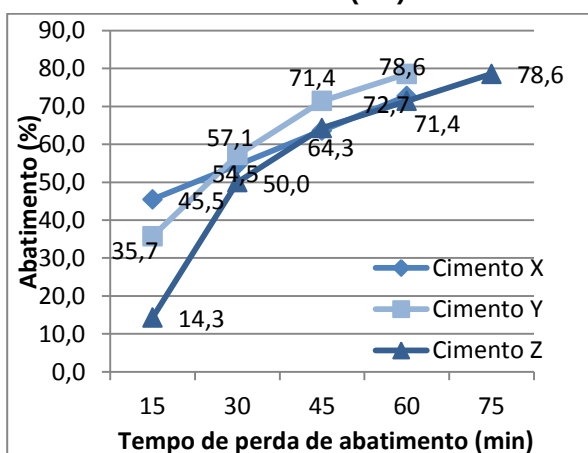
Gráfico 8 - Resultados da perda de abatimento do concreto com baixo consumo de cimento (CBC)



Fonte: Próprio autor (2017)

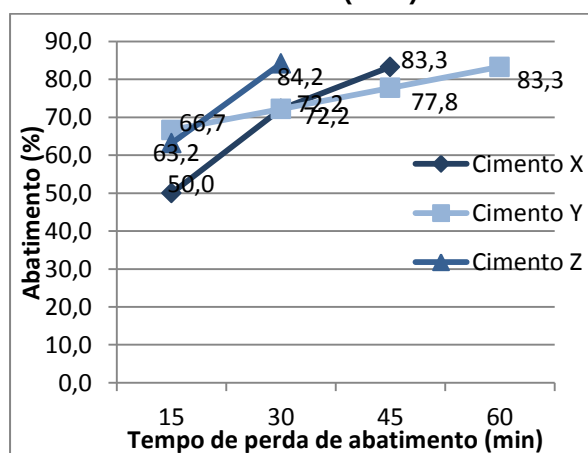
De acordo com os gráficos 7 e 8, percebe-se que os CBC's atingiram mais rapidamente o abatimento desejado – conforme norma técnica do ensaio perda de abatimento (20 ± 10 mm) - provavelmente deve-se ao fato da utilização do aditivo. Através do gráfico 6, nota-se que o cimento Z demorou mais para perder a fluidez. Já no gráfico 7 (CBC's), o cimento Y foi o que apresentou maior tempo para perder o abatimento.

Gráfico 9 - Análise percentual da perda de abatimento em relação ao primeiro abatimento (CC)



Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 10 - Análise percentual da perda de abatimento em relação ao primeiro abatimento (CBC)



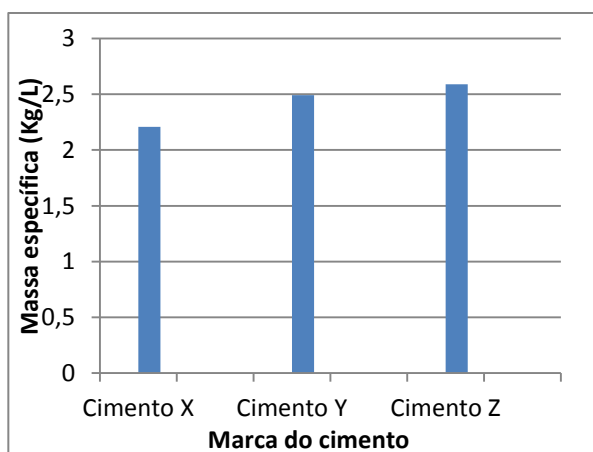
Fonte: Próprio autor (2017)

Constata-se que no gráfico 9 o percentual de perda de abatimento para o concreto fabricado com o cimento X, 15 minutos depois do primeiro abatimento foi de 45.5%, após 30 minutos esse abatimento teve uma perda de 54.5% em relação ao primeiro abatimento, 45 minutos seguintes teve uma perda de 63.6% e 60

minutos depois teve 72.7% de perda. O concreto utilizando o cimento Y teve uma perda percentual em relação ao primeiro abatimento de 35.7%, nos minutos que segue essa perda foi de 57.1%, após 45 minutos teve uma perda percentual de 71.4%, 60 minutos depois teve 78.6 %. No concreto produzido com cimento Z nos primeiros 15 min teve uma perda percentual de 14.3%, 30 minutos depois esse percentual foi para 50.0%, após 45 minutos esse percentual reduziu para 64.3% e 60 e 75 minutos depois essa perda foi para 78,6%, sendo esses percentuais de perda todos em relação ao primeiro abatimento.

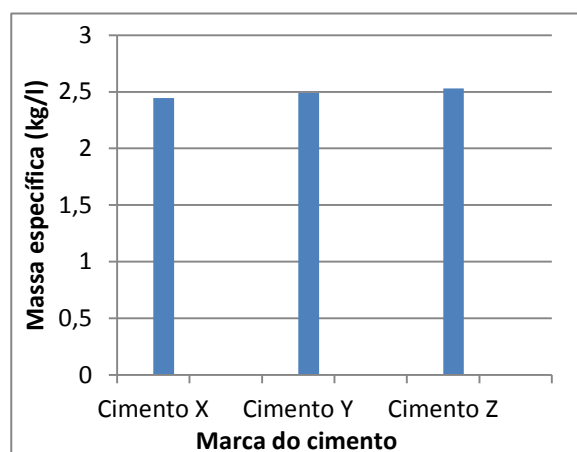
Observa-se que no gráfico 10 o percentual de perda de abatimento para o concreto fabricado com o cimento X 15 minutos depois do primeiro abatimento foi de 50%, após 30 minutos esse abatimento teve uma perda de 72.2 % em relação ao primeiro abatimento, 45 minutos seguintes teve uma perda de 83.3%. O concreto utilizando o cimento Y teve a maior perda percentual nos primeiros 15 minutos em relação ao primeiro abatimento, que foi de 72,2%, nos minutos que segue essa perda foi de 83.3%. Já no concreto com cimento Z o percentual de perda nos primeiros 15 minutos foi de 63.2 % e 30 minutos depois foi de 84,2%.

Gráfico 11 - Resultado da massa específica do CC



Fonte: Próprio autor (2017)

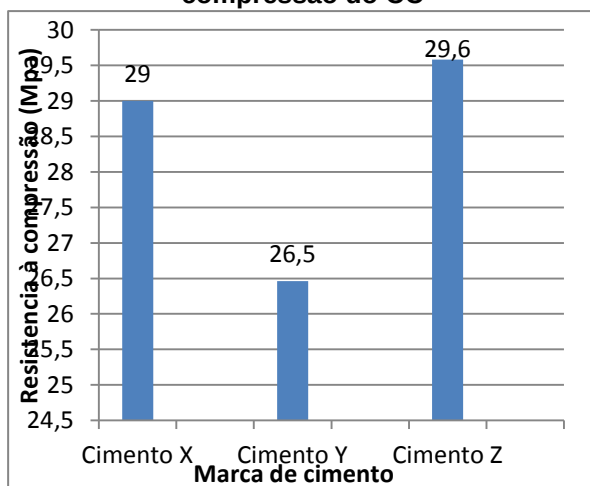
Gráfico 12 - Resultado da massa específica do CBC



Fonte: Próprio autor (2017)

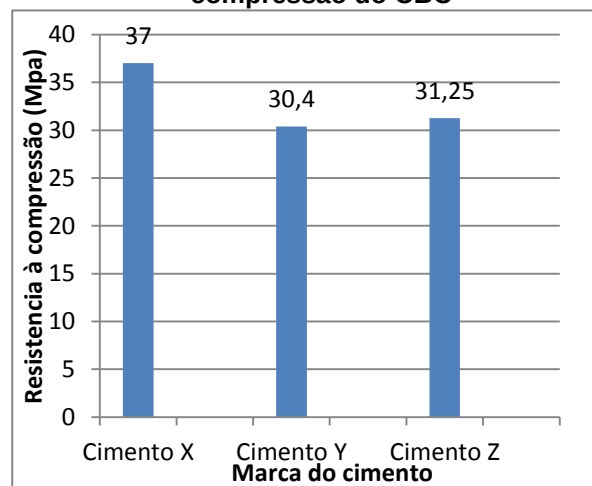
Nota-se pelo gráfico 11 que o concreto com cimento X apresentou menor massa específica e que o concreto com cimento Z apresentou maior valor, possivelmente devido ao índice de vazios no concreto. Já no gráfico 12 percebeu-se que os concretos apresentaram uniformidade, devido ao maior consumo de agregados e menores consumo de cimento.

Gráfico 13 - Resultados da resistência à compressão do CC



Fonte: Próprio autor (2017)

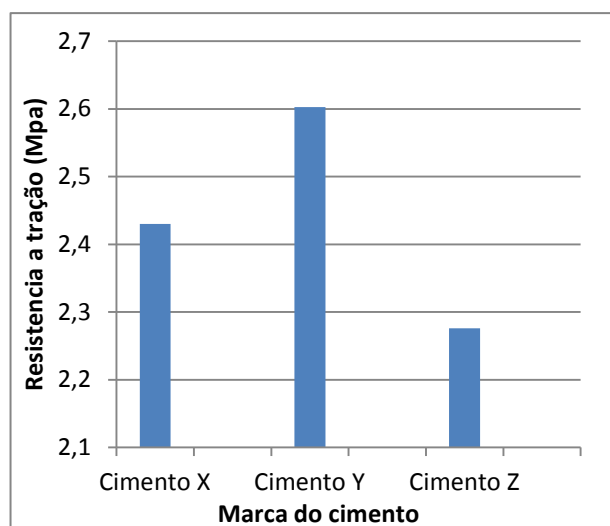
Gráfico 14 - Resultados da resistência à compressão do CBC



Fonte: Próprio autor (2017)

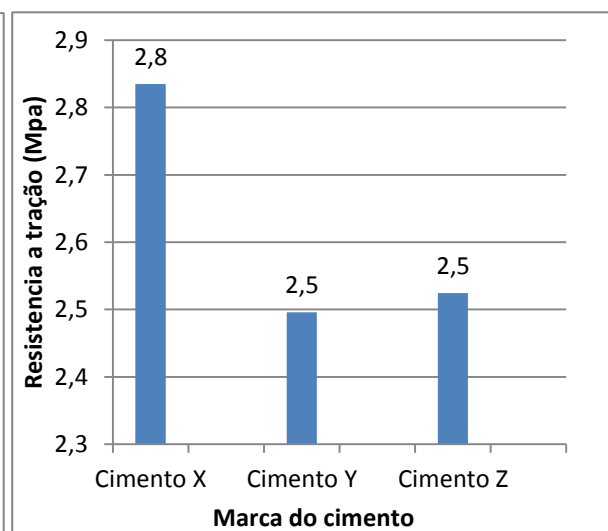
Verifica-se no gráfico 13, que utilizando a mesma relação água/cimento os concretos produzidos com os cimentos X e Z apresentaram maior resistência e o concreto com cimento Y apresentou menor resistência, possivelmente devido ao fato de resistência dos cimentos X e Z serem maiores que a do cimento Y. No gráfico 14 o resultado é análogo ao gráfico 13.

Gráfico 15 - Resultados resistência à tração do CC



Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 16 - Resultados resistência à tração do CBC

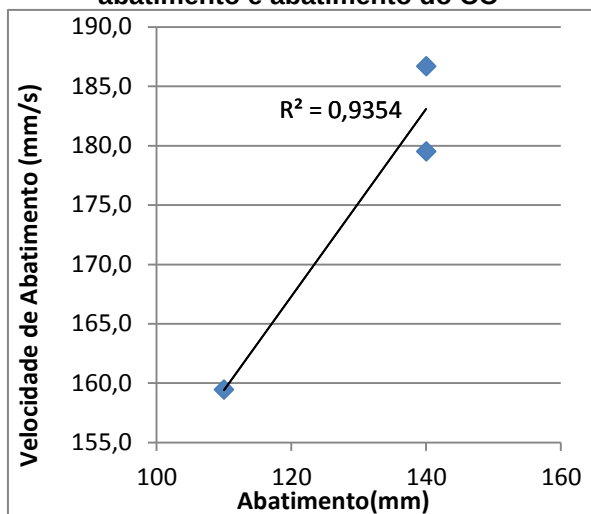


Fonte: Próprio autor (2017)

No gráfico 15 observa-se que o concreto com cimento Y exibiu o maior valor de resistência à tração, enquanto que o concreto produzido com cimento Z foi o que apresentou o menor valor de resistência. Já no gráfico 16 quem teve a maior resistência a tração foi concreto com o cimento X em relação aos outros concretos.

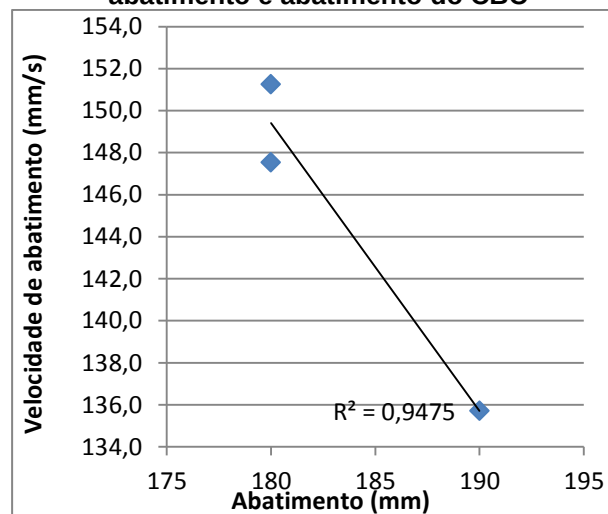
Os gráficos 17 e 18 a seguir apresentam as correlações entre a velocidade de abatimento e o abatimento do tronco de cone.

Gráfico 17 - Correlação entre velocidade de abatimento e abatimento do CC



Fonte: Próprio autor (2017)

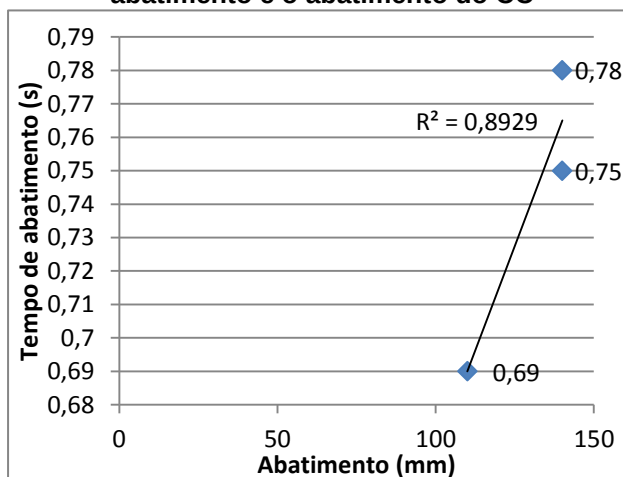
Gráfico 18 - Correlação entre velocidade de abatimento e abatimento do CBC



Fonte: Próprio autor (2017)

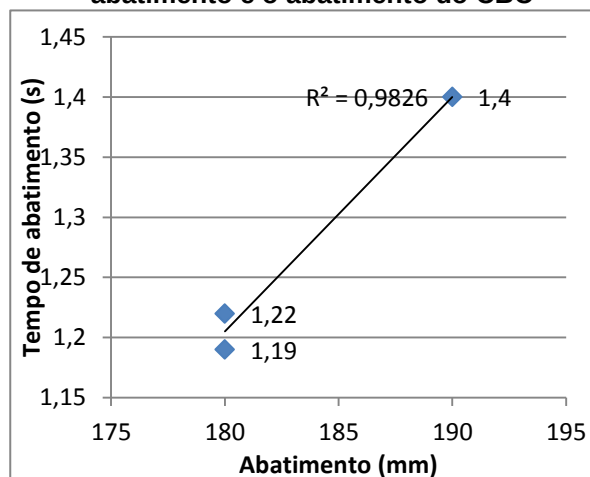
Nota-se pelo gráfico 17 que quanto menor o abatimento, maior a velocidade de abatimento (concretos CBC's) e pelo gráfico 18 observa-se que quanto maior a velocidade de abatimento, maiores também foram os abatimentos, se considerada uma análise estatística pelo método dos mínimos quadrados. Nota-se, no entanto, considerando os valores dos ensaios, que mesmo para abatimentos de mesmos valores dos CC's (140 mm), que estes resultaram em velocidades distintas e que tal fato ocorreu similarmente nos concretos CBC's. Esse fato ocorreu provavelmente devido à maior sensibilidade da determinação de velocidade de abatimento em relação a alguma propriedade que influencie diretamente a viscosidade plástica tal como a coesão, por exemplo.

Gráfico 19 – Comparativo entre tempo de abatimento e o abatimento do CC



Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 20 - Comparativo entre tempo de abatimento e o abatimento do CBC



Fonte: Próprio autor (2017)

Pode-se observar nos gráficos 19 e 20 que o tempo de abatimento está associado com o abatimento, no sentido de que quanto maior o tempo de abatimento, maior será seu abatimento, ou seja, os concretos mais fluidos também foram os que resultaram em maiores velocidades, provavelmente devido a valores baixos de coesão, que influenciaria diretamente na viscosidade das misturas e velocidades de abatimento, para os concretos produzidos nesse trabalho. Nota-se que esse crescimento é linear.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho verificou – se, através de ensaios realizados em laboratório, que as propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido dos concretos convencionais possivelmente foram influenciadas pelo cimento, visto que foram mantidos os mesmos materiais constituintes da mistura e fixado o traço, variando apenas a marca de cimento.

Constatou-se que o concreto com baixo consumo de cimento (CBC) apresentou-se mais fluido do que o concreto com consumo de cimento normal (CC), sendo que o concreto com cimento Z apresentou maior abatimento dentre os três. Com relação ao abatimento do CC, os concretos produzidos com o cimento Y e Z apresentaram-se maiores do que o concreto com cimento X. O tempo de abatimento está associado com o abatimento, no sentido de que quanto maior o tempo de abatimento, maior será seu abatimento.

No que diz respeito à resistência a compressão observou-se diferenças de resultados, sendo que os concretos confeccionados com o cimento Y apresentaram as menores resistências (tanto para os concretos convencionais, quanto para os concretos com baixo consumo de cimento) possivelmente devido às marcas de cimentos, já que o cimento Y também apresentou a menor resistência entre os três.

Conclui-se, portanto, que, no geral, os concretos apresentaram propriedades distintas entre si, tanto os convencionais, quanto os de baixo consumo de cimento, mesmo mantendo-se os mesmos traços e parâmetros, apenas modificando as marcas desse aglomerante, o que pode servir de alerta em relação às características e propriedades diferenciais dos cimentos produzidos e comercializados no estado de Sergipe.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 43: **Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 11768: **Aditivos químicos para concreto de cimento portland**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR NM 45: **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 53: **Agregados graúdos – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 9776: **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR NM 23: **Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 65: **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5732: **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5735: **Cimento Portland de alto-forno**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5736: **Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro, 1999.

_____. NBR 5737: **Cimento Portland resistentes a sulfatos**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 11579: **Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75µm (Nº 200)**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 9833: **Concreto fresco - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 12655: **Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 6118: **Projetos de Estrutura de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, J. O. DE. e TUTIKIAN, B. F. **Concreto: Ciência e Tecnologia. Cap. 17. Resistência Mecânica do concreto**. Ed. Geraldo Cechella Isaia. IBRACON, 2011.

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de Construção**. Ed. Universidade Rural. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7 ed. São Paulo, 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Vol. 1 e 2. São Paulo, 2000.

BENETTI, R. K. **Traços de concreto convencional com incorporação de aditivo acelerador de pega: análise da resistência nas primeiras idades**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil - Universidade Regional do Noroeste. Rio Grande do Sul, 2007.

BOGGIO, A. J. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2000.

BRANCO, C. P. e PIERETTI, R. A. **Avaliar a resistência do concreto curado à - 5°C e 0°C**. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Concreto - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

DINIZ, J. Z. F.; FERNANDES, J. F. e KUPERMAN, S. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia. Cap. 19. Resistência mecânica do concreto**. Editora: Geraldo Cechella Isaia. IBRACON, 2011.

GUIMARÃES, A. T. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

HELENE, Paulo & TERZIAN, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, 1993.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.

METHA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giamusso. Ed. Pini. São Paulo, 1997.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SILVA, J. D. J. **Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos como adição mineral em concretos de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, UFRN. Natal, 2015.

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto adensáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2004.