



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TIAGO ROCHA MARQUES

**AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DA
FOLHA DE BANANEIRA.**

PAU DOS FERROS - RN

2019

TIAGO ROCHA MARQUES

**AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DA
FOLHA DE BANANEIRA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof Jennef Carlos Tavares (UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

.

PAU DOS FERROS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R2985 Rocha Marques, Tiago.
a AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA
CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA. /
Tiago Rocha Marques. - 2019.
54 f. : il.

Orientador: Jennef Carlos Tavares.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. ultrassom. 2. carbonatação. 3. resíduos da
biomassa. I. Tavares, Jennef Carlos, orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

**AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DA
FOLHA DE BANANEIRA**

TIAGO ROCHA MARQUES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Banca Examinadora do
Curso Ciência e Tecnologia, da
Universidade Federal Rural do
Semiárido em cumprimento às
exigências legais como requisito
parcial à obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

APROVADO EM: 28 / 02 / 2019

BANCA EXAMINADORA:

Jenef Carlos Tavares

Prof. Jenef Carlos Tavares
Orientador

Jose Daniel Jales Silva

Prof. Me. José Daniel Jales Silva
Membro Interno - UFRSA

Danilo Rocha Alves

Eng. Danilo Rocha Alves
Membro Externo - UFRN

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida me dando força, paciência, dedicação e sabedoria para enfrentar os meus anseios e medos; me proporcionando alcançar os meus objetivos

Ao meu amor, por me ensinar sobre o maior e puro sentimento que posso sentir, obrigado por tudo que tem feito em minha vida, por me ensinar a ser a melhor pessoa do mundo que enfrenta todos os obstáculos sem desistir, por acreditar em mim quando nem eu mesmo acredito por me fazer a pessoa mais feliz desse mundo, obrigado por todas as chamadas de atenção, pelas brigas pois me fez aprender muito. Obrigado por ser essa mulher maravilhosa que és desde o primeiro momento da minha existência, as palavras são pequenas para descrever o que representa em minha vida, obrigado por todos os ensinamentos Maria Ducileide Rocha, minha querida mãe.

Ao meu pai, José Marques de Melo, por todo o carinho e compreensão por me ensinar a lutar pelos meus objetivos e por me ensinar a sobre amizade e por todo o investimento em mim nessa vida acadêmica, obrigado por todo o amor e dedicação.

Aos meus irmãos, André, por todo o cuidado comigo desde os meus primeiros passos se estendendo pela minha caminhada, por todo o cuidado ao cuidar de mim em diversos momentos na ausência dos nosso país. A Sara e Samuel por serem um presente que pedi tanto a Deus, obrigado por compartilharem comigo a vida de vocês por me ensinarem que independente do que ocorre no final estaremos sempre juntos.

A todos os meus familiares maternos e paternos que me ajudaram de alguma forma nesta minha caminhada, seja financeiramente ou com palavras, cada um foi importante para que eu concretizasse esta etapa da minha vida.

Ao professor Jennef Carlos Tavares por toda a orientação no desenvolvimento deste trabalho por me incentivar ao conhecimento não só no processo de orientação do trabalho, mas desde as primeiras aulas ministradas, obrigado pelas críticas e a total disponibilidade ao desenvolvimento do trabalho, não se pode mensurar em palavras o quanto foi importante para a conclusão. Obrigado por pelos ensinamentos não só no aspecto acadêmico e profissional, mas como ser humano o senhor é um exemplo a ser seguido.

A todos os meus amigos que Paus dos Ferros e UFERSA me proporcionaram conhecer, por todos os momentos divertidos que vivenciamos e por todas as noites em claro estudando, obrigado por tudo.

*When the sharpest words wanna cut me down
I'm gonna send a flood, gonna drown them out
I am brave, I am bruised
I am who I'm meant to be, this is me
Look out 'cause here I come
And I'm marching on to the beat I drum
I'm not scared to be seen
I make no apologies, this is me
This is me – The Greatest Showman*

*Quando as palavras mais afiadas queiserem me cortar
Vou ver a inundação afogá-las
Eu sou corajoso, estou ferido
Eu sou quem eu deveria ser, esse sou eu
Cuidado, porque aí vou eu
E estou marchando no meu próprio ritmo
Eu não tenho medo de ser visto
Eu não peço desculpas, esse sou eu.
Esse sou eu – O rei do show*

RESUMO

Na atual perspectiva da construção civil a busca por materiais alternativos e naturais que possibilitem os processos construtivos torna-se essencial para estudo, principalmente para os concretos que estão atribuídos a muitas construções no mundo. Neste estudo tem-se em destaque as cinzas da folha de bananeira que após a queima e moagem espera-se características pozolânica na incorporação em concretos. O objetivo do trabalho é analisar aspectos de durabilidade de concretos com a substituição parcial das cinzas da folha de bananeira nos parâmetros de carbonatação e ultrassom. Para o estudo em questão foram produzidos 6 corpos de prova com diferentes teores de 0%, 5% e 10% de material aplicado aos concretos, em seguida estes corpos de prova foram expostos ao ambiente para o estudo quanto a carbonatação nas idades de 30 e 60 dias e para um estudo de propagação de ondas ultrassônicas após os 60 dias de produzidos os concretos, por fim observou-se a profundidade de penetração de CO₂ com utilização da fenolftaleína. Para os concretos produzidos com resíduos observou-se uma redução na profundidade de carbonatação com o aumento no teor de substituição. A mistura com 10% de cinzas apresentou uma profundidade de 4,7 mm inferior ao concreto de referência, obtendo uma redução de 54,29% na profundidade de carbonatação do concreto. Este feito dado à redução na porosidade desses compósitos e incremento nas velocidades de propagação do pulso ultrassônico, sendo esta velocidade de 4189,94 m/s para o T10%, apresenta as melhores características no processo de incorporação, contendo um aumento de 6,14% na velocidade em relação ao concreto de referência, obtendo resultados significativos quanto a aplicação das cinzas da folha de bananeira para a produção de concretos, indica um concreto mais durável.

Palavras Chaves: Ultrassom, Carbonatação, Resíduos da Biomassa

ABSTRACT

In the current perspective of the civil construction the search for alternative and natural materials that make possible the constructive processes becomes essential for study, mainly for the concretes that are attributed to many constructions in the world. In this study we have highlighted the ashes of the banana leaf that after the burning and milling is expected pozzolanic characteristics in the incorporation in concretes. The objective of this work is to analyze aspects of concrete durability with the partial substitution of the ashes of the banana leaf in the parameters of carbonation and ultrasound. For the study in question, 6 test specimens with different contents of 0%, 5% and 10% of material applied to the concretes were produced, then these specimens were exposed to the environment for the study of carbonation at the ages of 30 and 60 days and for a study of propagation of ultrasonic waves after the 60 days of the concrete produced, finally the depth of penetration of CO₂ with phenolphthalein was observed. For the concretes produced with residues a reduction in the carbonation depth was observed with the increase in the substitution content. The mixture with 10% ash had a depth of 4.7 mm lower than the reference concrete, obtaining a reduction of 54.29% in the concrete carbonation depth. This fact due to the reduction in the porosity of these composites and increase in ultrasonic pulse propagation velocities, being this velocity of 4189.94 m / s for T10%, presents the best characteristics in the incorporation process, containing an increase of 6.14 % in velocity relative to the reference concrete, obtaining significant results regarding the application of the ashes of the banana leaf for the production of concrete indicates a more durable concrete.

Keywords: ultrasound, carbonation, biomass residues

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- - Macroestrutura do concreto	16
Figura 02 - Zona de transição	16
Figura 03 - Transmissão direta, indireta e semi-direta de ondas ultrassônicas.....	28
Figura 04 – Estimativas da produção de banana, segundo os principais estados produtos e sua variação mensal.	29
Figura 05 – Rio Grande do Norte: área plantada com banana – 1985 a 2015.....	30
Figura 06 - Fluxograma da pesquisa.....	31
Figura 07 – Mapa da cidade de Pau dos Ferros	32
Figura 08– Localização do ensaio de carbonatação.....	32
Figura 09 - Ensaio Frasco de Chapman	33
Figura 10 - Agregado.....	33
Figura 11 - Agregado submerso.....	34
Figura 12 – Resíduo após a queima	35
Figura 13 - Materiais para a confecção do concreto	37
Figura 14 – Corpos de prova nos moldes	38
Figura 15 – Corte do corpo de prova	39
Figura 16– Aplicação da Fenolftaleína no concreto	39
Figura 17 – Escala da carbonatação em 30 dias	43
Figura 18- Carbonatação do T0%.....	44
Figura 19 - Carbonatação do T5%.....	44
Figura 20 - Carbonatação no T10%.....	44
Figura 21 - Carbonatação dos concretos em 60 dias.	45
Figura 22 - Carbonatação T05% em 60 dias.....	45
Figura 23 - Carbonatação T0% em 60 dias.....	45
Figura 24 - Carbonatação T10% 60 dias	46
Figura 25 - Ensaio de Ultrassom.....	47
Figura 26 – Velocidade de propagação de onda	48

LISTA DE TABELA

Tabela 01– Classificação do concreto devido a propagação de onda.....	27
Tabela 02 – Quantidade de corpos de prova.....	36
Tabela 03 – Consumo de materiais.....	36
Tabela 04 – Quantitativo em kg de matérias para diferentes teores	37
Tabela 05 – Granulometria do agregado miúdo.	41
Tabela 06 – Granulometria da brita	42
Tabela 07– Carbonatação na idade de 30 dias	43
Tabela 08 – Carbonatação na idade de 60 dias	45
Tabela 09 – Tempo em milissegundos da propagação de onda.....	47
Tabela 10 – Velocidade de propagação de ondas.	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 CONCRETO	15
2.2 MACRO E MICROESTRUTURA DO CONCRETO	15
2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	16
2.4 CIMENTOS	17
2.5 AGREGADOS	18
2.6 ÁGUA	19
2.7 ADITIVOS.....	19
2.8 ADIÇÕES MINERAIS	19
2.9 POZOLANAS	20
2.9.1 ATIVIDADE POZOLÂNICAS	21
2.9.2 CLASSIFICAÇÃO DAS POZOLANAS	22
2.9.3 APLICAÇÃO DE POZOLANAS NO CONCRETO.....	23
2.10 DURABILIDADE.....	24
2.11 CARBONATAÇÃO.....	25
2.12 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END).....	26
2.13 PRODUÇÃO DE BANANAS.....	29
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	31
3.1 LOCAL DA PESQUISA.....	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	32
3.2.1 AGREGADOS	32
3.2.2 CIMENTO.....	34
3.2.3 ADITIVOS	34
3.2.4 RESÍDUOS	35
3.2.5 ÁGUA	35
3.3 DOSAGEM DOS CONCRETOS	36
3.4 CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS DE MATERIAIS	37
3.5 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS DE CONCRETO.....	37
3.6 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO.....	38
3.7 ENSAIO DE ULTRASSOM.....	40
4 RESULTADOS E DISCURSÕES.....	41
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	41

4.1.1 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA	41
4.1.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	41
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	42
4.2.1 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA	42
4.2.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	42
4.3 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO.....	43
4. 4 ENSAIO DE ULTRASSOM.....	46
5 CONCLUSÃO.....	49
REFÊRENCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Os processos construtivos acompanharam o avanço do ser humano, desse modo, os materiais e a metodologias aplicadas para o desenvolvimento de construções passaram por modificações ao longo do tempo, permitindo o surgimento de novos materiais e o aperfeiçoamento dos já existentes na construção civil.

A principal matéria prima para a produção do concreto é o cimento, este por sua vez apresenta consequências para o meio ambiente no seu processo de produção, que de acordo com Maury e Blumenschein (2012) gera uma degradação e contaminação da água e do solo. Desta forma, ocorre o crescimento de estudo para a utilização de outros materiais que possam ser associado de maneira significativa ao cimento, como é o caso de materiais pozolânicos que podem ser aplicados em concretos e argamassas, sendo importantes para minimizar os problemas que a produção do aglomerante causa.

Nessa perspectiva tem-se a folha da bananeira, no qual em função de sua grande produção, e dos benefícios que suas cinzas apresentam como material pozolânico no aperfeiçoamento de materiais para a construção e ainda, visto a busca por alternativas que possibilitem o incremento eficiente nos concretos, torna-se de total importância para novas técnicas construtivas na atualidade.

O concreto é um material é produzido para manter segurança, vida útil, funcionalidade durante todo o tempo, quando se tem uma vida útil de qualidade este apresenta benefícios quanto a durabilidade (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Por mais que o concreto apresente inúmeras vantagens, existe problemas quanto a sua durabilidade, com isso, o estudo de deteriorações junto com a busca de novos materiais contribui para melhores resultados quanto a durabilidade dos concretos.

Nesse sentido, Oliveira (2013) apresenta que no Brasil ocorrem muitas manifestações patológicas devido a diversos fatores, como o projeto e a própria execução sendo estes 18% e 52% respectivamente as maiores causas das manifestações patológicas no país.

Mas, o custo ainda se torna um fator no qual afeta o mercado da construção e a busca por alternativas que possam minimizar este é de suma importância para contribuir nos processos construtivos, principalmente pela vasta quantidade de insumos naturais que podem ser encontrados.

Assim, em razão do alto índice de ocorrência das manifestações patológicas está cada vez mais necessários a busca por produções e serviços de excelente qualidade e que buscam novas técnicas nos processos construtivos, como é o caso das cinzas da folha da bananeira que

para Kanning (2013), torna-se um material de grande valia na substituição parcial do cimento, apresentando características pozolânicas que contribuem para o melhor desempenho dos concretos.

O Brasil é um dos maiores produtores de banana do mundo, apresentando uma produção anual de 14 bilhões e obtém sucesso a cada ano, neste sentido, tem-se o destaque para a região nordeste (GOMES, 2017). Sendo estas as características que favorecem a utilização deste elemento como um material pozolânico, que permite o melhor desempenho dos concretos possibilitando a diminuição dos custos no processo produtivo

Sendo assim, observa uma maior atenção na sua qualidade para que apresente uma maior durabilidade e com isso diminuir possíveis manifestações patológicas. Com isso materiais naturais e eficientes podem ser uma alternativa para o melhoramento de processos que afetam diretamente a construção civil, sendo alternativas significativas em estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo avaliar as características da durabilidade que são apresentadas pelo concreto, contendo a substituição de cinzas da folha de bananeira permitindo uma avaliação do desempenho deste em relação as propriedades da durabilidade.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o avanço da frente de carbonatação nos concretos com e sem resíduos;
- Verificar a profundidade de carbonatação dos concretos e relacionar a carbonatação com as suas idades;
- Relacionar a velocidade do pulso ultrassônico coma durabilidade dos concretos produzidos;
- Determinar dentre os teores estudados, o de maior desempenho face as propriedades abordadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

O concreto é um material bastante utilizado na construção civil no qual apresenta em sua composição uma mistura de materiais no qual podem ser aplicados aditivos e adições (NEVILLE, 1997), podendo ser moldado em diversas formas, sendo este de fundamental importância na construção civil.

Historicamente o surgimento do concreto está ligado com o surgimento do aglomerante cimentício, com isso, pode-se cogitar que o princípio sobre o concreto em meados do século II AC ocorreu com a manifestação do primeiro aglomerante em conhecimento, este por sua vez, era uma areia vulcânica denominada de pozolana. Esse material foi utilizado pelos povos romanos na produção de argamassa, no qual permitiu desenvolver muitas construções (METHA e MONTEIRO, 1994).

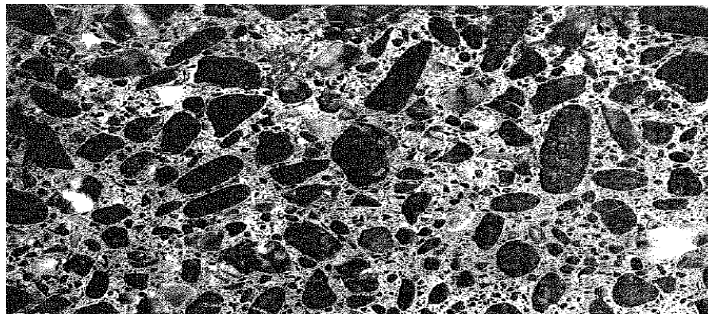
De acordo com Almeida (2002), para obter um concreto no qual seja durável, resistente, econômico e que apresente um bom aspecto, é necessário compreender as propriedades de cada material que o consistiu, junto com as possibilidades de alterações. No processo de execução do concreto, deve-se realizar uma mistura correta apresentado um controle no processo da preparação e após o endurecimento, para que se possa garantir as propriedades que lhes são exigidas.

O concreto segundo Nelille e Brooks (2013) é um material que pode ser desenvolvido por diversos tipos de cimentos como também conter a pozolana, cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, fibras, entre outros materiais que podem ser incorporados aos mesmo, de acordo com as suas propriedades e características será desenvolvida a proporção dos componentes que constituirão os concretos.

2.2 MACRO E MICROESTRUTURA DO CONCRETO

Conforme Mehta e Monteiro (2014), o concreto desenvolvido com o cimento Portland é um material poroso, onde apresenta em sua estrutura componentes bastante heterogêneos. Em sua macroestrutura apresenta-se em duas fases distintas com características bem definidas contendo um meio ligante que apresenta um composto da pasta de cimento endurecido com as partículas de agregado com formas e tamanhos distintos. Nessa visão de macroestrutura é classificado como um material bifásico, como pode ser analisado na Figura 01 e 02.

Figura 01- - Macroestrutura do concreto

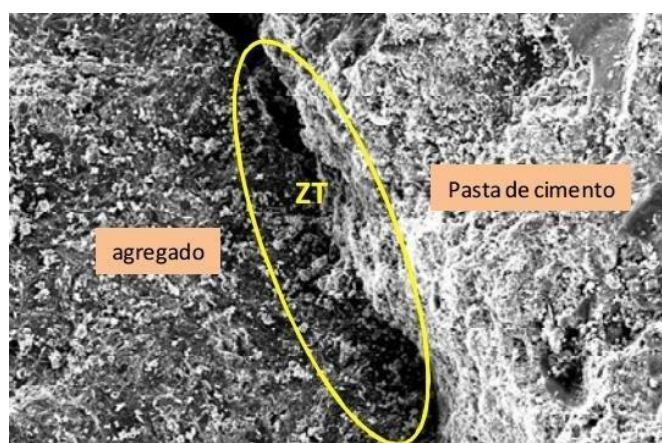


Fonte: Goldenberg (2018)

Na Figura 01 pode-se perceber a complexidade entre as fases que consiste o concreto, assim, Metha e Monteiro (2014), apresentam que a pasta de cimento hidratado não é uma estrutura com características homogêneas, em pontos do mesmo apresentam características bastante densas como o agregado, sendo que outras partes o mesmo se apresenta de características porosas.

Existe ainda outra fase que se apresenta entre a interface dos agregados com a pasta, denominada de zona de transição, esta parte do concreto como pode ser observado na Figura 02 representa uma zona mais fraca e desempenha uma ação no comportamento do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Figura 02 - Zona de transição



Fonte: Goldenberg (2018)

2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

O concreto em sua formação é composto de uma mistura que contem água, agregado graúdo e miúdo e o aglomerante. Este último pode conter aditivos no qual vai depender das

características do mesmo, desse modo, é importante apresentar estudos com estes para o desenvolvimento de concretos com melhores resultados quanto a propriedades físicas e químicas.

2.4 CIMENTOS

No Brasil são fabricados diversos tipos de cimento, cada um com suas especificações mecânicas, físicas e químicas. Estas características influenciam nas propriedades dos concretos produzidos, como na durabilidade, evidenciando a importância da correta escolha do aglomerante.

A capacidade do concreto ao resistir aos diversos agentes químicos como a água, salinidade do ar dentre outras, está relacionado às suas características físicas e químicas, como no caso de finura, expansibilidade, presença de cal livre e não a sua resistência mecânica (SILVA, 2010).

No país os cimentos produzidos são: Portland comum ou com adições, o cimento Portland de auto forno, cimento Portland composto, o cimento Portland pozolânico e o Portland de alta resistência inicial, ainda neste tem-se os cimentos resistentes a sulfatos.

Para Souza e Ripper (2009) os cimentos do tipo Portland são obtidos pela calcinação com temperaturas próximas aos 1500 °C tendo em sua composição o carbonato de cálcio e silicatos de alumínio e ferro e a gipsita, material controlador de pega e substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro.

Os materiais reagem entre si no processo de resfriamento formando o clínquer e a moagem deste dá origem ao cimento Portland, os principais compostos do cimento são: Silicato Tricálcico (C_3S), que representa o componente principal no aspecto de resistência inicial do concreto, Silicato Dicálcico (C_2S), Aluminato Tricálcio (C_3A), Ferro-Aluminato Tetracálcico (C_4AF), (SOUZA E RIPPER 2009).

Para diminuir os problemas nos concretos quanto a sua deterioração, o cimento a ser utilizado deve ser o que mais apresenta resistência aos ataques no qual é imposto, com isso é de uma importância realizar um estudo completo sobre onde o mesmo será destinado para escolher o melhor cimento para tal.

2.5 AGREGADOS

Os agregados são materiais adicionado à massa que devem ser inertes, resistentes à água, variações de temperatura, com baixa porosidade e absorção inferior à 10% (SOUZA E RIPPER, 2009).

Nesta concepção Gomes et al (2015), apresentam que os agregados que são utilizados nos concretos exibem ações sobre as características significativas nestes, como a redução da retração e um aumento da resistência aos esforços mecânicos. O agregado classificado como inertes apresentam qualidades químicas e físicas no qual influência o comportamento do concreto. Com isso, é importante que os mesmos não apresentem outras substâncias como os torrões de argila por exemplo, no qual devem possuir uma granulometria de características mais arredondadas, visto que esta forma facilita no processo de adensamento dos concretos.

Por este ângulo um fator que é de suma importância neste aspecto é a umidade dos agregados, sendo que o quantitativo de água no processo de produção do concreto apresenta alterações na relação água/cimento. Para os agregados graúdos a granulometria é uma característica no qual apresenta grande influência no aspecto da qualidade do concreto principalmente quanto a resistência mecânica, como também o aspecto de trabalhabilidade e a uniformidade do mesmo (GOMEL ET AL, 2015).

Na construção do concreto são aplicados agregados miúdos que podem ser naturais sendo estes as areias e os cascalhos, como também podem ser aplicados as escórias siderúrgicas, este componente do concreto não deve apresentar qualquer tipo de matéria orgânica ou argilas, visto que estes componentes apresentam prejuízos no processo de endurecimento do concreto (SOUZA e RIPPER, 2009).

A granulometria deste material é fator considerável no processo construtivo e na qualidade do concreto e deve-se tomar cuidado quanto as suas características. A compactação do agregado na produção do concreto apresentara bons resultados quanto a sua resistência, visto que ocorrerá a diminuição dos vazios e com isso menor a quantidade da pasta de cimento, e na concepção quanto a durabilidade apresentara resultados significativos quando este processo de compactação for bem realizado (TEODORO, 2013).

2.6 ÁGUA

Em conformidade com Barros (2016), a água é um dos itens de suma importância para a confecção de concretos e a sua quantidade é aplicado na relação de água/cimento como característica contribuinte no processo de resistência dos concretos. No que se refere as manifestações patológicas quando se aplica uma água que apresenta uma qualidade baixa acarreta grandes problemas para o mesmo.

Sendo assim, a água no qual se é aplicado no desenvolvimento dos concretos deve ser de qualidade potável ou que não apresente impurezas como resíduos industriais, algum material químico, visto que podem apresentar problemas quanto ao processo do concreto, mesmo que estes estejam presentes em pequenas quantidades.

2.7 ADITIVOS

Os aditivos são produtos no qual quando aplicados aos aglomerantes no momento de sua produção e nas condições adequadas nas quantidades corretas em estudo, irão modificar em caráter positivo e permanente as propriedades do aglomerante no estado fresco e endurecido, desse modo existe exigências acerca da utilização de aditivos na produção de concretos (FONSECA, 2010).

Existem diversos tipos de aditivos como redutores de água, modificadores de pega, plastificantes entre outros, cada qual utilizado em condições específicas.

Vale ressaltar que a utilização de aditivos em quantidades distintas daqueles especificadas pelo fabricante, podem originar graves problemas à qualidade do concreto.

2.8 ADIÇÕES MINERAIS

Segundo a NBR 11172/1990 as adições de origem mineral são aplicadas aos cimentos, argamassas e concretos no qual tem-se como objetivo modificar algumas propriedades. Segundo Moraes (2012), as adições podem melhorar as propriedades do concreto e os mais utilizados são as cinzas volantes, sílica ativa, escória de alto-forno, cinzas de casca de arroz, metacaulim e fíller de calcário.

Nesse sentido Moraes (2012), mostra as influências dessas adições nas propriedades do concreto que são:

Enquanto fresco:

- Maior relação de volume “sólidos/água”;
- Melhor trabalhabilidade;
- Facilidade para bombear o concreto;
- Maior volume de finos e compacidade de pasta;
- Menor quantidade de canais de exsudação;
- Superpozolanas ocasionando o uso de aditivos superplastificantes;
- Menor risco de fissurações térmicas;
- Menor calor de hidratação do que nas reações de hidratação do cimento.

Enquanto endurecido:

- Formação de mais compostos resistentes;
- Redução na permeabilidade e porosidade do concreto;
- Menor risco da entrada de agentes nocivos.

2.9 POZOLANAS

A pozolana perpassa por diferentes momentos da história, tem-se a definição característica da Roma antiga no qual Segundo Massazza (1993) apud Oliveira (2012), a rocha vulcânica era uma qualificação dado aos silicatos hidratados de alumínio ou do cálcio que reagem com a cal em presença de água à uma temperatura ambiente, no qual eram utilizados pelos povos romanos, esta por sua vez poderia ser encontrada em Pozzuoli sendo o fator determinante para a sua nomenclatura. De acordo com Mehta e Monteiro (1994) este material era utilizado com diferentes granulometrias de pedras formando um tipo de concreto rudimentar.

A norma NBR 12653/2014 apresenta que o material pozolânico são silicosos ou alumínio-silicosos que individualmente não apresentam características de atividade hidráulica, mas quando o mesmo com a aplicação de água irá reagir com o hidróxido de cálcio em temperatura ambiente formando compostos com propriedades aglomerantes. Desse modo, Netto (2006) apresenta que a utilização de pozolanas em construções foram observadas na Grécia, onde apresentava grande propriedade de endurecimento que dura até os dias atuais, no qual a cerca destas características tem-se o Panteão e o Coliseu (FONSECA, 2010).

Para Mehta (1987) com o surgimento do cimento Portland em meados do século 19 o cimento pozolânico deixou de ser utilizado e fabricado para o concreto estrutural, assim, Netto (2006) mostra que Portland apresenta um endurecimento como também uma resistência maior. Com relação a pozolana, Oliveira e Barbosa (2006) apresentam que a sua composição é basicamente dada por silicatos no qual quando hidratados irão produzir silicatos de cálcio hidratados que são responsáveis por contribuir na resistência ao concreto.

A combinação com base no cimento Portland através de uma reação de hidratação irá reagir com a pozolana podendo apresentar-se como substituinte parcial do cimento, o material pozolânico pode ser substituído de forma parcial ou com adições que irão variar de acordo com a massa e o volume de cimento utilizado (OLIVEIRA E BARBOSA 2006). Os materiais pozolânicos que são utilizados no concreto tem como objetivo apresentar melhorias quanto a reologia, durabilidade e nas propriedades mecânicas dos materiais (CHUSILP, 2009).

2.9.1 ATIVIDADE POZOLÂNICAS

Estudar a atividade pozolânica concede fazer uma investigação a reatividade de um material e permite realizar uma avaliação do comportamento da pozolana apresentando a sua melhor qualidade, visto que o cimento com as adições permite alterar as propriedades do produto em seu estado fresco e endurecido.

Para Dal Molim (2005), ao adicionar a pozolana pode-se observar alterações nas propriedades do mesmo, sendo em caráter macroestrutural como também microestrutural dos cimentos, apresentando vantagens e desvantagens sendo que a maioria das mudanças que ocorre depende da granulometria das adições que representa os efeitos físicos e as atividades pozolanicas que representa os aspectos químicos ou a combinação destes.

Nessa perspectiva a relevância técnica que é atribuída ao cimento pozolanico está caracterizado com três aspectos que se estabelecem nas reações são estes:

- Reação lenta com uma baixa liberação de calor na hidratação e um aumento da resistência do material de maneira gradual, com isso permite que a fissuração ocorre de menor forma.
- A ocorrência de uma liberação do hidróxido de cálcio do cimento quando passa pelo processo de hidratação, mas a pozolana ocasiona um consumo do hidróxido de cálcio permitindo o aumento se sua durabilidade em estado endurecido.
- O tamanho dos poros apresenta influência nos cimentos pozolanicos hidratados, as reações são eficientes no processo de ocupação dos vazios, reduzindo a

permeabilidade permitindo assim uma melhora na resistência mecânica como a sua durabilidade.

2.9.2 CLASSIFICAÇÃO DAS POZOLANAS

A norma NBR 12653/2014 passa a classificar os materiais pozolânicos em 3 categorias sendo estas (Classe N, Classe C e Classe E), no qual a sua classificação se dá através da função, origem, requisitos químicos e físicos. Determinados pela norma, os que se classificam na Classe N são os materiais pozolanas naturais e artificiais no qual se enquadram os materiais vulcânicos, terras diatomáceas e argilas calcinadas. Os caracterizados na Classe C estão as cinzas volantes que são produzidas através da queima de carvão mineral, já os da Classe E são qualquer tipo no qual se diferem das características das classes anteriores de acordo com as informações da norma.

Em contrapartida American Society for Testing and Materials (ASTM) apresenta em sua norma C 125-03 que são inúmeros os materiais que constituem este, sendo que necessitam ser reunidos e organizados com o objetivo qualificarem os seus desempenhos e características químicas e mineralógicas, os materiais pozolânicos, classificam-se em dois grandes grupos sendo os de aspecto natural e artificial..

Dessa maneira, os materiais de característica natural segundo Montanheiro et al (2002), são os tipos que são obtidos na natureza, no qual tem origem vulcânica ou de origem sedimentar, sendo estes os tufos vulcânicos que são rochas desenvolvidas por uma ação hidrotérmica sobre as cinzas vulcânicas ou pela pulverização de rochas.

Nessa perspectiva, os caracterizados pelos artificiais segundo Montanheiro et al (2002) são oriundos de processos industriais ou que apresentaram algum tipo de tratamento térmico com atividade pozolânica, onde se dividem em argilas calcinadas, cinzas volantes dentre outros.

Em meio a estes encontra-se as argilas calcinadas que são aplicadas a temperaturas que varia entre 600°C e 1000°C no qual torna-se um material com característica amorfa, as cinzas volantes são o tipo mais comum em que são desenvolvidos através da combustão do carvão, já a sílica ativa é formada através da fabricação de ferro-silício ou silício-metálico. A escoria de alto forno é um resíduo que se dá pela fundição das impurezas do minério de ferro, outros também são dados pelas cinzas de vegetais, de rejeito de carvão mineral e outros (OLIVEIRA, 2012).

Pugliese (2018), pontua algumas características quanto a adição de pozolanas na argamassa e aos concretos que são elas, um menor calor de hidratação, uma melhor resistência

ao ataque de ácidos, uma maior durabilidade, fatores econômicos também são aplicados nestes aspectos como a redução de custos.

Para Oliveira e Barbosa (2006), os materiais pozolânicos são considerados mais econômicos que o clínquer, principalmente pelas características ecológicas visto que o mesmo colaboram para uma melhor aplicação no que se diz respeito aos resíduos sólidos, a trabalhabilidade é uma característica importante visto que permite uma maior resistência quanto a fissuras e maior impermeabilidade contribuindo assim para o aumento da durabilidade.

Mesmo as vantagens que são apresentadas, Santos (2006) apresenta algumas desvantagens como a necessidade da utilização de aditivos que são redutores de água, visto a necessidade do aumento da água para que realize a cura da reação pozolânica acarreta uma diminuição da resistência inicial nos concretos devido as reações serem lentas.

2.9.3 APLICAÇÃO DE POZOLANAS NO CONCRETO

A aplicação de pozolanas em cimentos e concretos apresentam vantagens e desvantagens quando ao resultado desta utilização ao concreto, mas, esta substituição deve ser analisada para cada processo, sendo que possui distintas pozolanas no que se refere a sua composição e aplicação (OLIVEIRA, 2012).

O concreto apresenta em sua estrutura poros que são formados de forma natural devido a dificuldade que os materiais apresentam em ocupar todos os vazios existentes neste. Em conformidade com Santos (2006) dependendo de como se encontra os poros permitirá um maior ou menor distribuição de líquidos pelos poros influenciando diretamente da impermeabilidade do concreto havendo então uma maior ou menor degradação do concreto.

Por conseguinte, Oliveira (2012) apresenta que a utilização de pozolanas no concreto apresenta vantagens e desvantagens sendo estas:

Vantagens:

- A reação álcalis agregado pode ser retardada ou dificultada;
- A resistência do concreto a cloretos, sulfatos e água do mar pode ser aumentada;
- A produção de calor por estruturas maciças pode ser reduzida;
- A economia de energia e a redução do custo na fabricação do cimento;
- A resistência mecânica do concreto pode ser aumentada;
- A permeabilidade pode ser reduzida.

Propriedades como trabalhabilidade, tendência à segregação e exsudação de água podem ser melhoradas antes do início de pega.

Sendo as desvantagens:

- Acréscimo do consumo de água, com consequente aumento de retração por secagem;
- Possível redução da resistência à compressão;
- Provável diminuição da resistência à solidificação e/ou dessolidificação;
- Diminuição da rapidez de endurecimento e desenvolvimento da resistência mecânica.

2.10 DURABILIDADE

A concepção de durabilidade está tornando-se cada vez mais estudando na construção civil nos últimos tempos, com uma normatização mais eficiente neste aspecto serve de garantia para a vida útil das estruturas, sendo ponto de suma importância a ser considerado em qualquer projeto.

O American Concrete Institute 201.2R (ACI,2001), retrata que a durabilidade de concretos representa a capacidade de resistir ao intemperismo, como também a ataques químicos, desgastes por abrasão ou qualquer outra atividade que possa trazer deterioração dos concretos, conservando a sua forma tendo uma boa utilização quanto a sua exposição ambiental.

Com isso, a norma ABNT NBR 6118:2014 apresenta que a estrutura deve resistir a impactos causados pelo meio ambiente, e que são previstas pelo projeto no qual apresente segurança, estabilidade durante toda a vida útil da edificação.

No Brasil o interesse com os aspectos da durabilidade obteve destaque por volta dos anos 90, devido ao aumento de estruturas danificadas junto com a formação de um núcleo de pesquisadores relativos com a durabilidade de estruturas de concreto, ainda assim, poucos são os dados estimados acerca das manifestações patológicas em obras. São inúmeros fatores no qual contribuem para que haja a perda de durabilidade, como a falta de conhecimento sobre a sua exposição e o surgimento de novas técnicas sem muito aprimoramento que acaba afetando as estruturas (IBRACON, 2005).

Uma característica que afeta a questão da durabilidade nas estruturas de concreto irá depender do seu processo de fabricação, sendo o material não expansivo capaz de resistir a inúmeras ataques oriundos do meio externo (SILVA e DJANIKIAN 1993). Dependendo das condições ambientais e aspectos climáticos o concreto está sujeito a um conjunto de componentes agressivos com diferentes fatores destrutivo.

As ações oriundas do meio ambiente são ocasionadas pelos aspectos climáticos como ser umidade, temperatura, radiação solar dentre outros, como também causado por agentes químicos onde se tem a presença de íons agressivos no concreto ou também por fatores biológicos.

Um dos fatores que está relacionado com a durabilidade de concretos é a porosidade capilar no qual é influenciado devido ao aglomerante e a sua relação água/cimento, dessa forma Metha e Monteiro (2014) mostram que os poros contendo o ar no qual foi incorporado apresenta uma geometria esférica, demonstrando dimensões maiores que os vazios da capilaridade, ocasionado devido a uma má vibração, reduzem bastante a resistência do concreto e aumentam a permeabilidade, agindo diretamente na durabilidade do material.

Sendo assim, a qualidade do concreto na execução deve ser avaliada sempre que possível para assegurar as etapas de execução de forma correta, com isso, as medidas modificadas no processo do desenvolvimento do projeto são mais duradouras do que as intervenções posteriores visto que os custos são maiores ao longo do tempo.

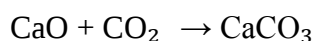
2.11 CARBONATAÇÃO

Segundo Cadore (2008) a carbonatação é um processo físico-químico que realiza a neutralização líquida presente na estrutura do concreto, tendo os principais componentes na atmosfera. Em que apresentado por Figueiredo (2005), permitem reduzir as reações de neutralização do concreto que são: o gás carbônico (CO_2), o dióxido de enxofre (SO_2) e o gás sulfídrico (H_2S). Este procedimento por sua vez é nomeado devido a etapa de neutralização do hidróxido de cálcio (CH) pelo CO_2 , resultando em carbonato de cálcio (CaCO_3), no qual consiste em transformar o hidróxido alcalino em um sal que apresenta baixa solubilidade

As substâncias no qual estão na fase gasosa que pode danificar o concreto tem como evidência o CO_2 , que irá provocar a carbonatação que ocorre na penetração de gases e água nos vazios do concreto. Com isso Ishida & Maekawa (2001) apresentam que inicialmente ocorre a propagação do CO_2 que está na atmosfera na fase aquosa dos poros, para que então ocorra a reação química do mesmo com os elementos alcalinos.

O processo de carbonatação tende a reduzir o pH do concreto em valores menores que 9, segundo Mehta e Monteiro (1994) as misturas hidratadas do cimento que estão sujeitos a sofrerem o processo de carbonatação são o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidróxido de potássio (KOH). Com isso, para que ocorra o processo químico de

formação da carbonatação deve ocorrer a dissolução do dióxido de carbono e tem-se a formação do carbonato de cálcio como na reação.



Segundo Guimarães (2000), no desenvolvimento do concreto possui os álcalis de cimento que também estão possíveis de sofrer o processo de carbonatação. Na carbonatação irá existir dois ramos no qual se divide em zonas de pH em aspectos distintos, sendo um ponto no qual o pH apresenta um valor superior a 12 e a outra zona com um valor com proximidade a 8, quando ocorre a etapa de uma diminuição de pH na estrutura ocorre um processo de perda de qualidade no sentido do interior do concreto.

Para Neville (2013) a carbonatação pode surgir em lugares em que apresente uma baixa concentração de CO₂, nesta se refere a composição dos poros e os agentes que estarão presentes na estrutura, para que ocorra as reações e o processo de deterioração deste. Um destaque para o aspecto da porosidade está ligado com a relação água/cimento, o tipo do cimento e o seu teor, as adições no qual são aplicadas e a cura, sendo assim, quando ocorre o processo de aumento da relação de água e cimento ocorre um aumento da permeabilidade e a penetração por carbonatação.

2.12 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END)

Os ensaios não destrutivos aplicados em concretos são utilizados no processo de examinar os materiais sem que precise danificá-los, são avaliadores do controle de qualidade, sendo assim, o mesmo permite identificar a possibilidade de defeitos presentes no material como também a sua homogeneidade sem que traga problemas para o mesmo e afeta a sua utilização (JUNIOR, MARQUES, 2006).

Nesse sentido, pode-se compreender o conceito de defeito e descontinuidade, sendo que o defeito apresenta falha que pode ocorrer naturalmente de acordo com as dimensões, por não atender as características básicas de uso em relação as características aceitáveis por norma. Enquanto a descontinuidade pode ser compreendida como uma intermitência de aspectos da estrutura quanto a sua homogeneidade, sendo que uma descontinuidade não se caracteriza totalmente como um defeito.

Estes ensaios apresentam métodos no qual permitem mostrar informações dos defeitos ou as descontinuidades existentes no material, com isso, Daldegan (2017), mostra que ao estudar estruturas de concreto é necessário analisar a mesma, mas, em alguns casos a solução é

retirar o material, com isso os ensaios não destrutivos tornam-se uma alternativa para estudos no qual não se pode retirar corpos de prova de maneira convencional.

O melhor método a ser aplicado no estudo do concreto irá depender das características que o mesmo apresenta e suas propriedades físicas, dessa forma um estudo acerca dos métodos e sua aplicabilidade torna-se essencial para definir qual utilizar em determinado estudo. Com isso, estes ensaios servem para abordar qual a necessidade que a estrutura precisa de reparo e para o estudo em questão utilizou-se os ensaios acerca do método de ultrassom.

A análise realizada no ensaio do método de ultrassom irá determinar a velocidade no qual se propaga a onda, este permite avaliar a resistência a compressão do concreto sem que haja a destruição do mesmo, a norma NBR 8802/2019 determina a velocidade no qual se propaga uma onda longitudinal por pulsos no concreto de forma eletrônica.

Segundo Dalgegan (2017), o ensaio por meio de ultrassom pode detectar falhas no processo de produção dos concretos, como também analisar a sua uniformidade, se existe uma descontinuidade em sua estrutura poderá avaliar a profundidade das fissuras e examinar as variações das características do concreto com o decorrer do tempo.

Para a determinação deste ensaio serão enviadas ondas acústicas ultrassônicas por um emissor que será recebido por um receptor, e a característica de boa homogeneidade do concreto irá ser determinada pela velocidade com que passa a onda, sendo assim, quando mais rápida a mesma passar, melhores são as suas características internas (DALGEGAN, 2017), uma análise para tal pode ser observado na Tabela 01.

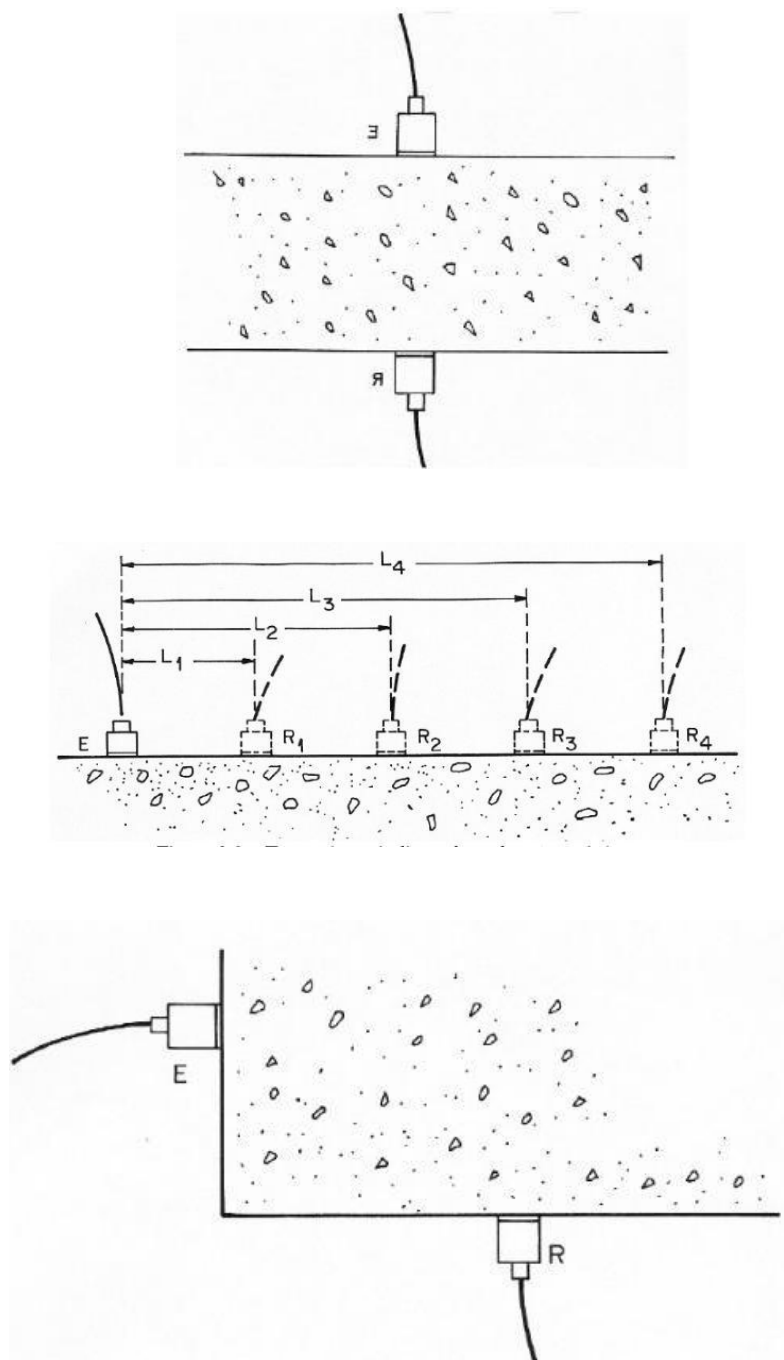
Tabela 01– Classificação do concreto devido a propagação de onda

Velocidade de onda ultrassônica (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Boa
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

Fonte – Carmo e Silva (2009)

De acordo com NBR 8802/2019 para determinar a velocidade de propagação de uma onda ocorre por 3 diferentes métodos que são: direta, indireta e semi-indireta no qual pode ser observado na Figura 05.

Figura 03 - Transmissão direta, indireta e semi-direta de ondas ultrassônicas



Fonte - ABNT NBR 8802: 2019

Este método torna-se de suma importância para a análise do concreto de acordo com as suas características internas, sem que haja a necessidade de destruí-la permitindo assim um monitoramento do mesmo a fim de diminuir os problemas que a estrutura pode apresentar ao longo do tempo.

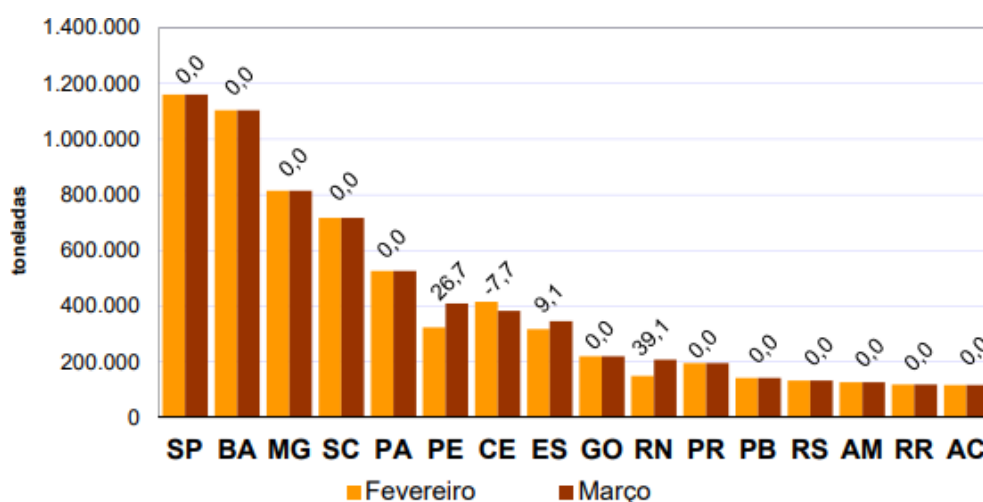
2.13 PRODUÇÃO DE BANANAS

A produção de bananas no Brasil segundo Gomes (2017) apresenta uma fabricação anual de sete milhões de toneladas, sendo a 4º maior do mundo, permitindo aumento de renda e uma melhoria nos municípios do semiárido. Nesta perspectiva, a produção na Bahia apresentou um valor de 106,5 milhões de toneladas em 2016 de acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO, representando um destaque no país sendo o estado de maior produção.

Nesse sentido, dentro do país existe regiões que apresentam maior destaque na produção desse como é o caso do Distrito Federal, e a região de Bom Jesus da Lapa/BA um dos maiores produtores de banana no Brasil e que faz parte do projeto Formoso que visa o desenvolvimento da região semiárida (GOMES, 2017)

Com isso, a área plantada no país segundo o IBGE de 2017 para a produção de banana estimou-se um total de 530,8 mil hectares, tendo a região nordeste como o maior destaque neste crescimento, sendo o estado de Pernambuco uma produção de 86,2 mil toneladas, já o Rio Grande do Norte uma produção de 58,1 mil toneladas apresentado 39,1% do todo , como apresentado na Figura 03.

Figura 04 – Estimativas da produção de banana, segundo os principais estados produtores e sua variação mensal.

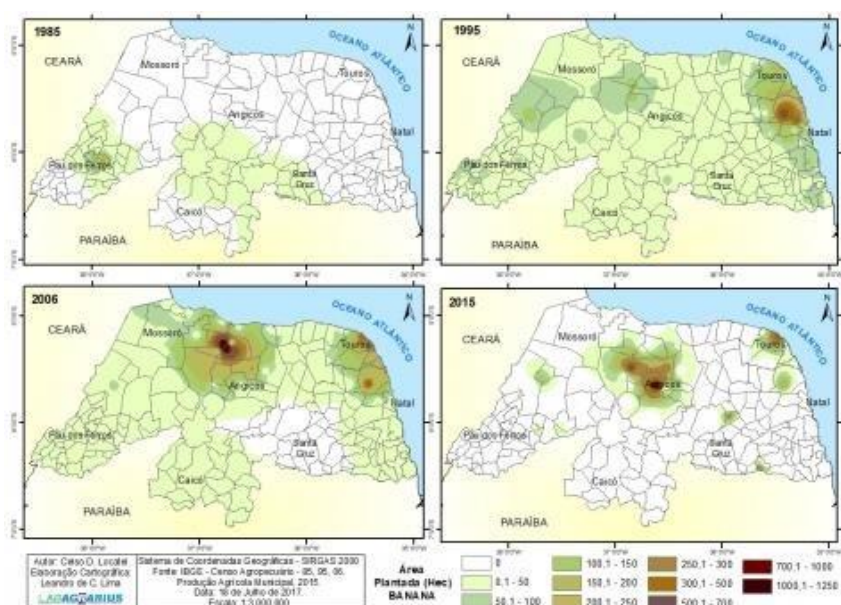


Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – março de 2018

No estado do Rio Grande do Norte, segundo Paiva (2010) destaque na produção ocorre no perímetro irrigado do Baixo Açu que representa aproximadamente 800 hectares, representando 56% no estado.

Em 2006 apresentou uma cultivo de 3.325 hectares na produtividade de banana e em 2016 houve um aumento de 63% na produção percorrendo uma área de 5.421 hectares tendo o estado como uma caracterização importante para o aspecto de produção de bananas no Brasil, como pode ser observado na Figura 04 com dados do IBGE sobre os locais que apresentam maior produção ao longo do tempo no estado do Rio Grande do Norte.

Figura 05 – Rio Grande do Norte: área plantada com banana – 1985 a 2015

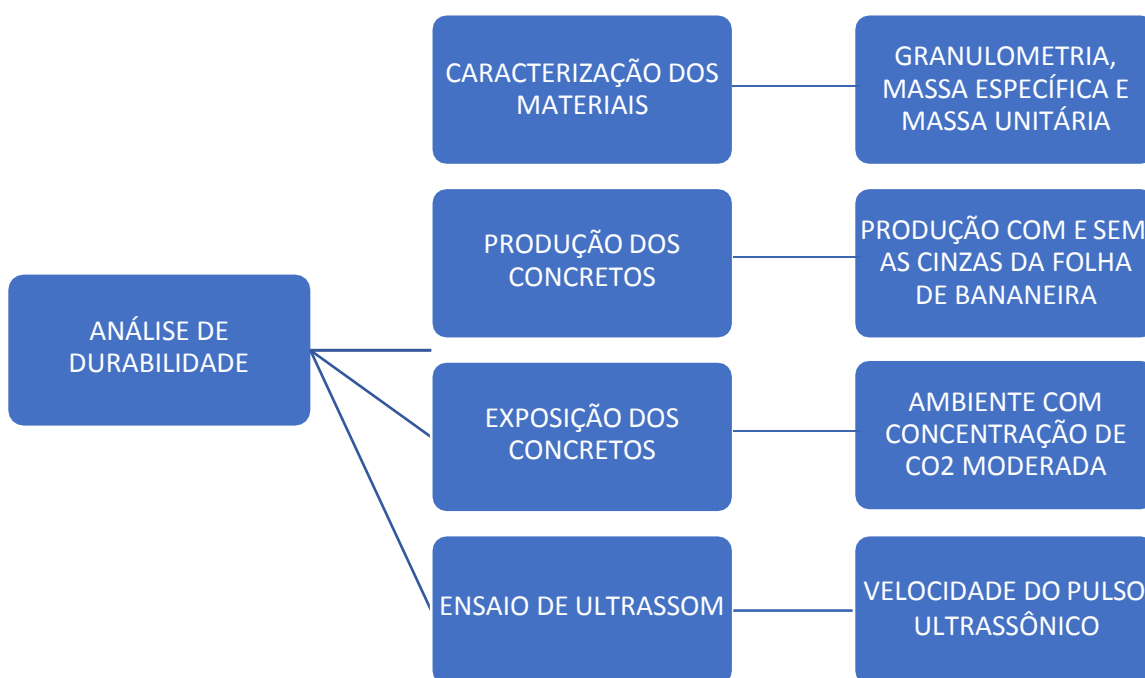


Fonte - IBGE, 1985, 1995, 2006, 2015.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa aplicada houve estudo bibliográfico acerca da durabilidade dos concretos e seus componentes no qual pode descrever o processo de caracterização dos materiais empregados para o desenvolvimento dos mesmos, sendo assim, estes foram: cimento, cinzas da folha de bananeira, agregado graúdo e agregado miúdo. Com isso, foi desenvolvido um programa experimental para a análise da durabilidade em concretos, em que se subdivide em 4 partes com suas devidas especificações como esquematizada na Figura 06.

Figura 06 - Fluxograma da pesquisa.

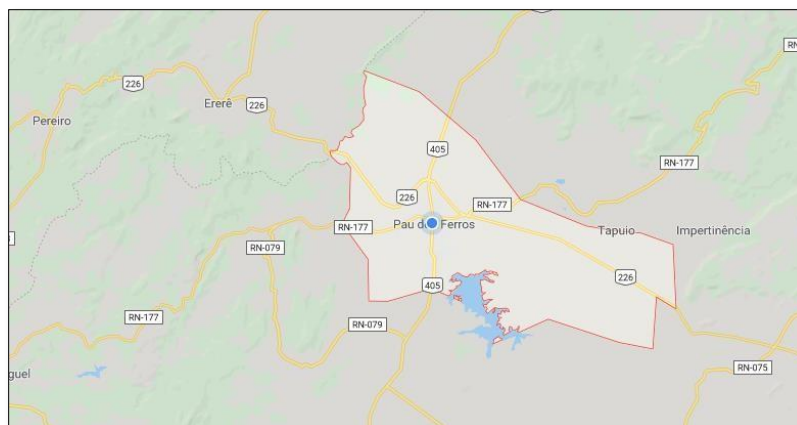


Fonte: Autor (2019)

3.1 LOCAL DA PESQUISA

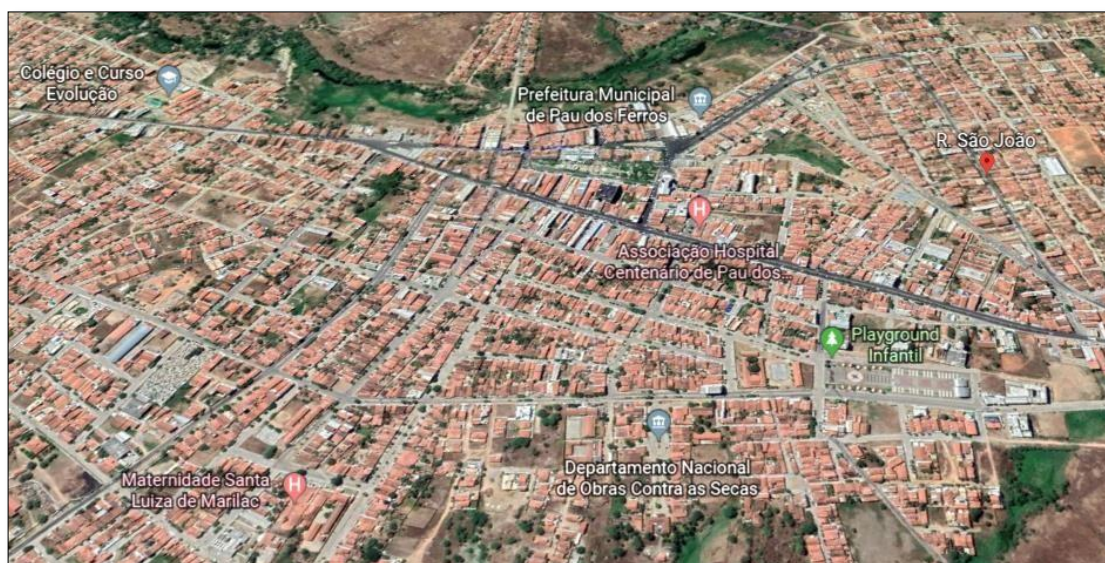
A confecção dos corpos de prova de concreto foram desenvolvidos no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, no que se refere aos aspectos de durabilidade com especificação na carbonatação do concreto ocorreu também neste laboratório, os corpos de prova para este ensaio foram expostos a ambientes de moderada concentração de CO₂ localizado na rua São João, como visto na Figura 07 na cidade de Pau dos Ferros – RN ver mapa na Figura 08. No que se refere ao ensaio de ultrassom realizou-se no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA na cidade de Mossoró.

Figura 07 – Mapa da cidade de Pau dos Ferros



Fonte: Google Maps (2019)

Figura 08– Localização do ensaio de carbonatação



Fonte: Google Earth (2019)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 AGREGADOS

Para o desenvolvimento dos corpos de prova do concreto foi necessário realizar a caracterização dos agregados miúdos, para tal foi utilizado areia natural oriunda de uma jazida na cidade de Pau dos Ferros e as análises desta foi através da granulometria, massa unitária e massa específica o mesmo ocorreu no agregado graúdo obtido em uma pedreira da mesma

cidade. A análise em se tratando da granulometria foi dado pela norma NBR NM 248/2003 no qual tem como objetivo determinar a composição da granulometria dos agregados miúdos avaliando a quantidade de material retido e acumulado nas peneiras.

Para a massa unitária a NBR NM 45/2006 que tem em seu objetivo determinar a massa unitária do material em seu estado solto com isso avalia o volume do recipiente e a quantidade do agregado. Para caracterizar a massa específica deste foi dado pela norma NBR 9776/1987 que apresenta a massa específica através do frasco de Chapman em que no recipiente aplica uma porção do agregado e preenche até um limite com água, observando a sua estabilização para avaliar a massa específica, visto na Figura 09

Em relação ao agregado graúdo foi utilizado o material no qual apresenta uma fração passante na peneira com abertura de 75 mm e que fica retida na peneira da abertura de 4,75 mm, assim para a caracterização da granulometria utilizou a NBR 7211/2005 no qual vai apresentar requisitos dos agregados graúdos na produção dos concretos de cimento Portland, sendo o agregado utilizado de origem natural. Para determinar a massa unitária do agregado foi determinado pela mesma maneira que o agregado miúdo descrito anteriormente.

A massa específica de agregados graúdos é determinada pela NBR NM 53/2003 que apresenta metodologias para determinar a massa específica dos agregados graúdos na condição saturada superfície seca, em que para este processo pesou o material seco e depois submerso a água e no fim avaliou o mesmo depois de seco e calculou a massa específica, observados nas Figuras 10 e 11.

Figura 09 - Ensaio Frasco de Chapman



Fonte: Autor (2019)

Figura 10 – Agregado seco



Fonte: Autor (2019)

Figura 11 - Agregado submerso



Fonte: Autor (2019)

3.2.2 CIMENTO

Para a confecção dos concretos utilizou o cimento Portland composto (CP II), que apresenta tipos de cimentos distintos no qual dependerá da sua composição, para o trabalho o CP II-F foi utilizado para o desenvolvimento dos concretos do estudo em questão, que possui de 6 a 10% de Fíler utilizado em ambientes agressivos (NBR 11578, ABNT 1991), este por sua vez foi determinado para a produção dos corpos de prova por ser isento de pozolana.

3.2.3 ADITIVOS

Aditivos são produtos aplicados aos concretos para modificar algumas características do mesmo, sendo o utilizado em questão o plastificante que de acordo com Gasparin (2017) apresenta a finalidade de melhorar a consistência dos concretos, com consequência o aumento da fluidez ou o processo de abatimento, no qual mantém a quantidade de água para o amassamento ou reduzem até 6% a quantidade de água e que podem derivar para outras características.

3.2.4 RESÍDUOS

As cinzas da folha de bananeira foram utilizadas como material pozolânico, no qual pudesse ser incorporado com o cimento, em que para obtenção foram realizadas uma primeira calcinação manual na Cerâmica São Francisco localizada na cidade de São Francisco do Oeste, alguns resíduos foram colocados na mufla do laboratório de química da UFRSA com objetivo de apresentar uma melhor qualidade das cinzas e a outra parte do material foi desenvolvido no laboratório da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Toda a matéria prima para a queima foi extraída na cidade de Apodi no Rio Grande do Norte. Dessa forma, para um melhor beneficiamento, foi peneirado na peneira de abertura 75 μ m (nº 200), sendo apenas o material passante como na Figura 12, este procedimento ocorreu com o intuito que o material em estudo apresentasse uma finura semelhante ao do cimento.

Figura 12 – Resíduo após a queima



Fonte: Autor (2018)

3.2.5 ÁGUA

A água é um componente essencial para o desenvolvimento do concreto, em que suas características influenciam de forma direta nas características dos mesmos, na qual deve ser utilizado a água com mais qualidade possível e para os corpos de prova utilizou a água da rede de abastecimento da UFRSA.

3.3 DOSAGEM DOS CONCRETOS

Para o processo de análise da utilização das cinzas da folha de bananeira em concretos, foi desenvolvido um traço pelo método ABCP, com os dados obtidos através da caracterização dos constituintes do concreto e para a confecção em massa deste, obteve um resultado de 1:1,89:2,45 de cimento, areia e brita respectivamente, contendo um teor de água no valor de 0,5, tendo este traço desenvolvido de acordo com as características obtidos através dos ensaios nos componentes do concreto. Desta forma, foi produzido concretos com teores diferentes no que se refere a utilização das cinzas da folha de bananeira, sendo dividido em T0% (neste não apresenta quantidade de cinzas), com isso este se caracteriza como o concreto convencional e o T5% e T10%, com substituição do cimento pela cinza em 5 e 10%, respectivamente.

Após o desenvolvimento do traço foi analisado a quantidade de corpos de provas necessários e a quantidade de materiais para o desenvolvimento, com isso, determinou um quantitativo de 1 corpo de prova para cada tempo de estudo sendo estes 30 dias e 60 dias após os 28 dias do mesmo confeccionado e um quantitativo de 3 para o estudo de ultrassom tendo desenvolvido 1 corpo de prova para reserva, sendo assim, cada teor apresentou 6 corpos de prova totalizando 18 corpos de prova com os diferentes teores em questão, como observado na Tabela 02.

Tabela 02 – Quantidade de corpos de prova

Aplicação	CPs 0%	CPs 5%	CPs 10%
Carbonatação 30 dias	1	1	1
Carbonatação 60 dias	1	1	1
Ensaio de Ultrassom	3	3	3
Reserva	1	1	1
Total	6	6	6
Volume total de concreto para os CPs (L)	9,48	9,48	9,48

Fonte: Autor (2019)

Para a observação do quantitativo de matérias utilizados nos corpos de prova pode ser analisado na Tabela 03 no qual apresenta o consumo dos componentes dos constituintes do concreto.

Tabela 03 – Consumo de materiais

Materiais	Consumo kg/m ³
Cimento	399,6
Areia	755,3
Brita	979,1
Água	199,8

Fonte: Autor (2019)

3.4 CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS DE MATERIAIS

Com o traço em questão e estimado a quantidade de concreto necessário para o ensaio, houve a determinação do quantitativo de materiais que seriam utilizados para cada teor de concreto, desenvolvendo corpos de prova com dimensões de 10x20 cm, tendo a utilização das cinzas da folha de bananeira.

Nesse sentido, para cada teor obteve um volume total de 9,48 L, por questões de estudo aplicou-se uma folga de 10% neste volume totalizando 10,33 L, dessa forma, determinou-se o quantitativo para serem confeccionados em cada corpo de prova para os teores em questão, assim apresentado na Tabela 04.

Tabela 04 – Quantitativo em kg de matérias para diferentes teores

Materiais	Teor de 0,0%	Teor de 5%	Teor de 10,0%	total (Kg)
Cimento	4,13	3,93	3,72	11,78
Areia	7,80	7,80	7,80	23,40
Brita	10,12	10,12	10,12	30,36
Água	2,06	2,06	2,06	6,18
Cinzas	0,00	0,202	0,410	0,61

Fonte: Autor (2019)

3.5 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS DE CONCRETO

Para o processo de mistura dos componentes do concreto foi realizado utilizando uma betoneira, inicialmente ocorreu o umedecimento desta para ser adicionado os materiais como apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Materiais para a confecção do concreto



Fonte: Autor (2018)

No processo de mistura os materiais foram aplicados de forma correta seguindo os passos da produção, após a mistura o material homogêneo foi levado para serem moldados em recipientes como observado na Figura 14, sendo que a mistura aconteceu em uma obra dentro da universidade.

Figura 14 – Corpos de prova nos moldes



Fonte: Autor (2018)

Com os moldes prontos, estes ficaram no laboratório da UFERSA por 24 horas para serem desmoldados, após o tempo necessário houve o desmolde e levados para realizar o corte no corpo de prova nos concretos utilizados para o ensaio de profundidade de carbonatação. Em seguida ao corte foi deixado no local para exposição ao meio ambiente durante o tempo de análises.

3.6 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

Para o ensaio de carbonatação do concreto utilizou os corpos de prova desmoldado no qual foram divididos ao meio para serem expostos ao processo de carbonatação na rua São João localizado na cidade de Pau dos Ferros – RN, em que os mesmos foram expostos a um ambiente da zona urbana com um teor de CO₂ de agressividade com características moderadas, nas idade de 30 dias e 60 após 28 dias de cura ao ar.

Existem ensaios como apresentado por Salomão (2008) com o processo da aceleração da carbonatação no qual utiliza uma câmara de carbonatação, para que em seguida o mesmo fosse exposto ao ambiente para os dias necessários em estudo, mas, esse ataque inicial por carbonatação ocorreu de forma natural, sendo que após o desmolde os corpos de prova do ensaio de carbonatação foram levados para a exposição num processo de cura ao ar, para então serem analisados pelos dias citados.

Para a análise foi utilizado um corpo de prova de cada teor de cinzas distinto, estando estes divididos ao meio através de uma serra em uma marmoraria no qual pode ser observado na Figura 15 para realizar o ensaio de carbonatação do concreto.

Figura 15 – Corte do corpo de prova



Fonte: Autor (2019)

Este ensaio ocorreu devido ao processo de aplicação de uma solução de fenolftaleína com uma concentração de 1%, no qual inicialmente houve o esmerilhamento da superfície do corpo de prova para que houvesse a aplicação da solução de maneira perpendicular do concreto como na Figura 16, com o intuito de analisar o comportamento do pH no concreto.

Dessa maneira, houve a análise da carbonatação no concreto e para a medição da profundidade foi utilizado um escalímetro, passados os 15 minutos da aplicação da fenolftaleína, realizando 4 medições ao redor do corpo de prova para avaliar a profundidade de carbonatação em concretos utilizando as cinzas da folha de bananeira e sem este resíduo.

Figura 16– Aplicação da Fenolftaleína no concreto.



Fonte: Autor (2019)

3.7 ENSAIO DE ULTRASSOM

Este ensaio consiste em avaliar o concreto em seu estado endurecido no qual determinara a velocidade de propagação da onda ultrassônica de acordo com a NBR 8802/2019, para este ensaio utiliza o aparelho de ultrassom que possui dois eletrodos um gerador de transmissão das ondas e outro ponto no qual recebe as ondas transmitidas em uma frequência no concreto analisado.

Neste estudo aplica um gel no gerador e transmissor das ondas para que possa entrar em contato com o corpo de prova e realizar a análise, no ensaio em questão o método aplicado foi o direto, no qual consiste em colocar os eletrodos em pontos extremos do concreto, visto que a distância entre eles e o tempo decorrido para sair do gerador ao receptor, são fatores importante para determinar a velocidade de propagação da onda, visto pela formula que se encontra na norma.

$$V = \frac{L}{T}$$

Onde:

V – Representa a velocidade em m/s;

L – A distância entre os pontos em metros;

T - O tempo de propagação das ondas em segundos.

Neste ensaio determinou-se a velocidade das ondas para os concretos nos teores de 0%, 5% e 10% decorrido os 60 dias da produção, com os valores obtidos analisa a qualidade do concreto e possíveis falhas.

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

4.1.1 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

No ensaio para a determinação da massa específica do agregado miúdo que se deu através do frasco de Champan, obtendo um valor de $2,564 \text{ kg/dm}^3$, que de acordo com Silva (2015) é considerado um valor aceitável para o desenvolvimento de concretos.

Para determinar a massa unitária realizou um procedimento conforme a NBR NM 45/2006, obtendo uma massa unitária no valor de $1,639 \text{ g/cm}^3$, que de acordo com Júnior (2013) o resultado obtido é aceitável para a utilização dos concretos mesmo com um valor obtido menor do que o ideal para tal, sendo este valor de $1,4 \text{ g/cm}^3$

4.1.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O estudo sobre a granulometria se deu através da NBR NM 248/2003, no qual determinou as características granulométricas do agregado miúdo como o módulo de finura e as dimensões a respeito do mesmo, estes fatores podem ser analisados na Tabela 05.

Tabela 05 – Granulometria do agregado miúdo.

AREIA			
Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% acumulada
4,8	14,22	2,85	2,85
2,36	22,94	4,59	7,44
1,18	72,92	14,60	22,05
600	111,78	22,39	44,44
300 μm	141,30	28,30	72,74
150 μm	116,25	23,28	96,02
Fundo	19,86	3,98	100
TOTAL	499,27	100	-

Fonte: Autor (2019)

De acordo com a granulometria o agregado apresenta um módulo de finura de 2,46 com diâmetro máximo de 4,8 mm, que de acordo com segundo Andolfato (2002) o mesmo se classifica como uma areia média e pela NBR 7211/2005 este é considerado aceitável para a produção de concretos, visto que o seu valor é menor que o limite para a finura de 2,90.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

4.2.1 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

Para a determinação da massa específica e massa unitária do agregado graúdo recorreu as normas NBR NM 53/2003 e NBR NM 45/2006 respectivamente, em que utilizou 3000 gramas do agregado e foi realizado uma pesagem com o mesmo submerso em água, obtendo um resultado de 1862,5 g. Com isso retirou o material da água e houve uma leve secagem do mesmo para que fosse pesado novamente, tendo um valor de 3005,8 g, com isso, obteve uma massa específica de $2,64\text{g/cm}^3$.

No caso da massa unitária apresentou um resultado no valor de $\delta = 1,394\text{g/cm}^3$. Com os valores obtidos acerca dos resultados quanto a caracterização do agregado graúdo para a utilização em concretos, os valores estão entre o limite aceitável como apresentado por Júnior (2013), sendo que para a massa específica o ideal é $2,7\text{g/cm}^3$ e $1,5\text{g/cm}^3$ para os dados em relação a massa unitária.

4.2.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

No que se refere a sua granulometria a Tabela 06 apresenta os resultados para tal fator. E de acordo com as observações realizada no material os mesmos apresentava uma dimensão entre 09 a 19 mm, podendo ser classificados como brita 01 que é o ideal para concretos conforme apresentou Adolfo (2002) em sua literatura.

Tabela 06 – Granulometria da brita

BRITA			
Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% acumulada
19	148	2,96	2,96
9,5	3849,4	77,01	79,97
6,3	787,9	15,76	95,73
4,75	123,2	2,46	98,19
Fundo	34,3	0,68	100
FUNDO	4998,2	100	

Fonte: Autor (2019)

4.3 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO

A verificação da profundidade de carbonatação nos concretos ocorreu com a aplicação da fenolftaleína para avaliar o comportamento da penetração de CO₂ nos mesmos, com a aplicação das cinzas da folha de bananeira nas idades de 30 e 60 dias, com isso, observava-se na Tabela 07 as penetrações de carbonatação nos diferentes teores de cinzas para a idade de 30 dias, em que foi realizado 4 leituras em cada corpo de prova.

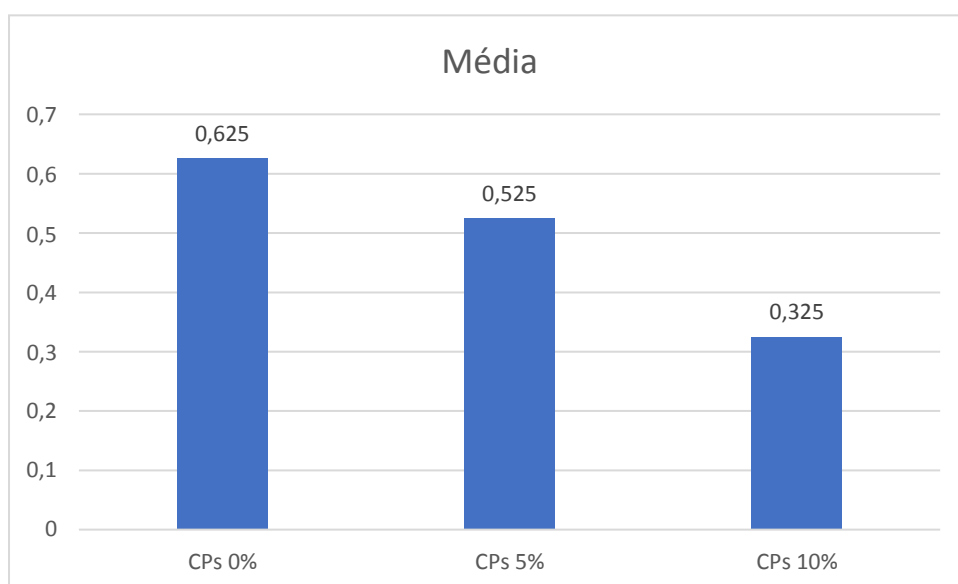
Tabela 07– Carbonatação na idade de 30 dias

	CPs 0%	CPs 5%	CPs 10%
Profundidade de	0,8	0,5	0,3
carbonatação 30 dias	0,5	0,4	0,3
(cm)	0,6	0,7	0,3
	0,6	0,5	0,4
Média	0,625	0,525	0,325

Fonte: Autor (2019)

Na Figura 17, pode-se observar uma redução quanto a carbonatação dos concretos com a adição maior de cinzas da folha de bananeira.

Figura 17 – Escala da carbonatação em 30 dias



Fonte: Autor (2019)

Nestes resultados, tem-se que na idade de 30 dias a profundidade de carbonatação para o teor de 0% foi de 0,625 cm apresentando uma variação de 16% em relação ao T5% que apresentou 0,525 cm, o corpo de prova com o teor de 10% a profundidade foi de 0,325 cm que comparando com o teor base de 0% houve uma diminuição de 48% de profundidade de

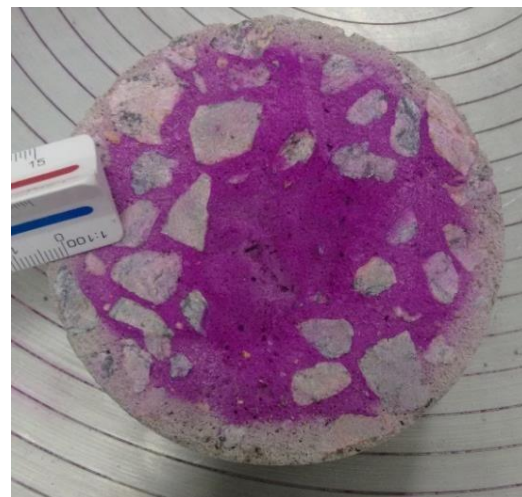
carbonatação, como mostrado em Figura 18,19 e 20. Na idade de 30 dias o aumento na quantidade de cinzas que foram incorporadas aos concretos, permitiu que houvesse uma redução na profundidade de carbonatação em valores próximos a metade do resultado obtido nos concretos de referência.

Figura 18- Carbonatação do T0%



Fonte: Autor (2019)

Figura 19 - Carbonatação do T5%



Fonte: Autor (2019)

Figura 20 - Carbonatação no T10%



Fonte: Autor (2019)

No que se refere aos ensaios para a idade de 60 dias houve uma carbonatação maior no teor base que não possui cinzas da folha de bananeira, obtendo uma variação de 5,71% da profundidade de carbonatação maior que o teor no qual leva 5% das cinzas aplicadas aos concretos. Para o teor de 10% houve uma grande diminuição na carbonatação do concreto visto

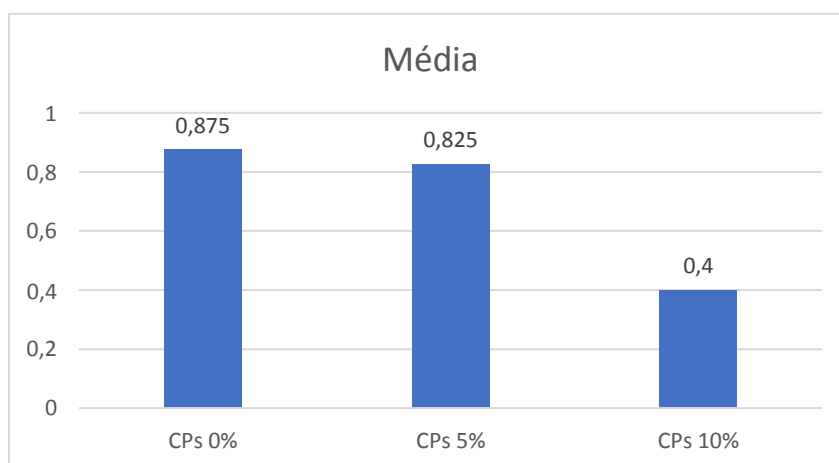
que este apresentou 0,475 cm menor que o teor base representando uma redução de 54,29%. Na Figura 21, observa-se o desenvolvimento do processo nos diferentes teores de incorporação.

Tabela 08 – Carbonatação na idade de 60 dias

	CPs 0%	CPs 5%	CPs 10%
Profundidade de	1	0,9	0,4
carbonatação 30 dias	1	0,7	0,4
(cm)	0,8	0,7	0,3
	0,7	1	0,5
Média	0,875	0,825	0,4

Fonte: Autor (2019)

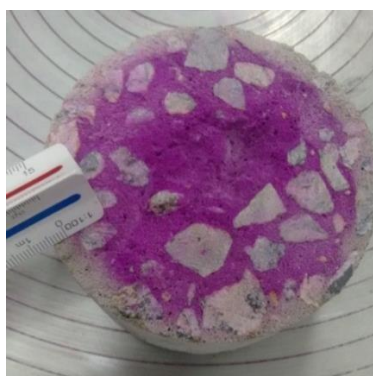
Figura 21 - Carbonatação dos concretos em 60 dias.



Fonte: Autor (2019)

Nas Figuras 22, 23 e 24 pode ser notado o processo de diminuição da carbonatação nos corpos de prova

Figura 22 - Carbonatação T05% em 60 dias



Fonte: Autor (2019)

Figura 23 - Carbonatação T0% em 60 dias



Fonte: Autor (2019)

Figura 24 - Carbonatação T10% 60 dias



Fonte: Autor (2019)

Kanning (2010), (2013); Kanning et al. (2014) desenvolveu estudos acerca das características pozolânicas em cinzas da folha de bananeira, com isso, obteve resultados satisfatórios acerca do resíduo embasado nas normas NBR 5751/92 e NBR 5752/92. Este apresentou uma melhora no estudo em questão quanto ao processo de durabilidade tendo as cinzas da folha de bananeira como potencial pozolânico nos processos construtivos.

Corroborando com os resultados obtidos no aspecto de carbonatação de concretos como mostrado nas tabelas anteriores, obtendo uma diminuição da carbonatação com o aumento das cinzas nos corpos de prova, sendo os resultados para a idade de 60 dias significativos no processo de estudo, visto que a última idade em análise apresentou uma redução em valores maiores que a metade em relação ao teor 0%, sendo este o teor de base para a pesquisa.

4. 4 ENSAIO DE ULTRASSOM

O ensaio de ultrassom desenvolvido tem como seu objetivo uma avaliação da qualidade do concreto, apresentado a possibilidade de mostrar a eficiência quanto a incorporação das cinzas da folha de bananeira como também o seu adensamento, visto que se apresentar alguma falha interna pode ser avaliada segundo os resultados do ensaio como apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Ensaio de Ultrassom



Fonte: Autor (2019)

Neste utilizou-se de 3 corpos de prova nos diferentes teores de incorporação das cinzas, no qual foi possível analisar o tempo de propagação da onda ao longo dos 20 centímetros do corpo cilíndrico do concreto, na Tabela 09 é possível observar os valores de tempo e uma média quanto ao tempo que a onda percorreu o concreto.

Tabela 09 – Tempo em milissegundos da propagação de onda.

	CPs 0%	CPs 5%	CPs 10%
Tempo de	48,6	48	47,3
propagação de onda	49,4	49	48,4
(milissegundos)	54	50,7	47,5
Média	50,67	49,23	47,73

Fonte: Autor (2019)

Com os dados obtidos aplicou-se estes valores na equação da velocidade que se encontra no item 3.7 deste trabalho retirada da NBR 8802/2019, no qual obtém o resultado quanto a propagação da onda através do cilindro de concreto vistos na Tabela 10. Comparado estes resultados com a Tabela 01 do item 2.12, apresenta as características de qualidade do concreto quando a sua velocidade de propagação de onda, percebe-se que com o aumento do teor de cinzas as características tendem a ter um resultado ótimo, e tem-se então que quanto menor o tempo de propagação de onda melhores características estão relacionadas com o concreto.

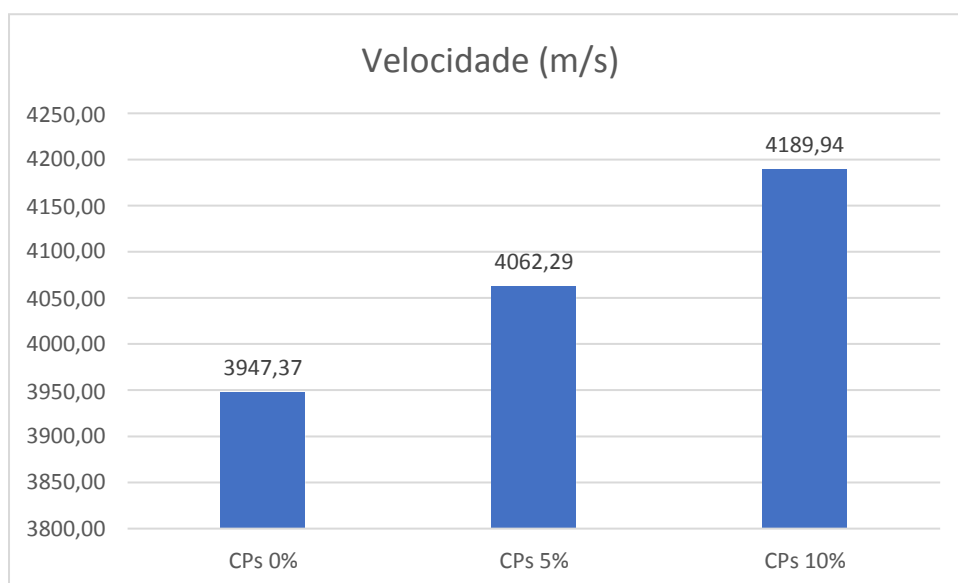
Tabela 10 – Velocidade de propagação de ondas.

	CPs 0%	CPs 5%	CPs 10%
Velocidade (m/s)	3947,37	4062,29	4189,94

Fonte: Autor (2019)

Na Figura 26, analisa-se um aumento de velocidade da onda nos diferentes teores de incorporação das cinzas no concreto, mostrando uma eficiência em sua aplicação, sendo o concreto com teor de 10% com o melhor resultado quanto a propagação de onda no corpo de prova, este apresenta uma velocidade 6,14% maior que o concreto referência que não possui cinzas em sua composição.

Figura 26 – Velocidade de propagação de onda



Fonte: Autor (2019)

Com isso Reginato et al (2017), mostram que o método aplicado do ultrassom pode ser utilizado para detectar as falhas no qual se encontra no interior do concreto, como também avaliar a deterioração do mesmo em relação ao ambiente mais agressivo.

5 CONCLUSÃO

O trabalho em desenvolvido foi motivado por estudos acerca dos problemas causados devido as manifestações patológicas nas construções, com o intuito de pesquisas novos materiais para serem utilizados como uma possível alternativa, sendo assim, com os estudos realizados e os dados obtidos durante a pesquisa observa-se que o ataque por carbonatação dos concretos possui características devido a concentração de CO₂ no ambiente como também a forma no qual foi desenvolvido os concretos.

Dentre o estudo realizado o teor com 10% de cinzas apresentou a menor profundidade de carbonatação, no qual obteve uma profundidade de 0,4 centímetros, comparado com o concreto referência que não apresentava cinzas em sua composição e obteve uma profundidade de 0,875cm apresentando uma redução de 0,475cm centímetros aproximadamente 54,3% de redução na carbonatação dos concretos.

Corroborando com este resultado da carbonatação, o ensaio de ultrassom para o teor de 10%, apresentou uma velocidade 4189,84 m/s resultando na eficiência da incorporação das cinzas visto que para o teor base, em que não se tem resíduos no seu processo obteve uma velocidade de 3947,37 m/s ocasionando um aumento de 6,14%, que já é considerado um bom resultado, mas, à medida que adiciona o resíduo torna-se melhor.

Sendo assim, as cinzas da folha de bananeira tornam-se um fator de grande valia no processo de melhoramento de técnicas construtivas para o aspecto de durabilidade, trazendo alternativas quanto ao desempenho do mesmo. A incorporação das cinzas da folha de bananeira em concretos é benéfica para estes, obtendo o T10% como o melhor resultado quanto a durabilidade.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se desenvolver novos estudos com o aumento do teor do resíduo estudado e novos parâmetros quanto ao fator de durabilidade, como no caso dos ataques por sulfatos, lixiviação dentre outros. Neste sentido, estudos acerca da incorporação das cinzas em argamassas torna-se um fator a ser considerado para trabalhos futuros.

REFÊRENCIAS

ALMEIDA, L, C de. Estruturas IV– Concreto armado, ago de 2012. 24 f. Notas de Aula Digitalizado.

ALOMÃO, Maria Cláudia de Freitas; SILVA, Turibio José da. Ensaio acelerado de carbonatação do concreto. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2008, Uberlândia. Anais. Uberlândia: Diretoria de Pesquisa, 2008. p. 1 - 10. Disponível em: <<https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/seg/cd2008/PDF/IC2008-0110.PDF>>. Acesso em: 17 fev. 2019.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTTE. Committee 201.2R. Guide to Durable Concrete. ACI Manual of Concrete Paatice, Detroit, 2001, 41p.
ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. Controle tecnológico básico do concreto. 2002. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_7351contbole_tecnolygi_co_bysico_do_concbeto_pdf.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aglomerantes de origem mineral – Terminologia: NBR 11172. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente: NBR 9776. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados para concreto - Especificação: NBR 7211. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland composto: NBR 11578. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto endurecido - Determinação da velocidade da propagação de onda ultrassônica: NBR 8802. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais pozolânicos – Determinação de atividades pozolânicas com a cal aos sete dias: NBR 5751. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland. Rio de Janeiro, 2014.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais pozolânicos: NBR 12653. Rio de Janeiro, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASTM International Standards. C 125 – 03: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. United States.

BARROS, Paulo. Traço de concreto: A importância do controle de água. 2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua/?doing_wp_cron=1550675631.3417220115661621093750>. Acesso em: 15 nov. 2018.

CADORE, W. W. Estudo da Carbonatação da Camada de Cobrimento Protótipos de Concreto com Altos Teores de Adições Minerais e Cal Hidratada. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Cap. 05. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/gepecon/diss/f7eaaa88beba924e8846bcba418edcfa.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

CHUSILP, N., JATURAPITAKKUL, C., KIATTIKOMOL, K. “Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete”, Construction and Building Materials, v. 23, pp. 3352-3358, 2009.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições Minerais para Concreto Estrutural. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. São Paulo: IBRACON, 2005.p. 345-378.

DALDEGAN, Eduardo. Principais ensaios não destrutivos para estruturas de concret. 2017. Disponível em: <<https://www.engenhariaconcreta.com/principais-ensaios-nao-destrutivos-para-estruturas-de-concreto/>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

FIGUEIREDO, E. J. P. Fatores determinantes da iniciação e propagação da Corrosão da Armadura do Concreto. São Paulo EPUSP-BT/PCC/121. (2005).

FONSECA, Gustavo Celso da. Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no brasil: uma abordagem epistêmica. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-8ALHAQ/disserta__o_mestrado_gustavo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 dez. 2018.

GASPARIN, Leonardo. Avaliação da influência do aditivo plastificante multifuncional redutor de água na resistência mecânica do concreto dosado pelo método abcp. 2019. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1642/1/2017LeonardoGasparin.PDF>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

GOMES, P. C. C.; ALENCAR, T. F. F. de; SILVA, N. V. da; MORAES, K. A. de M.; ANGULO, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 31-46, jul./set. 2015. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

GOMES, M. https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2017/10/23/internas_economia,635500/producao-brasileira-de-banana-atinge-r-14-bilhoes-por-ano.shtml. 2017. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2017/10/23/internas_economia,635500/producao-brasileira-de-banana-atinge-r-14-bilhoes-por-ano.shtml>. Acesso em: 20 out. 2018.

GUIMARÃES, A. T. C. Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marinhos. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

IBRACON. Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor G. C. ISAIA – vol.1 e vol. 2. São Paulo, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola: Estatística da produção agrícola. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?t=legislacao-relacionada>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

ISHIDA, T; MAEKAWA, K. Modeling of pH profile in pore water based on mass transport and chemical equilibrium theory. JSC, n.37, 2001. 16p. Disponível em: http://www.jsce.or.jp/publication/e/conc_lib.html Acesso em nov/2018.

JÚNIOR, J, de A, F. Materiais de Construção: Paraná: Apresentação, 2013. 110 slides, color. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031_Agregados_.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2019

JÚNIOR, S, F, S. MARQUES, P, V. Ensaios não destrutivos. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

KANNING, R. C. et al. Banana Leaves Ashes as Pozzolan For Concrete and Mortar of Portland Cement. Construction and Building Materials, n. 54, p. 460–465, 2014.

KANNING, R. C. Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento Portland. Curitiba, 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos et al. CONCRETO E SUAS INOVAÇÕES. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/viewFile/1285/755>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

MASSAZZA, F. Pozzolanic Ciments. Cement & Concrete Composites, v. 15, p. 185-214, 1993

MAURY, M.B.; BLUMENSCHIEIN, R.Q. Produção de Cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

MEDEIROS, M.H.F.D; ANDRADE, J.J.D.O; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ipsi. 2011. V.1. Cap. 16. P.773-808.

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

MEHTA, K. . Natural Pozzolans. In: Supplementary Cementing Materials for concrete. Ottawa: Canadian Government Publishing Center, 1987. (Vol 1; P. 1-33)

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais- 2ª Edição. Ed.: IBRACON. ISBN.:978-85-98576213. Português, 2014 p. 751

MONTANHEIRO, T. J., YAMAMOTO, J. K., KIHARA, Y. SANT´AGOSTINO, L. M., SAITO, M. M. Terras diatomáceas: uma pozolana natural na bacia do paraná, estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 23(2), 1-17, 2002.

MORAES, Mayara. Adições Minerais ao Concreto. Goiás: Físico, 2012. 22 slides, color. Disponível em:

<<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17310/material/08.%20Adi%C3%A7%C3%B5es%20Minerais%20para%20Concretos.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2018

NETTO, Rafael Mantuano. Materiais pozolânicos. 2006. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia_Materiais_Pozolanicos.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. Tecnologia do Concreto. 2 ed. São Paulo: BOOKMAN, 2013.

OLIVEIRA, A.N. Estudo da substituição parcial do cimento Portland por resíduos de cerâmica vermelha. 62f. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi- rido, Mossoró, 2012.

OLIVEIRA, D. F. Levantamento de causas de patologias na construção civil. 2013. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007893.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

OLIVEIRA, M. P. de, BARBOSA, N. P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.2, p.490–496, 2006.

PAIVA, Jotta. RN o maior produtor de banana. 2010. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/rn-o-maior-produtor-de-banana/165664>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

PUGLIESI, Nataly. Cimento: diferentes tipos e aplicações. 2018. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes_11959_0_1>. Acesso em: 21 fev. 2019

REGINATO, Lucas Alexandre et al. Avaliação de Pilares de Concreto Armado através de Ensaio de Pulso Ultrassônico. *Revista de Engenharia Civil IMED*, Passo Fundo, v. 4, n. 1, p. 32-47, ago. 2017. ISSN 2358-6508. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/1642>. Acesso em: 21 fev. 2019

SILVA, J. D. J. Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland. Natal, RN, 2015.

SALOMÃO, M.C. de F.; Silva, T. J. da (2008) Ensaio acelerado da carbonatação do concreto, Universidade Federal de Uberlândia.

SILVA, L, S, N. Avaliação de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da NBR 6118, quando submetidos a ensaio de penetração de cloretos. 2010. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2010/Leo_Silva_Avaliacao%20de%20Concretos%20Estruturais%20Submetidos%20a%20Ensaio%20de%20Penetracao%20de%20Cloretos.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SILVA, P. F. A.; DJANIKIAN, J. G. Durabilidade das Estruturas de Concreto aparente em atmosfera urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO. São Paulo, 1993.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1ª.ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009. 257 p

TEODORO, S, B. Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural. 2013. 65 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-AVALIAÇÃO-DO-USO-DA-AREIA-DE-BRITAGEM-NA-COMPOSIÇÃO-DO-.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2018.