



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JAMILLY FERREIRA DE AQUINO

**INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ADIÇÃO
MINERAL COM ATIVIDADE POZOLÂNICA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS – UMA
REVISÃO DA LITERATURA**

FORTALEZA

2021

JAMILLY FERREIRA DE AQUINO

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ADIÇÃO MINERAL COM
ATIVIDADE POZOLÂNICA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS – UMA REVISÃO DA
LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do centro universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Elayne Valério
Carvalho.

FORTALEZA

2021

JAMILLY FERREIRA DE AQUINO

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO ADIÇÃO MINERAL COM
ATIVIDADE POZOLÂNICA EM MATRIZES CIMENTÍCIA – UMA REVISÃO DA
LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do centro universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Elayne Valério
Carvalho.

provada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Mariana de Araújo Leite
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Me. Rafaela Fujita Lima
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ferreira de Aquino, Jamilly.
383i INCORPORAÇÃO DE CINZAS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO
ADIÇÃO MINERAL COM ATIVIDADE POZOLÂNICA EM MATRIZES
CIMENTÍCIAS - UMA REVISÃO DA LITERATURA /
Jamilly Ferreira de Aquino. - 2021.
58 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho.

1. Atividade pozolânica. 2. Resíduos. 3. Cinzas. 4. Concreto. 5.
Carbonatação. I. Título.

DD 624

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado saúde, disposição, força e fé. Sem ele, nada seria possível. Minha âncora, esperança e alicerce.

Aos meus pais, Flávia e Roberto, por todo amor e incentivo. Por acreditarem em mim e no meu potencial, e por todos os ensinamentos.

A todos os meus amigos que acompanharam meu crescimento acadêmico, e compartilharam comigo todo o meu percurso.

Obrigada ao meu namorado, André Luís, por toda paciência, estímulo e que compreendeu minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

Agradeço aos meus padrinhos, Ronaldo e Marília, meus tios, Gizelle, Diego, Danielle e Carlos Henrique, à minha Vó, Fátima, aos meus irmãos João Pedro, aos meus primos Marina, Matheus e Laís, por serem minha força e torcerem sempre pelo meu sucesso.

À minha orientadora Profa. Dra. Elayne Valério, pelo tempo que dedicou a me ajudar durante o processo de realização deste trabalho. Por toda ajuda e compreensão. Que esteve comigo desde o primeiro semestre, e que sabe o quão árduo foi a realização desse trabalho.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista dos seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser vitoriosa.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Estruturas de concreto armado podem apresentar diferentes problemas de durabilidade, pois se deterioram gradativamente por interação destrutiva físico-química com meio no qual elas estão inseridas. Ataque por cloretos e carbonatação são alguns exemplos de degradação química que podem reduzir significativamente a vida útil do concreto armado. Um método bastante utilizado para minimizar o avanço dessas patologias no concreto é a incorporação de adições minerais com atividade pozolânica no concreto e em argamassas, que permitem alterar as características do material resultante de forma a modificar suas propriedades de resistência à compressão e à tração, a permeabilidade, a resistividade, dentre outras, dependendo da proporção acrescentada ao traço. Dessa maneira, o uso de resíduos ou subprodutos da indústria, que pode melhorar as características do concreto, tem atraído o interesse de pesquisadores nas últimas décadas, que buscam avaliar o potencial técnico, econômico e sustentável dessas adições. De certa forma, ainda não se conhece profundamente como ocorrem esses ataques químicos, devido aos seus diferentes processos. Devido a isso, não se sabe até onde o uso de resíduos pode ser benéfico quanto aos ataques químicos. A partir dos estudos mais recentes sobre adição de resíduos com atividade pozolânica, o presente artigo apresenta os resultados da pesquisa mais atual sobre diferentes materiais analisados e como a atividade pozolânica desses resíduos influenciou no combate aos ataques químicos. Esta revisão também aborda perspectivas de pesquisas futuras com a intenção de aprofundar o estudo da aplicação de diversos resíduos diferentes, assim como um melhor entendimento de como e quais outros parâmetros relacionam os ataques químicos e a estrutura físico-química do concreto.

Palavras-chave: Atividade pozolânica. Concreto. Carbonatação. Cloretos. Resíduos. Cinzas.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures can present different durability problems, as they gradually deteriorate through destructive physical-chemical interaction with the environment in which they are inserted. Chloride attack and carbonation are some examples of chemical attacks that can significantly reduce the service life of reinforced concrete. A widely used method to minimize the advancement of these pathologies in concrete is the addition of minerals with pozzolanic activity, which allow changing the characteristics of the resulting material in order to improve, or even worsen, the compressive and tensile strength, permeability, resistivity, among others, depending on the proportion added to the mix. Thus, the use of waste by-products from industry that can add to the characteristics of concrete has attracted the interest of researchers in recent decades, who seek to assess the technical, economic and sustainable potential of these additions. In a way, it is still not deeply known how these chemical attacks occur, due to their different processes. Because of this, it is not known to what extent the use of residues can be beneficial in terms of chemical attacks. Based on the most recent studies on the addition of residues with pozzolanic activity, this article presents the results of the most current research on different materials analyzed and how the pozzolanic activity of these residues influenced the fight against chemical attacks. This review also addresses future research perspectives with the intention of deepening the study of the application of different residues, as well as a better understanding of how and which other parameters relate chemical attacks and the physicochemical structure of concrete.

Keywords: Pozzolanic activity. Concrete. Carbonation. Chlorides. Waste. Ashes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da formação e hidratação do cimento Portland.....	17
Figura 2 – Representação esquemática das zonas existentes no concreto.....	18
Figura 3 – Esquema de ensaio de abatimento de tronco de cone modificado.	19
Figura 4 – Inter-relacionamento entre os conceitos de durabilidade e desempenho.	22
Figura 5 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.....	25
Figura 6 – Relação entre a resistência à compressão do concreto após exposição ao ar com umidade relativa de 65% e a profundidade de carbonatação por dois anos.	27
Figura 7 – Representação esquemática da corrosão na presença de cloretos: mecanismo de formação e propagação.	28
Figura 8 – Produção regional brasileira de coco verde em 2017	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental.	26
Quadro 2 – Estudos recentes sobre utilização de resíduos agrícolas como adições minerais em matrizes cimentícias.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRX	Difração de Raios-x
FTIR	Espectroscopia de Absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier
TG	Termogravimetria
FRX	Fluorescência de Raios-x
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
EDS	Espectroscopia por energia dispersiva
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
CEV	Cinza de Esterco de Vaca
FCC	Fibra da casca do coco
CEV	Cinza de Esterco de Vaca
CBFM	Cinza de Bagaço Finamente Moído
CCE	Compósitos Cimentícios de Engenharia
FAP	Fibras de Álcool Polivinílico
CCA	Cinza da Casca de Arroz
MS	Microsílica
CBCA	Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar
COP	Cinza do Óleo de Palma
ANC	Aditivos Nano-cimentícios
CV	Cinza volante

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivos	13
1.1.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	13
1.1.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	13
1.2	Estrutura.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Concreto	15
2.1.1	Composição e microestrutura	16
2.1.2	Propriedades	18
2.1.3	Durabilidade e permeabilidade do concreto.....	21
2.1.4	Patologias no concreto	22
2.1.4	<i>Carbonatação</i>	23
2.2	Adições minerais	30
2.3	<i>Resíduos agrícolas</i>	32
2.3.1	<i>Fibra da casca do coco</i>	32
2.3.2	<i>Casca de Arroz.....</i>	34
3	METODOLOGIA	35
3.1	Delineamento	35
3.2	Método de coleta de dados	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o elemento de construção mais empregado no mundo, podendo ser encontrado em praticamente todas as obras de construção civil. É constituído basicamente por uma mistura de cimento, agregados graúdos e miúdos, água, e algumas vezes, incorporados com aditivos, que conferem melhoria de suas propriedades (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Dessa forma, a composição do concreto se apresenta como um objeto de estudo bastante interessante para se compreender suas características e vida útil.

Nesse contexto, a redução do desempenho, bem como, a degradação precoce das edificações é um problema comum em todo mundo. Esta deterioração ocorre, sobretudo, devido ao envelhecimento prematuro das estruturas de concreto, decorrente da utilização de materiais de baixa qualidade, problemas de projeto, execução e ausência de manutenção. Essa diminuição da vida útil das estruturas influencia diretamente nos custos de manutenção e reparo delas. Cerca de 35% do volume de trabalho do setor da construção civil referente a sistemas estruturais em concreto armado e protendido, corresponde às atividades relacionadas à manutenção, reparo e restauração das estruturas (POSSAN; DEMOLINER, 2013). Para conferir maior durabilidade, o concreto deve ser adequadamente dosado, lançado e curado, evitando assim patologias que poderão surgir no futuro e que afetará sua resistência (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A durabilidade está ligada diretamente ao desempenho do material ao longo da vida útil da estrutura e sua capacidade de resistir ao ambiente em que está inserido. Diante disso, é muito importante compreender as diversas condições que podem diminuir sua longevidade (ALEXANDER; BEUSHAUSEN, 2019). Diversas obras de edificações e de infraestrutura em concreto armado são executadas em ambientes expostos a agentes agressivos e, por isso, estão mais susceptíveis a patologias.

O concreto possui uma microestrutura heterogênea e porosa. A elevada porosidade da pasta cimentícia reduz significativamente a resistência do concreto, devido à permeabilidade facilitada de agentes agressivos através dos poros. Assim, a baixa durabilidade (HILAL, 2014) e a diminuição da resistência de estruturas de concreto se deve principalmente pela difusão, que ocorre a longo prazo, de substâncias ambientais, como aerossol, dióxido de carbono (CO₂) e íons cloretos e

sulfatos (QIU, 2020). Há, assim, a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias, processos construtivos e materiais de construções alternativos capazes de reduzir a permeabilidade de estruturas de concreto.

Neste sentido, a utilização de subprodutos agrícolas na indústria como forma de adição ou substituição parcial de cimento no concreto têm despertado interesse de pesquisadores. Estudos recentes indicam que uso desses resíduos na composição do concreto pode aumentar consideravelmente sua vida útil, devido as suas características pozolânicas. Quando adicionados ao concreto, estes compostos modificam a sua microestrutura e propriedades. Por exemplo, a sílica presente em sua composição reage com a cal quando os materiais pozolânicos são incorporados ao concreto. Os produtos são formados da hidratação do cimento e de um novo hidrato de silicato de cálcio. Com isso, ocorre melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto (PRAVEENKUMAR; SANKARASUBRAMANIAN; SINDHU, 2020).

Além disso, a substituição parcial do cimento pelos rejeitos da agroindústria confere uma alternativa sustentável à cadeia produtiva da construção civil, que é uma das que mais consome recursos naturais, movimentando um conjunto complexo de atividades que causam impactos ambientais, muitas vezes irreversíveis, passando por mudanças de solo, áreas de sol e vegetação, até os reflexos no aumento no gasto de energia (APRIANTI *et al.*, 2015).

A falta de conhecimento acerca do desempenho de pulverizadas cinzas do resíduo da indústria do café como material cimentício complementar no concreto motivou o estudo da permeabilidade, características microestruturais do concreto com adições deste resíduo, enquanto nenhuma informação está disponível na literatura. Investigações exploratórias foram conduzidas para examinar o comportamento de outros compostos inovadores que apresentavam atividade Pozolânica. Portanto, para fornecer maior conhecimento na área de desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis, este trabalho tem como propósito elaborar uma revisão atualizada sobre estudos recentes da adição de cinza de resíduos da indústria produtos agrícolas. Para isso, apresentou-se uma visão geral da atividade pozolânica desses resíduos e/ou a incorporação dessas adições em matrizes cimentícias e fez-se uma revisão sistemática da literatura baseada em artigos de pesquisa, aplicando os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Fornecer uma revisão da literatura atualizada embasada em estudos recentes sobre a incorporação de cinza de resíduos agrícolas como adição mineral com atividade pozolânicas em matrizes cimentícias.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento amplo de artigos científicos com pesquisas relacionadas ao uso de cinza de resíduos como adições minerais em matrizes cimentícias em bases de dados indexadas dos últimos três anos;
- Categorizar as publicações selecionadas, mediante os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, de acordo com resíduos avaliados e métodos de caracterização desses materiais.
- Relacionar os dados secundários encontrados nos artigos selecionados, fornecendo um estudo comparativo dos fatores associados às propriedades dos resíduos, incluindo características do material, forma e métodos de tratamento, condições de queima e assim por diante.
- Apresentar uma discussão, em termos das vantagens e desvantagens, bem como fornecer conhecimentos específicos para pesquisas futuras relacionadas às adições pozolânicas.

1.2 Estrutura

Este trabalho está dividido em cinco seções principais. Nesta seção, apresentou-se a contextualização do tema, a problemática, a justificativa e o propósito do presente trabalho. Foram expostos também os objetivos específicos, que detalham, analisam e argumentam sobre o estudo.

Na segunda seção, é realizada uma abordagem teórica, em que são tratadas as temáticas pertinentes sobre o tema, como: composição do concreto e suas particularidades; as principais patologias no concreto, com foco na carbonatação;

características e propriedades dos resíduos agrícolas; e avaliação da atividade pozolânica de resíduos vegetais.

Na terceira seção, a metodologia aplicada na presente pesquisa é apresentada. Apresenta-se a tipologia da pesquisa, o método de seleção dos artigos científicos e análises dos dados secundários encontrados.

Na quarta seção, são apontados os dados secundários encontrados e, posteriormente, a discussão sobre o produto do estudo comparativos dos seus achados mais relevantes. Exibe os questionamentos adotados por todo o trabalho e, em seguida, demonstra as respostas encontradas, associada a interpretação dos dados. Ademais, explora a possível confirmação do trabalho e se os objetivos indicados foram atingidos.

Por fim, na quinta e última seção, são exibidas as considerações finais. Nesse sentido, são abordadas as dificuldades encontradas, pontos positivos e negativos do trabalho, sugestão de possíveis estudos futuros acerca do tema, bem como a conclusão dele.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Devido à redução considerável da vida útil de inúmeras construções, ligada a diversos fatores, surgiu a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias, processos construtivos e materiais de construções alternativos. Além disso, a busca por adição de materiais que podem agregar características físico-químicas do concreto também se apresenta como uma solução bastante utilizada na atualidade. Nesse sentido, destaca-se a incorporação de adições minerais no concreto. Essas incorporações têm um caráter sustentável, pois resíduos e subprodutos da indústria são reciclados, emissões de gases são reduzidas, energia é economizada e matérias primas são preservadas. Além disso, por interagirem química e fisicamente com elementos da pasta hidratada do cimento, as adições minerais modificam a microestrutura do material, melhorando suas características (SANTOS; CASTRO; GONÇALVES, 2018).

Um dos exemplos de adições minerais bastante utilizados são as incorporações de materiais pozolânicos, pois apresentam importantes propriedades que influenciam nas características do concreto. Reagem quimicamente com compostos alcalinos gerados no processo de hidratação do cimento, formando silicatos de cálcio hidratados. Dessa forma, quando aplicadas em proporções adequadas, as pozolanas são capazes de melhorar algumas propriedades da matriz cimentícia dos concretos e das argamassas (MITTRI *et al.*, 2018). Com isso, a busca por materiais que apresentam atividade pozolânica tem sido alvo de diversos estudos.

Para entender essa interação entre os componentes da pasta cimentícia e as adições minerais, bem como a influência desses processos nas propriedades do concreto, nesta seção são apresentadas informações teóricas, encontradas na literatura.

2.1 Concreto

O concreto é um material amplamente difundido na construção civil devido sua propriedade de resistência e durabilidade (PALLAPU; SATISH; REDDY, 2020). Nesse contexto, é considerado hoje o material mais consumido no mundo depois da água, atingindo uma produção de 1,5 bilhões de toneladas mensais, cerca 19 bilhões de toneladas métricas anualmente (HAJEK, 2017). Por essa razão, países vem

investindo cada vez mais em tecnologias inovadoras para a melhoria desse método construtivo, como forma de garantir qualidade, segurança e menor custo. Além disso, ao longo dos anos pesquisas extensas foram realizadas a fim de aprimorar os aspectos de sustentabilidade e resiliência dessa indústria (LIM *et al.*, 2018).

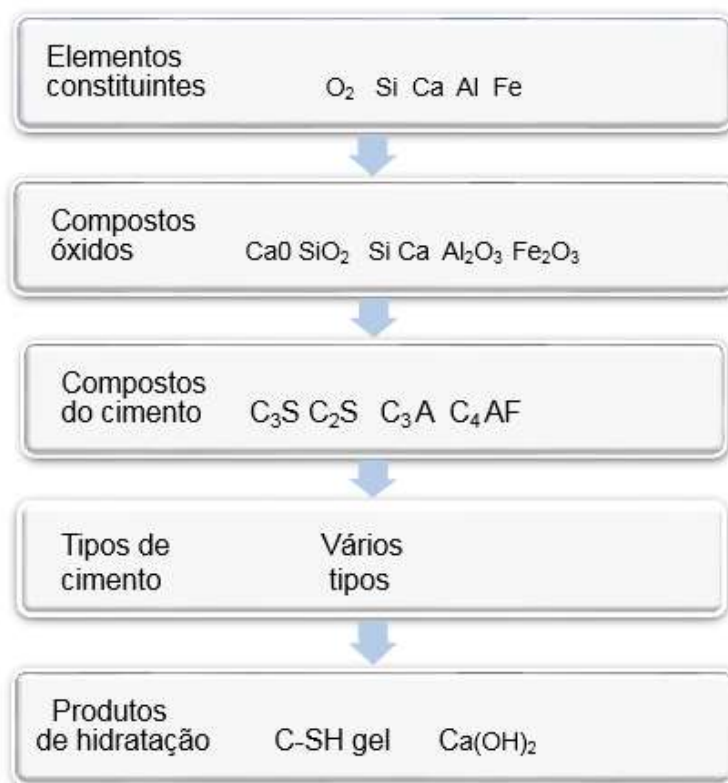
O baixo custo deste material também é considerado um importante fator para sua vasta utilização, em algumas regiões o valor do m³ chega a 60 ou 70 dólares. Este composto apresenta duas características que o diferenciam de outros materiais, e que podem justificar a sua elevada utilização em todo o mundo. A resistência a água, nos quais outros elementos como aço e madeira apresentam deterioração maior quando expostos à água comparados ao concreto, e o outro fator é a grande disponibilidade de seus elementos constituintes por um preço acessível (SALOMÃO; SANTOS; OLIVEIRA, 2019). Além disso, o concreto em comparação ao aço, não requer de manutenções em curto período, possui ganho de resistência com o envelhecimento e possui baixa condutividade térmica (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.1.1 Composição e microestrutura

O concreto consiste em materiais naturais e componentes sintéticos, e endurece por reação química, na presença de água em um ambiente natural (LIM *et al.*, 2018). O cimento é o principal componente do concreto. Seus principais constituintes são silicato tricálcico, $\text{Ca}_3 \cdot \text{SiO}_5$ (C₃S); silicato dicálcico, Ca_2SiO_4 (C₂S); aluminato tricálcico, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ (C₃A); e aluminoferrita de tetracálcio, $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ (CA₄AF), dos quais C₃S e C₂S constituem 60 a 70% e 20 a 30%, respectivamente. No qual, a hidratação do cimento envolve reações simultâneas da constituição do cimento (RAY *et al.*, 2018).

Conforme mostrado na figura, são variados os elementos presentes na formação e hidratação do cimento Portland.

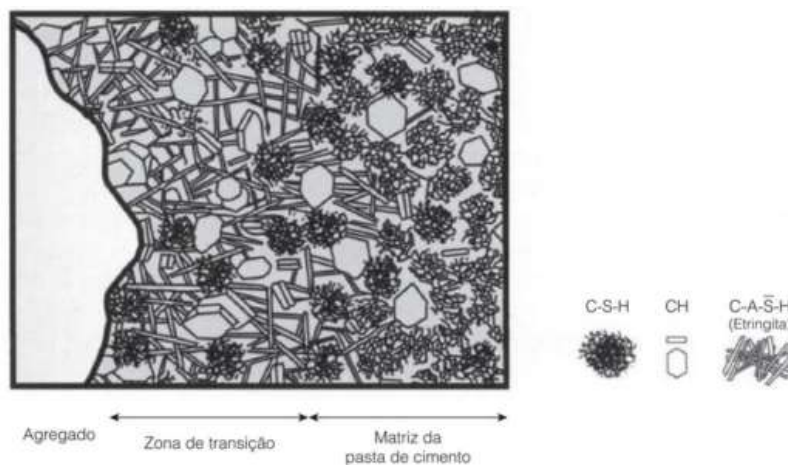
Figura 1 – Representação esquemática da formação e hidratação do cimento Portland.



Fonte: adaptado de NEVILLE; BROOKS (2013).

A composição do concreto resulta em uma microestrutura heterogênea composto por três componentes: a pasta de cimento, o agregado, gráudo e miúdo, e a zona de transição, que é considerada existir em torno de todos os agregados (WU *et al.*, 2020). Essa zona (Figura 1) fornece ao concreto uma região mais frágil, em razão da película de água adsorvida pelo agregado, que gera uma relação água/cimento na zona de transição mais elevada, e conseqüentemente, aumento da porosidade, em comparação à matriz. Além disso, essa película adsorvida contribui para a cristalização do hidróxido de cálcio e da etringita (LI; ZHAO; ZHANG, 2019).

Figura 2 – Representação esquemática das zonas existentes no concreto.



Fonte: Ribeiro (2018).

2.1.2 Propriedades

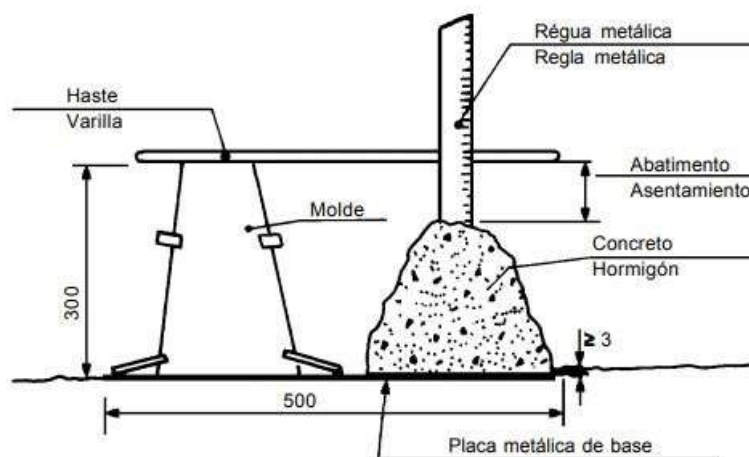
O concreto no estado fresco é caracterizado como o material que ainda possui capacidade de moldagem. É considerado fresco até o início da pega do aglomerante. Este processo se refere a mudança de estado da pasta, de fluido para rígido (NEVILLE, 2016). E a trabalhabilidade é considerado uma das principais características desta fase, pois determina a facilidade com a qual o concreto fresco pode ser manipulado, ou seja, misturado, lançado, adensado e acabado, com perda mínima de homogeneidade (POLESELLO *et al.*, 2013). Portanto, é necessário controle desta propriedade devido ao fato de sempre existir o risco da tentativa de melhoria das características de fluidez da pasta, aumentando-se a quantidade de água, como ocorre na correção do abatimento por adição de um maior volume de água. Podendo gerar prejuízos para o concreto em termos de comportamento mecânico e durabilidade (FIGUEIREDO; FILHO, 2017).

Com a trabalhabilidade adequada existe uma maior facilidade no manuseio, aplicação e regularização. Em contrapartida, quando não adequada, a pasta pode se apresentar muito seca, áspera ou excessivamente fluida, comprometendo sua aplicação. Além disso, pode apresentar segregação, exsudação excessiva ou baixa aderência (OLIVEIRA; DIAS; FRANÇA, 2018). Essa propriedade é composta de pelo menos dois elementos principais: fluidez, que descreve a facilidade de mobilidade do concreto fresco; e a coesão, que descreve a resistência à exsudação ou à segregação (BARBOSA *et al.*, 2013). Sendo os principais fatores que afetam essa característica do

concreto são a evaporação, hidratação, absorção e agitação. Sendo a perda de abatimento do concreto fresco um fenômeno normal e pode ser definida como sendo a perda de fluidez com o passar do tempo (POLESELLO *et al.*, 2013).

Para determinação da trabalhabilidade é utilizado o ensaio de abatimento do tronco do cone, ou *Slump test*, que mede a consistência e a fluidez do material. Este ensaio no Brasil, é regulamentado pela NBR NM 67 (1998) que apresenta o procedimento detalhado e os equipamentos do procedimento. O teste consiste basicamente na medição da perda de altura do composto alocado inicialmente no interior de um cilindro que, uma vez retirado, deixa o material fluir sobre uma superfície horizontal. Medindo-se, então, a diferença entre a altura inicial e a altura final da amostra, associando-a à tensão crítica do material ensaiado. O valor do abatimento é a medida do adensamento do concreto (BARBOSA *et.*, 2013). Nesse sentido, a Figura 2 apresenta a medida referente ao abatimento do concreto, de acordo com a NBR NM67 (1998).

Figura 3 – Esquema de ensaio de abatimento de tronco de cone modificado.



Fonte: NBR NM 67 (1998).

Já a plasticidade é a propriedade do concreto fresco que depende diretamente da consistência e do grau de coesão entre os componentes, e é definida pela facilidade com que o mesmo pode ser moldado sem se romper. Geralmente tem-se a possibilidade da utilização de aditivos químicos para conferir maior plasticidade e ótima aparência (LOPES, 2019). Quando não se tem coesão ocorre a segregação. Este fenômeno é caracterizado pela separação do agregado da pasta de cimento que pode ocorrer durante o transporte, lançamento, adensamento ou pela ação da

gravidade que provoca o assentamento dos grãos mais pesados no fundo das formas, ficando os demais espalhados pela pasta de cimento. Além de que não há nos componentes da mistura homogeneidade (LOPES, 2019).

Outra característica comum ao concreto, é a exsudação. Que ocorre principalmente pela falta de finos no composto, e forma uma camada porosa de concreto na superfície. Reduzindo, assim, sua resistência e durabilidade. Sendo a água o componente mais leve do concreto, há uma tendência de aflorar na superfície com a sedimentação das partículas sólidas. Com a ascensão da água unida a partículas finas para a superfície pode haver formação de nata, e conseqüentemente, criação de uma camada que não possibilita uma boa aderência. Esse fenômeno ocorre em todos os concretos, contudo, a água somente é observada na superfície quando a taxa de exsudação excede a taxa de evaporação (SILVA *et al.*, 2017). Ele proporciona, devido ao aumento da relação a/c na superfície, uma camada mais porosa e mais suscetível a ação do dióxido de carbono (CO₂), e outros agentes agressivos. Favorecendo dessa maneira a ocorrência da carbonatação e/ou outras patologias (CATUSSO *et al.*, 2015).

No estado endurecido, o concreto não apresenta mais a capacidade de moldagem. Neste estado as propriedades estão relacionadas com caracterizações físicas e mecânicas do material (PETERSEN; ALBERTINI; TUTIKIAN, 2020). Algumas características do concreto endurecido dependem sobretudo de suas características enquanto no estado fresco. E uma das principais propriedades mecânicas das estruturas de concreto são: resistência a compressão, resistência a tração e módulo de elasticidade (VIEIRA; MOLIN, 2011).

A resistência do concreto é considerada normalmente uma das propriedades mais importantes e demonstram geralmente a qualidade do mesmo, por estar diretamente ligada à estrutura da pasta de cimento (NEVILLE; BROOKS, 2013). Um dos principais fatores que moldam a resistência e propriedades de deformação do concreto é sua microestrutura e propriedades da zona de transição agregado-pasta de cimento (GORÁ; PIATA, 2020).

A resposta do concreto às tensões aplicadas depende além do tipo de tensão, de como a combinação de vários fatores afeta a porosidade dos componentes estruturais deste. Dessa forma, são variados os fatores que influenciam o resultado da resistência deste composto. Incluindo propriedades e proporções dos materiais que formam o traço, o grau de compactação e as condições de cura. Do ponto de vista da

resistência, a relação água/cimento e a porosidade são os fatores determinantes, pois independem de outros fatores, afetam a porosidade da matriz e da zona de transição entre a matriz e o agregado (FREGONEZI; WUTZOW; VANDERLEI, 2019).

2.1.3 Durabilidade e permeabilidade do concreto

Nos últimos anos observa-se uma grande dedicação por parte dos pesquisadores à estudos ligados à durabilidade do concreto, isso se deve à grande quantidade de danos prematuros nas estruturas. E como grande parte das estruturas estão sujeitas à agressividade ambiental, um concreto durável tem de apresentar a capacidade de suportar intempéries, ataques químicos, abrasão, e outros mecanismos de degradação durante a vida útil projetada (LIU *et al.*, 2020).

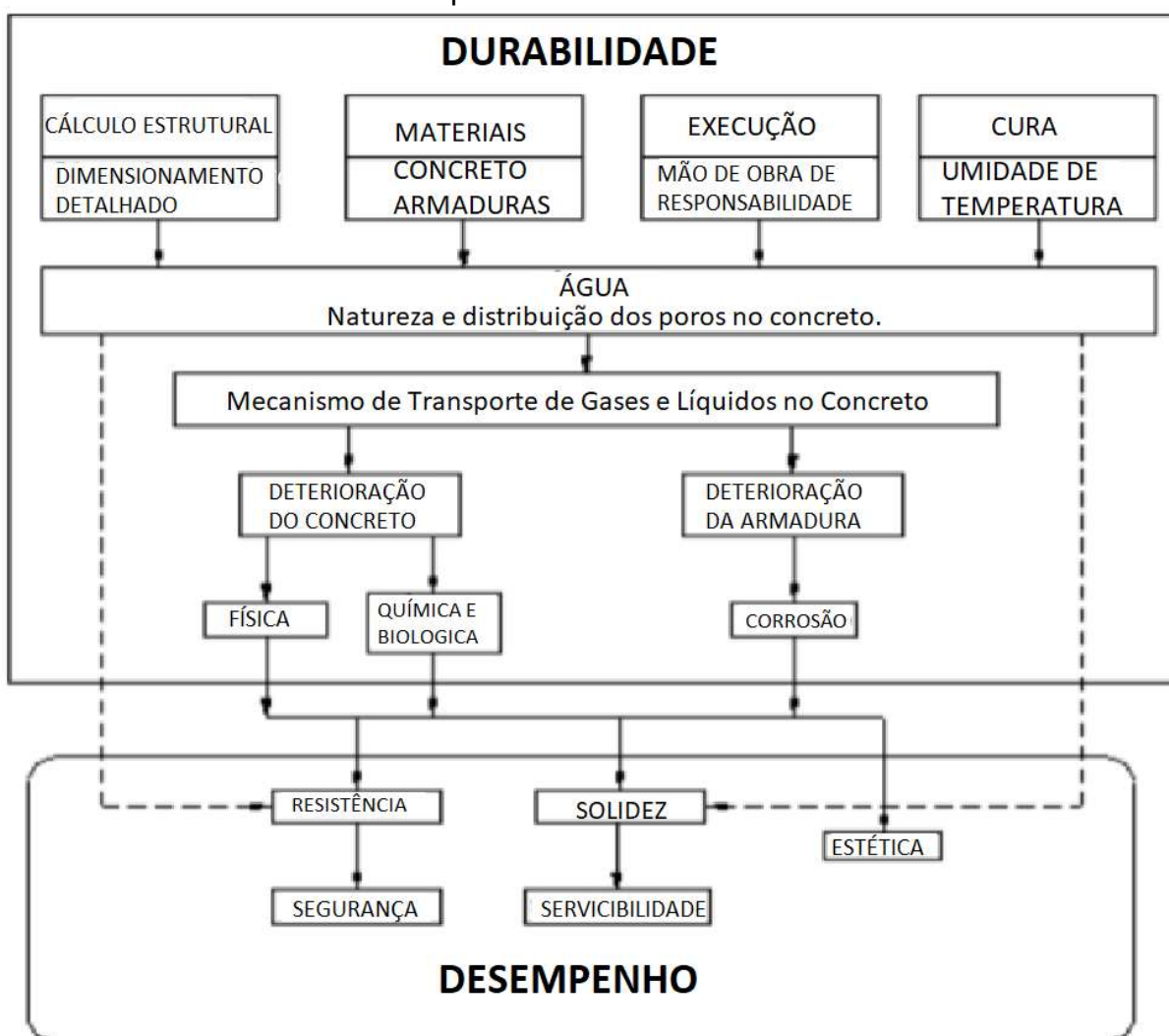
O concreto estável ou durável é aquele capaz de atender em condições ambientais, desta forma a ausência de durabilidade pode estar ligada a fatores internos ou ambientes que são impostos ao concreto (RENAZIA *et al.*, 2019). Esta propriedade das estruturas está associada a diferentes variáveis ligadas à fase de projeto, produção e caracterização dos materiais, preparação do concreto, execução da estrutura e manutenções preventiva e corretiva. Além disso, as propriedades de transporte do concreto são indicadores de manutenção e durabilidade de estruturas (TIBBETTS *et al.*; 2019). Portanto, durante a execução delas é importante o controle destas variáveis. Ademais, a longevidade das estruturas de concreto à longo prazo está fortemente relacionada à água e permeabilidade (LIU *et al.*, 2020).

A permeabilidade se tornou o principal índice de avaliação de concreto, pois está intimamente relacionada a durabilidade das estruturas. Além disso, a água também atua como principal transportadora do meio erosivo nos concretos, e sua velocidade de transmissão controla a deterioração do desempenho do concreto (LIU *et al.*, 2020). Alguns mecanismos de degradação das estruturas, dentre estes corrosão do aço de reforço, congelamento-degelo, ataque químico, reatividade de álcalis-silica e a carbonatação estão relacionadas ao nível de penetrabilidade e saturação do concreto (TIBBETTS *et al.*, 2019). Além disso, o autor afirma que a propriedade do concreto de resistir à penetração de substâncias depende da porosidade e das características dos poros da matriz (TIBBETTS *et al.*, 2019).

A combinação dos fatores ambientais como umidade, vento, chuva, temperatura, salinidade e agressividade química e/ou biológicas, introduzidas para a

massa de concreto reagindo com os compostos presentes nela, formam os principais elementos do processo de caracterização da durabilidade, sendo a água ou umidade como principal elemento de todo o processo. Assim, conforme apresentada na Figura 4, existe um inter-relacionamento entre os conceitos de durabilidade e desempenho (SILVA, 2019).

Figura 4 – Inter-relacionamento entre os conceitos de durabilidade e desempenho.



Fonte: Adaptado pela autora.

2.1.4 Patologias no concreto

Manifestações patológicas são condições que comprometem de forma significativa a qualidade e vida útil do concreto. Devido a esta condição a durabilidade das estruturas de concreto vem recebendo grande ênfase nas pesquisas acadêmicas

relacionadas à segurança e estabilidade das edificações, como forma de se minimizar os custos e potencializar a eficiência dos serviços de recuperação e reforço estrutural (OLIVEIRA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2017). Neste sentido, a patologia em relação ao concreto, significa o estudo das irregularidades associadas a deterioração das estruturas do concreto. Logo, a fim de evitar que surjam manifestações patológicas, é necessário avaliar detalhadamente as origens, para entender melhor o fenômeno e prestar assistência nas decisões de definição de conduta e planos de ações nas resoluções dos problemas (LOPES, 2019).

Mesmo com o desenvolvimento tecnológico e realização de experimentos que testam os possíveis parâmetros para a ocorrência deste fenômeno, ainda existe uma crescente ocorrência destas manifestações patológicas. O comprometimento das estruturas de concreto em razão de patologias tem causado prejuízos. Apenas nos Estados Unidos, no ano de 2016, quase 10% de suas pontes foram classificadas como estruturalmente deficientes. Além disso, foi feita uma estimativa de custo para reabilitação dessas obras de 123 bilhões de dólares, em que a maioria dos casos é consequência da carbonatação e do ataque de cloretos (MALHEIRO *et al.*, 2018).

2.1.4 Carbonatação

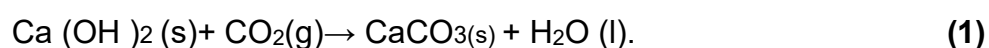
A carbonatação é um dos tópicos de pesquisa mais abordados na indústria de cimento e concreto devido ao fato de que dentre as manifestações patológicas de deterioração do concreto, esta patologia é uma das principais causas de degradação da estrutura e consequente redução da sua durabilidade. Este fenômeno é lento, e resulta das reações físico-química originadas da integração do dióxido de Carbono (CO_2) com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formando um composto chamado ácido carbônico (H_2CO_3). Esse elemento reage posteriormente com a pasta de cimento hidratada, resultando em carbonato de cálcio (CaCO_3) e água, dando origem à carbonatação (QIU, 2019).

A ocorrência da carbonatação do concreto manifesta-se inicialmente por depósitos brancos em sua superfície, e este processo tornam-se evidente quando surgem fissuras e deslocamento de recobrimento. A corrosão do aço induz a expansão da ferrugem no concreto, resultando em rachaduras em sua cobertura. Essa situação de craqueamento promove ainda mais a penetração de CO_2 e outros íons agressivos do ambiente, agravando a deterioração das estruturas de concreto armado

no campo de construção (QIU, 2019). Dessa maneira, é importante garantir a qualidade e desempenho do concreto de cobertura, pois é nessa região onde ocorre todo o processo de carbonatação.

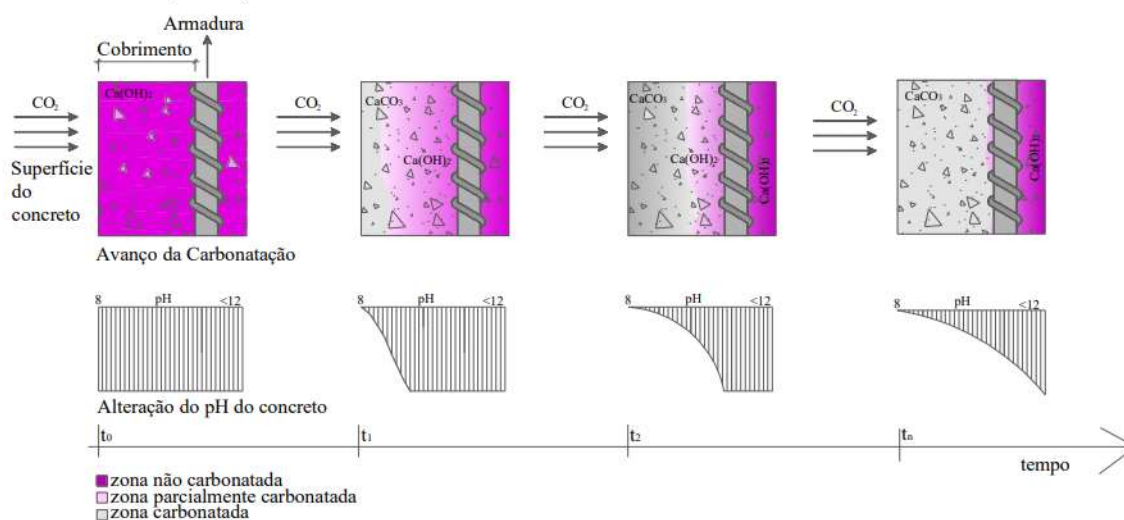
O processo de carbonatação de hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ geralmente resulta na diminuição da porosidade total de material devido à precipitação de CaCO_3 nas paredes dos poros (QIU, 2019). A microestrutura do concreto carbonatado é modificada, criando uma estrutura de rede relativamente densa com a redução da sua porosidade. Dado principalmente à formação de partículas de CaCO_3 depositadas ao redor da grande dos poros (CUI *et al.*, 2015).

Nesse sentido, essa manifestação patológica resulta na redução do pH do concreto, e deve ser evitado pois quando o concreto em contato com a barra de aço da armadura atingir pH de valores próximos a 9 ocorrerá a destruição da camada passivadora, podendo desencadear a corrosão da armadura e a diminuição de sua vida útil (CATUSSO *et al.*, 2015). Os íons Ca^{2+} são consumidos pelo processo de hidratação do cimento e pela dissolução do hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A solubilidade de hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é maior do que o Carbonato de cálcio CaCO_3 . Portanto, o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ será dissolvido, enquanto o CaCO_3 é formado até que o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ seja consumido (PETERSEN; ALBERTINI; TUTIKIAN, 2020). Dessa forma, a reação de carbonatação é resultante do hidróxido de cálcio liberado em contato com a atmosfera, gerando a reação química básica de carbonatação (Equação 1).



Esta patologia ocorre na superfície da estrutura do concreto e avança gradualmente para o seu interior, tal fenômeno é conhecido como frente de carbonatação (Figura 3). Esse avanço atua neutralizando a presença dos íons presentes nos hidróxidos alcalinos constituídos, resultando na diminuição do pH e conferindo característica ácida ao concreto. No avanço da frente de carbonatação podemos identificar três zonas diferentes: a primeira, mais próxima à superfície, carbonatada, a segunda parcialmente carbonatada, e a terceira não carbonatada, com o pH de aproximadamente 8,3, 10 e >12,5, respectivamente (POSSAN, 2010).

Figura 5 – Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.



Fonte: Possan, 2010.

Para que a carbonatação aconteça, existem três elementos essenciais para que ocorram esta patologia. São eles: umidade, gás carbônico e oxigênio. Os principais fatores que influenciam o processo de carbonatação são: tipos de ligantes, qualidade do material utilizado, estado de carregamento da estrutura, condição de cura, umidade relativa, temperatura, concentração de Dióxido de carbono (CO_2), e presença de outros íons agressivos (QIU, 2019). Dessa maneira, um dos principais fatores que influenciam a ocorrência de carbonatação do concreto é a concentração de Dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Estes agentes agressivos presentes no ambiente, penetram através da porosidade aberta do concreto de cobrimento (OLIVEIRA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2017). Em alguns lugares a concentração deste elemento é maior. Sua ação ocorre mesmo que em mínimas concentrações, como em ambientes rurais cujo teor de dióxido de carbono (CO_2) é cerca de 0,03%, em volume. Em cidades grandes, o valor médio é de 0,3%, e excepcionalmente, chega a 1% (NEVILLE, 2017).

No Quadro 1, identifica-se a classe de agressividade do ambiente, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2015).

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade e	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana (a,b)	Pequeno
III	Forte	Marinha (a)	Grande
		Industrial (a,b)	
IV	Muito forte	Industrial (a,c)	Elevado
		Respingo de maré	

(a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branca (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e área de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)

(b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branca (uma classe acima) em obras em regiões de chuva em ambientes de clima seco, com umidade média relativa de ar menor ou igual a 65%, partes de estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

(c) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústria química.

Fonte: (ABNT, 2014).

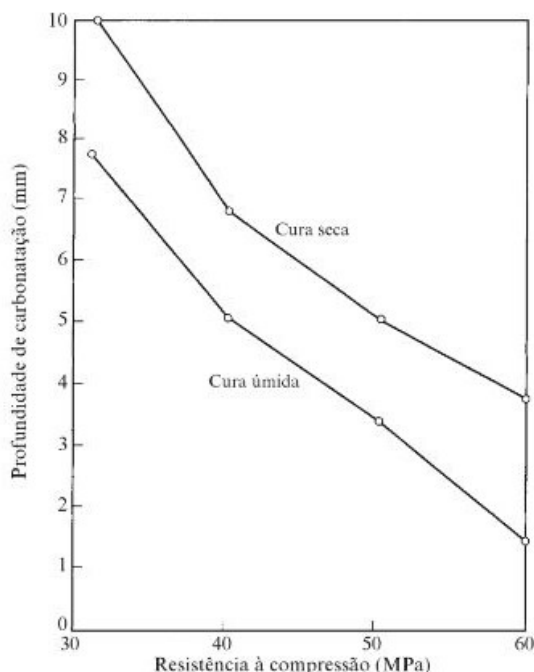
Outro fator considerável no processo de carbonatação é a umidade relativa do ambiente. Os poros quando parcialmente preenchidos com água na superfície do concreto apresentam condição favorável para a ocorrência deste fenômeno. A carbonatação não consegue ocorrer quando os poros estão totalmente secos ou saturados, pois o dióxido de carbono (CO_2) não consegue reagir quimicamente e se difundir (OLIVEIRA, 2017).

Além disso, o traço do concreto representa um elemento interessante para análises, quando alta a relação a/c (água cimento), resulta em concretos porosos e, portanto, aumentam as chances de difusão de dióxido de carbono (CO_2) entre os poros. A carbonatação do concreto é variável de acordo com a natureza de seus componentes, com o meio ambiente (rural, industrial ou urbano) e com as técnicas construtivas de transporte, lançamento, adensamento, cura etc. Tendo a relação água/cimento um papel preponderante na permeabilidade dos gases. (FARIAS, 2019). Ademais, o processo de cura também se apresenta com bastante relevância na ocorrência deste fenômeno. O concreto com cura ineficiente possui microfissuras que o enfraquecem. A pré-existência de fissuras nas estruturas colabora com a entrada do dióxido de carbono (CO_2) e pode acelerar a carbonatação.

A velocidade de carbonatação depende do teor de umidade do concreto, que varia de acordo com a distância em relação a superfície. A maior taxa de carbonatação ocorre com umidades relativas entre 50% e 70%, o que corresponde a umidade relativa de 65% (NEVILLE, 2017, p. 519). Ainda, o autor afirma que em uma situação favorável à continuação do processo de carbonatação, concretos que apresentam resistência menor que 30 Mpa possuem elevada possibilidade de sofrer carbonatação até uma profundidade de no mínimo 1,5 mm em um período de alguns anos (NEVILLE, 2017, p. 519).

Na Figura 4, demonstra-se a relação entre a resistência à compressão do concreto após exposição ao ar com umidade relativa de 65% e a profundidade de carbonatação por dois anos.

Figura 6 – Relação entre a resistência à compressão do concreto após exposição ao ar com umidade relativa de 65% e a profundidade de carbonatação por dois anos.



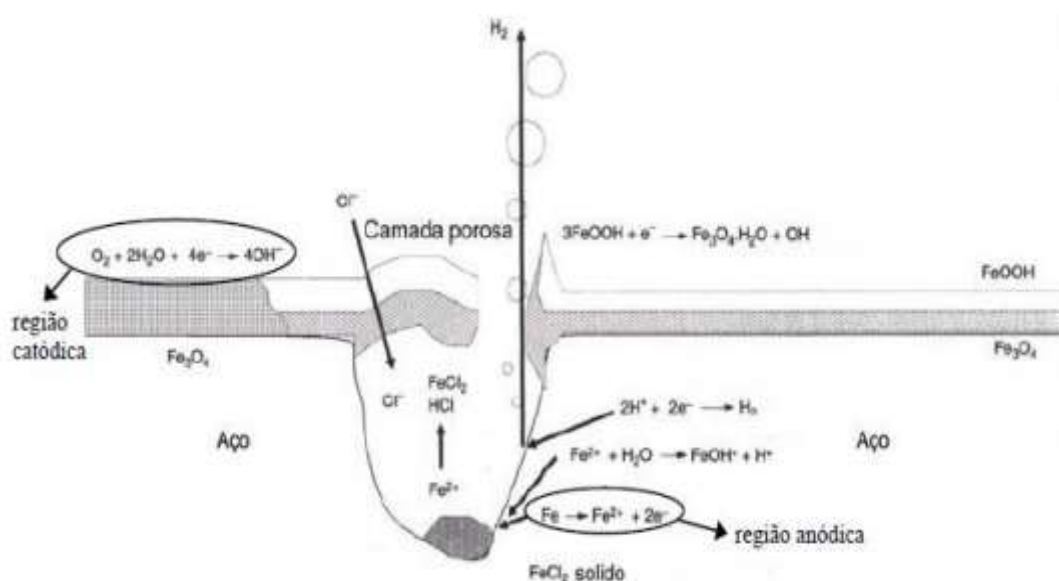
FONTE: Neville (2017).

2.1.4.1 Ataques por cloretos

O processo de carbonatação no concreto contribui para diminuição do Ph, tornando-o mais ácido e formando uma microestrutura porosa. Como consequência, ocorre maior difusão de íons cloreto através da camada de concreto. A ação destes

íons é considerada uma das principais responsáveis por desencadear a corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado (MEIRA; FERREIRA; 2019). Ao entrarem em contato com as armaduras em níveis superiores a uma quantidade chamada de concentração crítica, estes agentes dão início a um processo corrosivo das armaduras, se manifestam inicialmente através de manchas provenientes do Óxido de ferro. Em segunda etapa, devido à em uma segunda etapa, devido à característica expansiva dos produtos da corrosão, pode ocorrer uma fissuração do concreto seguida de sua desagregação (MAZER; MACIOSKY; SOTO; 2014). Os íons de cloreto atacam de forma pontual, ocasionando uma corrosão localizada, como mostra a figura 06

Figura 7 – Representação esquemática da corrosão na presença de cloretos: mecanismo de formação e propagação.



Fonte: Silva (2006).

Conforme ilustrado na figura, a propagação da corrosão por íons cloreto envolve a dissolução do metal pela região anódica no fundo do pite e o balanceamento pela região catódica na superfície adjacente (SILVA; 2006). De forma mais abrangente, no estágio inicial de carbonatação, o CO₂ se difunde no concreto e reage com os produtos de hidratação alterando a estruturas dos poros internos da pasta, ocasionando a diminuição da porosidade total e diminuição dos poros, dificultado a difusão do cloreto (Cl) no concreto. Quando no estágio tardio de carbonatação, a porosidade total e a proporção de microporos diminuem enquanto a proporção de macroporos aumenta, resultando em um aumento significativo na profundidade,

concentração e taxa de difusão do Cl após a carbonatação. Assim, além da estrutura de poros, o Ph do concreto é reduzido, o que resulta na redução da estabilidade e, portanto, causa a dissolução do sal e do hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) gel. Como resultado, o Cl é liberado e a ligação química e física do Cl é enfraquecida, promovendo assim a difusão do Cl no concreto (XIE *et al.*, 2019).

Os íons cloreto podem entrar no concreto vindos do ambiente externo, principalmente nas estruturas expostas à altas taxas de poluentes, ou estar contido no concreto devido ao uso de água ou agregados contaminados, incluindo aditivos aceleradores de pega e endurecimento. Dessa maneira, existem duas formas de íons cloreto estarem presentes no concreto: cloretos livres ou cloretos aglutinados (GENG *et al.*; 2015). Além disso, as diferentes possíveis fontes de cloretos são usualmente classificadas em função do momento em que eles se incorporam ao concreto. Cloretos presentes no concreto fresco, incorporados no momento da mistura, presentes nos agregados e na água de emassamento, que podem ser contaminados por sais ou nos aditivos e cloretos penetrados no concreto endurecido, aqueles provenientes do ambiente externo e penetrados após a concepção da estrutura de concreto, tais como as águas, névoas e respingos marinhos (MAGALHÃES, 2019).

Assim, estes compostos estão mais concentrados em atmosferas marítimas. Com isso, vale ressaltar que as estruturas construídas em regiões costeiras são frequentemente submetidas a carbonatação e ataques de cloretos. Assim, a corrosão de reforço de aço devido ao ataque combinado de carbonatação e cloretos é diferente daquele devido à carbonatação ou ataque de cloreto sozinho (LIU *et al.*, 2016). As cidades se desenvolvem bastante nas regiões litorâneas, com a presença de agentes agressivos possuímos muitas estruturas com problemas de corrosão nessas áreas. Um levantamento feito na cidade de Recife, por exemplo, aponta que 64% das patologias em estruturas de concreto estão relacionadas à corrosão por íons cloreto (DOTTO; 2006).

A cidade de Fortaleza - CE, por exemplo, possui uma orla marítima de 34 quilômetros e contém 15 praias com altos índices de produção de íons cloro na atmosfera. Especificamente, a Praia do Futuro que possui a maresia mais forte do mundo. Esse tipo de atmosfera causa grandes malefícios à estrutura metálica do concreto armado por conta da corrosão localizada por pite que nada mais é que uma vacância que se desenvolve rapidamente na armadura, regredindo as capacidades mecânicas do aço (DIETRICH; TELES; VIEIRA, 2017). Em um estudo realizado por

Cabral e Campos (2016), classificou-se que a agressividade do ar da atual capital do Ceará, em classes que variam entre moderada e muito forte. Segundo os autores, vários fatores contribuem para essa classificação, como a posição geográfica, os fortes ventos, a extensa faixa litorânea e a altos valores de deposição de íons cloreto (Cl^-). Assim, esse caráter agressivo da atmosfera requer diretrizes construtivas especiais para manter a durabilidade das construções nessa área (CABRAL; CAMPOS, 2016).

2.2 Adições minerais

Cálcio liberado pela hidratação do cimento, resulta na formação de um Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H). Durante a reação pozolânica o consumo de Hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é elevado, com isso existe um eminente gasto de CH que resulta na diminuição do pH da água dos poros, aumentando as taxas de carbonatação. Na atuação de uma pozolana existem efeitos contrários em relação a carbonatação: por um lado ela proporciona o refinamento dos poros e a redução da sua interconectividade e por outro lado ocorre redução da reserva alcalina (RAISDORFER *et al.*, 2017).

Argila calcinada argila calcinada é um material pozolânico resultante da calcinação e moagem de determinadas argilas a temperatura de 500 °C a 900 °C (BATAGGIN, 2010 p. 761). Este composto quando adicionado concreto, melhora substancialmente o desempenho mecânico e sua durabilidade, pois reage quimicamente com o hidróxido de cálcio resultante da reação de hidratação do cimento, para formar silicatos de cálcio, sílico-aluminatos e aluminatos de cálcio hidratados (VIEIRA *et al.*, 2013).

Já o metacaulim é obtido a partir da calcinação de argilas caulínicas, de natureza pozolânica e que possui alta reatividade. Proporciona alguns efeitos importantes no concreto. Melhora trabalhabilidade pois proporciona dispersão das partículas, aumento da coesão, refinamento dos poros e maiores resistências pois oferece uma microestrutura mais densa. Este composto possui uma alta atividade pozolânica, ou seja, dispõe de elevada capacidade de reagir com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ produzido durante o processo de hidratação do cimento Portland (CP), formando silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (VELOSA *et al.*, 2014). Além disso, os autores afirmam que o metacaulim apresentam capacidade de acelerar a reação

pozolânica por ser um material muito fino, 99,9% de partículas com tamanho menor que 16 μm e com um tamanho médio de aproximadamente 3 μm , tendo assim alta superfície específica (VELOSA *et al.*, 2014).

Como visto, em geral os materiais pozolânicos quando incorporados ao concreto exercem grande influência em suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. As pozolanas são indicadas para elementos derivados de cimento em que haja necessidade de resistência a sulfatos, assim como para prevenir reação álcali-agregado, elas ainda reduzem o calor de hidratação no concreto, sendo indicadas para construções em concreto massa (KOFFS; VENDRUSCOLO, 2018).

No estado fresco as adições pozolânicas afetam a plasticidade e coesão, melhorando a trabalhabilidade. Reduzem os fenômenos da exsudação e segregação, por apresentar menor consumo de água e maior volume de finos. Apresentam baixo calor de hidratação resultando em uma possível redução das fissuras térmicas. Além disso, a sílica amorfa presente em materiais pozolânicos pode ser incorporada a vários cimentos hidráulicos para aumentar a resistência à compressão. (KENNEDY *et al.*, 2018). Os autores ainda afirmam que, a sílica amorfa reage então com $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para produzir um gel de hidrato de silicato de cálcio (C–S–H). Resultando no aumento da concentração da fase C–S–H e redução do conteúdo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na solução, acelerando a taxa de hidratação do clínquer de cimento.

Já no estado endurecido estas adições interferem na resistência mecânica com refinamento dos poros e dos cristais na pasta, além de proporcionar maior resistência da matriz na zona de transição. Interfere positivamente na durabilidade do concreto, por reduzir a permeabilidade do concreto. Ademais, apresentam certa resistência a sulfatos pela diminuição da porosidade e redução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que são combinados com sulfatos disponíveis e geram compostos expansivos. Apresentam também interferência na reação álcali-agregado, pois possuem menor absorção de água, reduzem os álcalis presentes na composição por substituir parte do cimento e pela reação pozolânica. Hoppe Filho *et al.* (2015) afirmam que:

A utilização de adições minerais na composição do material ligante, em substituição parcial ao cimento, provoca alterações microestruturais que interferem na porosidade da matriz hidratada e, principalmente, na distribuição do tamanho dos poros e na interconectividade deles, o que influencia positiva ou negativamente o ingresso de água contendo íons sulfato para o interior da estrutura (PORTELA *et al.*, 2015).

2.3 Resíduos agrícolas

Os resíduos agrícolas são aqueles gerados no campo como resultado das atividades de colheita dos produtos agrícolas. Os processos agrícolas e industriais, além de geram uma enorme quantidade de resíduos. O reaproveitamento deles como subprodutos ou incluso como matéria-prima em outros setores produtivos, aparece como questão fundamental na conservação do meio ambiente (TASHIMA *et al.*, 2011). Geralmente esses resíduos são incorporados no concreto como cinzas.

Praveenkumar, Sankarasubramanian e Sindhu (2020) investigaram o efeito da incorporação da cinza pulverizada do bagaço em argamassas de cimento quanto à resistência, à permeabilidade e à microestrutura. Os autores relataram maior resistência, devido a redução do coeficiente de permeabilidade. Além disso, a incorporação das cinzas em uma proporção de até 10% em massa promoveu a redução da demanda de água e melhoria da resistência à compressão e à flexão de argamassa de cimento (PRAVEENKUMAR; SANKARASUBRAMANIAN; SINDHU, 2020).

Nascimento e Oliveira (2018) avaliaram o uso de cinzas do caroço de açaí como adição mineral no concreto para retardar o processo de carbonatação e, assim, analisar a durabilidade do concreto incorporado com esse material. Como conclusão, as autoras expuseram um aumento da resistência do concreto à carbonatação acelerada, em comparação ao concreto sem adição das cinzas (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2018).

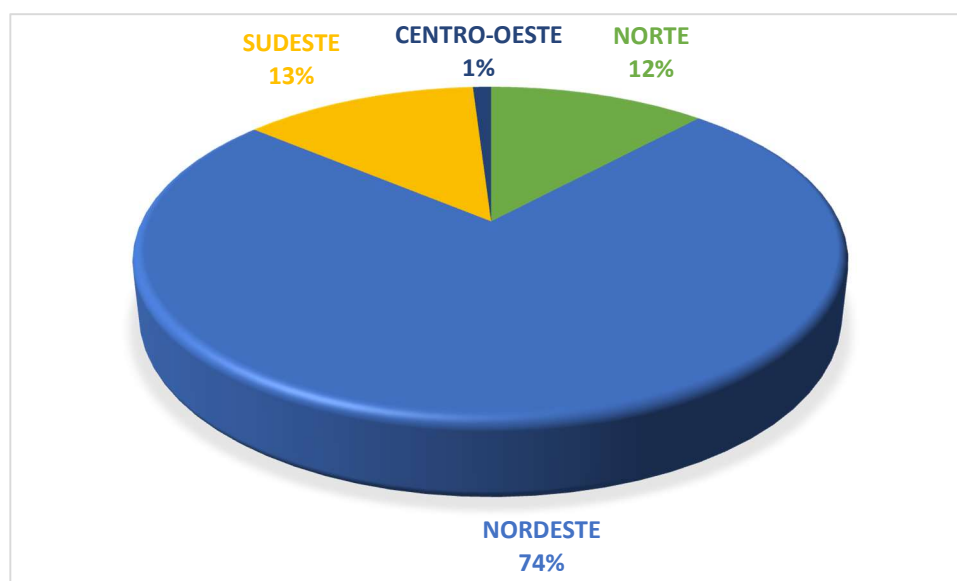
2.3.1 Fibra da casca do coco

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*) é uma árvore que possui grande importância em todo mundo, uma vez que é uma atividade que gera emprego e renda em vários países. Por esta razão, houve uma intensificação de áreas de cultivo e produção em várias partes do globo, e o Brasil também apresentou crescimento considerável a cada ano, inclusive em regiões não tradicionais de cultivo. Este crescimento decorre principalmente do comércio de água de coco, que evoluiu em consequência da aplicação de tecnologias de processamento e conservação da água do coco verde (CABRAL *et al.*, 2015).

O Brasil é o 4º maior produtor mundial de coco, produzindo cerca de 3 milhões de toneladas por ano, e 1º na produção de água de coco (OLIVEIRA, 2017).

Conforme o Levantamento sistemático da produção agrícola (LSP), pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras, publicado pelo IBGE (2017), a região nordeste é responsável por cerca de 74% da produção anual de coco no Brasil, seguida pela região sudeste, norte e centro-oeste com 13, 12 e 1%, respectivamente, conforme mostrado na figura 8 (IBGE, 2017).

Figura 8 – Produção regional brasileira de coco verde em 2017



Fonte: IBGE (2017).

No entanto, o agronegócio do coco verde possui contrariedades no quesito sustentabilidade, pois existe uma grande geração de resíduos, tanto no processo de produção quanto no descarte final, onde as cascas do coco são descartadas após o consumo de sua água. Cerca de 85% da estrutura do coco é composta por resíduos (SILVA; OLIVEIRA, 2018) e nos lixões e aterros sanitários onde são depositados, o acúmulo destes detritos comprometem a vida dos mesmo por propiciar mau cheiro e aparecimento de doenças (OLIVEIRA, 2017), e por apresentar elevada resistência à degradação que pode atingir até 8 anos para sua degradação completa em meio ambiente. Como grande parte do resíduo gerado pela indústria de coco no Brasil ainda é depositada em lixões e aterros sanitários, gerando custo e impactos para sociedade, e sendo agravados nas cidades litorâneas onde o consumo de água de coco é mais alto (CARDOSO, GONÇALVES; 2016), estudos para reutilização destes compostos vem tendo bastante crescimento nos últimos anos.

O fruto de *Cocos nucifera* é caracterizado como um fruto seco, do tipo dupla, por ser formado por um só carpelo e conter em seu interior uma só semente. A parte mais desenvolvida do coco, o mesocarpo, é constituído por um conjunto denso de fibras bastantes resistentes. Além disso, o endocarpo, asca que protege a polpa, é espesso e duro (CARDOSO, GONÇALVES, 2016). A fibra da casca do coco vem sendo utilizada como adição no concreto, por ser um resíduo ecologicamente viável, com elevada resistência mecânica à tração e de fácil acesso. Em comparação com os aços utilizados na construção, a fibra de coco possui resistência média de até aproximadamente quarenta por cento deste (MARCHI, 2018). A utilização de fibras naturais em elementos construtivos, contribui para a diminuição da extração de recursos naturais para a produção dos compósitos cimentícios (VELASCO *et al.*, 2015). Grande parte do resíduo gerado pela indústria de coco no Brasil, ainda é depositada em lixões e aterros sanitários.

2.3.2 Casca de Arroz

A casca do arroz é um subproduto agrícola e consiste em um material fibroso, com cerca de 20% da sua composição sendo de resíduos inorgânicos. O resíduo orgânico contém, em média, 95% a 98%, em massa, de SiO₂. Em função do seu elevado poder calorífico, a casca de arroz tem sido utilizada como biomassa na alimentação de caldeiras para geração de energia e/ou vapor, o que reduz o impacto ambiental causado pela destinação do resíduo (SYDRIÃO, 2018).

A produção mundial de arroz é de aproximadamente 600 milhões de toneladas. Cerca de 20% dessa produção é casca, sendo obtido um total de 120 milhões de toneladas de casca de arroz por ano. O Brasil é considerado um dos dez maiores produtores de arroz do mundo, produzindo cerca de 11,3 milhões de arroz e casca em 2010 (TASHIMA *et al.*, 2011). A casca de arroz é avaliada como adição de resíduos da agroindústria do concreto e já obteve êxitos, a qual segundo PEREIRA *et al.* 2015, em cimento Portland com substituição de teores 5% e 10%, misturas que contemplam esse material apresentaram ganho de resistência à compressão axial em até 24%, além de contribuir para o fechamento dos poros do concreto.

3 METOLOGIA

O método científico pode ser definido como um conjunto de etapas e instrumentos pelo qual o pesquisador científico direciona seu projeto de trabalho, com critérios de caráter científico para alcançar dados que suportam ou não sua teoria inicial (CIRIBELLI, 2003). Portanto, a forma de utilização do raciocínio pela qual se propõem produzir o conhecimento científico deve ser direcionado por procedimentos lógicos, técnicos e metodológicos bem definidos (PRAÇA, 2015).

O trabalho científico deve corresponder à utilização correta dessa metodologia, de forma a produzir trabalhos de valor reconhecido, segundo normas e procedimentos em parte já estabelecidos e em cujo desenvolvimento pode também contribuir (GUTIERREZ, 1986), apresentado de uma forma clara e suficientemente detalhada.

Nesse sentido, esta seção caracteriza o presente estudo quanto à tipologia e descreve o método de coleta dos dados secundários analisados.

3.1 Delineamento

O presente estudo é de caráter descritivo e exploratório. É classificada como descritiva, pois tem como característica principal fazer uma análise minuciosa e descritiva do objeto de estudo, com a finalidade de analisar os dados coletados. É também classificada como exploratória, pois se utilizou de dados já publicados para facilitar a familiaridade com o tema abordado, buscando maiores informações sobre uma determinada área ainda pouco explorada.

Quanto aos meios e procedimentos, a metodologia utilizada para a produção deste trabalho constitui uma revisão sistemática da literatura, baseada no levantamento de dados secundários em fontes bibliográficas, especificamente artigos de pesquisa científica publicados em periódicos. Esses artigos selecionados foram organizados, tratados analítica e comparativamente.

A revisão sistemática é uma síntese rigorosa de todas as pesquisas relacionadas a uma questão específica, enfocando primordialmente estudos experimentais. Difere-se de outros métodos de revisão, pois busca superar possíveis vieses em cada uma das etapas, seguindo um método rigoroso de busca e seleção de pesquisas; avaliação de relevância e validade dos estudos encontrados; coleta,

síntese e interpretação dos dados oriundos de pesquisa (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

Quanto à abordagem, a presente pesquisa é classificada como qualitativa, que tem caráter subjetivo do objeto analisado. As metodologias qualitativas envolvem um exame intensivo dos dados, tanto em amplitude quanto em profundidade. Neste caso, a preocupação básica do pesquisador é a estreita aproximação dos dados, de fazê-lo falar da forma mais completa possível. O raciocínio ou a lógica das metodologias qualitativas é a indutiva, partindo do específico para o geral. Não se parte de uma teoria específica, mas ela é produzida a partir das percepções de quem conduz a pesquisa (PATIS; HOHENDORFF, 2019).

Assim, o caráter da pesquisa qualitativa deste estudo é essencialmente exploratório. Esse perfil de pesquisa foi escolhido devido à flexibilidade, criatividade e informalidade que permite que o pesquisador aborde de forma ampla o tema de pesquisa.

3.2 Método de coleta de dados

A metodologia utilizada para a produção deste trabalho se baseou na busca de publicações indexadas na base de dados Science Direct, em um período delimitado entre 2018 e 2020, utilizando com os seguintes descritores: atividade pozolânica, concreto, carbonatação, cloretos, resíduos e cinzas. Dessa forma, inicialmente, foram selecionados 89 trabalhos científicos e aplicou-se os critérios de inclusão e exclusão, que são: a revista dos trabalhos ter o fator de impacto acima de 2 e o artigo de pesquisa relacionar o uso de resíduos como adição mineral. Por fim, com base na leitura dos resumos, selecionou-se 11 artigos para a revisão bibliográfica.

Em seguida, foram analisados os estudos mais recentes sobre a utilização de resíduos materiais na produção do concreto, em que cada artigo selecionado apresenta um ou mais materiais que são utilizados na substituição parcial do cimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido ao elevado crescimento no setor de construção civil, a produção e o consumo de cimento tiveram um aumento significativo, o que tem contribuído intensamente para a degradação do meio ambiente (LOPES, SANTOS; 2018). Durante toda a sua cadeia produtiva desse insumo, diversos impactos são causados ao meio ambiente. Desde a devastação da fauna e da flora na extração do minério, seguida pela liberação de gases estufa no processo de calcinação até a queima de combustíveis fósseis para o transporte E DISTRIBUIÇÃO DO PRODUTO MANUFATURADO. Estima-se que a produção do cimento é responsável por, aproximadamente, 7% das emissões de CO₂ antropogênicas na atmosfera, junto com a intensa extração dos recursos naturais (APRIANTI *et al.*, 2015; PRASITTISOPIN; TREJO, 2015) não renováveis. Assim, muitos pesquisadores tentaram buscar formas alternativas para substituição parcial desse material afim de resolver este problema, avaliando o potencial de resíduos agrícolas processadas como adições minerais em matrizes cimentícias.

Os estudos recentes são sumarizados no Quadro 2, no qual são apresentados os resíduos avaliados, as técnicas de caracterização empregadas e os principais achados desses artigos científicos, como a proporção em que esses materiais foram avaliados como adições, bem como seu desempenho.

Quadro 2 – Estudos recentes sobre utilização de resíduos agrícolas como adições minerais em matrizes cimentícias.

Artigo	Resíduo avaliado	Técnicas de caracterização empregadas	Principais achados
(RAMACHANDRAN <i>et al.</i> , 2018).	Cinza de esterco de vaca	Realizados os estudos de difração de raios-X (DRX) foram realizados pelo difratômetro de raios-X. Os compostos cristalinos desconhecidos foram identificados pelo método Bragg Brentano.	Substituição de 15% do cimento para analisar a eficácia no combate das mudanças químicas provocadas no concreto quando em contato com a água doce. Analisaram as propriedades mecânicas do concreto: resistência à compressão e tração, o concreto modificado com cinza de esterco de vaca (CEV) conferiu melhores propriedades de resistência a compressão e tração. Outros parâmetros foram analisados e o concreto exposto à água doce apresentou resultados promissores com relação à degradação: pH, resistência, durabilidade e menor densidade bacteriana. Assim, tem potencial para desenvolver concreto de alto desempenho, mais durável e sustentável.
(THAKU <i>et al.</i> , 2019).	Cinza de esterco de vaca	Não consta técnicas de caracterização microestrutural.	Analisaram a substituição com proporções de 5%, 10% e 15%. Analisaram as propriedades mecânicas: resistência à compressão e tração do concreto em diferentes períodos de cura: 7, 14 e 28 dias. Demonstaram bom desempenho quando incorporação à uma proporção limitada, cerca de 5%. pode ser utilizada para aplicações de piso ou como um edifício componente não sujeito a altas tensões estruturais. A vantagens do concreto de cinza de esterco de vaca oferece leveza de peso e baixa condutividade térmica tornam-no um útil material de construção.
(QUDOOS <i>et al.</i> , 2018)	Cinza da palha de trigo	Análise termogravimétrica (TGA), Espectroscopia de absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Difração de	Substituição de 20% com o objetivo de conseguir um composto com qualidade que conserva as propriedades do concreto comum. Melhor resistência à compressão com a adição de partículas mais finas de cinzas. Além disso, essa adição melhorou a hidratação, o teor de CH diminuiu, maior

		raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura	densificação da microestrutura dos compósitos de cimento devido ao refinamento de poros causado pela pozolana e o efeito de preenchimento.
(PRAVEENKUMAR <i>et al.</i> , 2020).	Cinzas de bagaço da cana-de-açúcar	Difração de raios X (XRD), Espectroscopia de absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Fluorescência de Raios-X (FRX), Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).	Substituição de 10% do cimento. Realização de análises químicas e morfológicas. Devido ao efeito de preenchimento proporcionado pela adição parcial da cinza, o coeficiente de permeabilidade foi reduzido, levando a um aumento na resistência à compressão. Dessa forma, a incorporação das cinzas em até 10% reduz a demanda de água e melhora a resistência à compressão e à flexão de argamassa de cimento.
(AMIM <i>et al.</i> , 2020).	Cinzas de bagaço da cana-de-açúcar	Fluorescência de Raios-X (FRX), Difração de raios X (XRD), e a finura também foram determinados. Além disso, microestrutura das partículas foi analisada pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV).	Substituição do cimento em diferentes proporções - 10, 20 e 30%, e analisaram as características mecânicas dos compostos. Os compósitos cimentícios projetados contendo 10% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar exibiram maior resistência à compressão, tração e flexão em comparação aos outros compostos sem nenhuma substituição. Além disso, a mistura exibiu melhor comportamento dúctil.
(HOSSAIN <i>et al.</i> , 2020)	Escória, cinza volante, cinza combustível de óleo de palma e cinza de casca de arroz	Utilização da técnica de difração de raios X (XRD).	Possuem mais de 50% dos principais óxidos, tornando-os ricos em sílica e alumina. O teste de carbonatação revelou uma melhor resistência na argamassa de cimento Portland comum que as argamassas de resíduos, em relação à profundidade de carbonatação e resistência à compressão, porém ambos possuem resistência à corrosão similar. A corrosão um pouco maior ocorreu na

			amostra de argamassa contendo escória, cinza combustível de óleo de palma e cinza de casca de arroz
(AGRAWA L; WANJARI; NARESH, 2019)	Cinza da casca de arroz e Microsílica	Utilização da técnica Fluorescência de Raios-X (FRX).	Proporções utilizadas de Cinza da casca de arroz (5% – 30%), microsílica (2,5% –10%). Com a substituição parcial do cimento por esses compostos a resistência a compressão apresentou um ganho de força contínuo no concreto e a resistência à atração destacou um ganho de resistência mecânica semelhante ao utilizando areia natural. Em relação ao parâmetro de durabilidade do concreto: a permeabilidade de cloreto é baixa, houve uma redução da carbonatação com o uso deste concreto a porosidade também foi preenchido devido à formação dos produtos de hidratação, o que contribuiu para melhorar a resistência e a durabilidade
(MORETTI; NUNES; SALES, 2018)	Cinzas de bagaço da cana-de-açúcar	Não consta técnicas de caracterização microestrutural.	Substituição de 30% do cimento. Não apresentou efeitos significativos nas propriedades do estado fresco. Resultados testados nos concretos revelaram que esse resíduo pode ser usado como um material de enchimento, pois exibe uma boa autocompactação, melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade.
(AMERI <i>et al.</i> , 2019)	Cinza de casca de arroz	Foram realizadas análises de Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).	Substituição do cimento em diferentes proporções - 0%, 5%, 15%, 20%, 25% e 30% em peso do cimento. Incluindo 15% de cinza de casca de arroz ocorre uma melhora na resistência do concreto devido ao tamanho reduzido dos poros e densificação do concreto, causados pelo micro enchimento e sua atividade Pozolânica. É possível produzir um concreto autoadensável com baixa permeabilidade, alta resistência e capacidade de preenchimento com inclusão de dosagem específica da cinza da casca de arroz e concentração de células bacterianas.
(LIM <i>et al.</i> , 2018).	Cinza combustível	Foram realizadas análises de Espectroscopia por	Substituição do cimento nas dosagens de 0,5% e 1,0%. Aditivos nano-cimentícios de cinzas combustíveis de óleo

	de óleo de palma e cinza de casca de arroz	energia dispersiva (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).	de palma teve um desempenho melhor que os aditivos nano-cimentícios de cinzas de casca de arroz em termos de desenvolvimento de força, provavelmente devido à forma física das partículas que reduzem a porosidade
(MEJIA-BALLESTEROS <i>et al.</i> , 2019).	Cinza de casca de arroz e resíduos de mineração de carvão ativado	Fluorescência de Raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX), Termogravimetria (TG).	Substituição de 25% do cimento. Propriedades pozolânicas, físicas e mecânicas, bem como a estrutura de poros das matrizes foram examinados. A cinza de casca de arroz por mais que seja caracterizada por possuir uma alta atividade pozolânica, teve um efeito menos favorável, produzindo matrizes porosas e pouco compactadas. Os resíduos de mineração de carvão ativado apresentaram um desempenho maior, atingindo boa resistência e melhor refinamento no tamanho dos poros. Portanto, os resíduos de carvão seriam mais adequados para aplicação.
(TORRESCARRASCO <i>et al.</i> , 2019)	Cinza de casca de arroz	Fluorescência de Raios-X (FRX)	Substituição de 12% do cimento. Obtém argamassas com baixa porosidade, reduzindo os riscos de corrosão. O uso de cinza de casca de arroz em argamassa dá origem a boas propriedades mecânicas e maior resistividade.
(ZHU <i>et al.</i> , 2019)	Cinza de casca de arroz	Espectroscopia de absorção no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Difração de raios-X (DRX), Termogravimetria (TGA).	Utilizando 20% de mistura de cinza de casca de arroz (CCA) ocorre uma melhoria nas propriedades de impermeabilidade, pois a abundante presença de sílica na CCA enfraquece a reação de hidróxido de cálcio com dióxido de carbono, que são a raiz do aprimoramento da impermeabilização.
(FULLER <i>et al.</i> , 2018).	Cinza volante do pó de madeira	Difração de raios X (XRD), Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).	Os minerais presentes na cinza volante do pó da madeira melhoram sua capacidade de uso e retém mais água, formando mais produtos de hidratação que causam um aumento no desempenho mecânico por melhor ligação. Valores de resistência à flexão foram 14 a 40% superiores a alguns valores comparados da literatura. Os testes de envelhecimento acelerado e testes de tensão resultaram em produtos reativos que preenchem os espaços vazios e

			que contém uma forte ligação, característica do cinza volante do pó de madeira.
--	--	--	---

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com HOSSAIN *et al.* (2020), as indústrias de cimento estão buscando alternativas para minimizar o uso dos recursos naturais, ou seja, o uso adequado de materiais residuais traz inúmeros benefícios, como a preservação dos recursos naturais, conservação de energia e meio ambiente e diminuição dos problemas de eliminação de resíduos. Dessa maneira diversos autores analisam a viabilidade da utilização de diferentes tipos de resíduos materiais como substituição parcial do cimento. Dessa forma, esta revisão divide esses estudos inovadores em: porcentagem de substituição do cimento utilizada e parâmetros analisados.

Ramachandran *et al.* (2018), analisaram a utilização da cinza de esterco de vaca no concreto (CEV), que possui propriedades pozolânicas, como substituto parcial do concreto. Esse estudo visou comprovar a eficácia da incorporação deste material no combate das mudanças químicas provocadas no concreto quando em contato com a água doce. Dessa maneira, foram realizados ensaios para avaliação da resistência à compressão e tração com concreto preparado por meio da substituição parcial de 15% de cimento por cinza de esterco de vaca (CEV). Além disso, no estudo foi demonstrado que o concreto exposto à água doce apresentou resultados promissores com relação à degradação: pH, resistência, durabilidade e menor densidade bacteriana.

Os resultados das propriedades mecânicas mostraram que o concreto comum, sem nenhum aditivo, apresentou resistência à compressão de 7 e 365 dias de 23,32 N / mm² e 47,70 N / mm² enquanto o concreto modificado atingiu 31,80 N / mm² por 7 dias e 53,35 N / mm² para 365 dias. Dessa maneira, o autor observou que o concreto modificado com cinza de esterco de vaca (CEV) atingiu mais força do que o concreto norma (RAMACHANDRAN *et al.*, 2018).

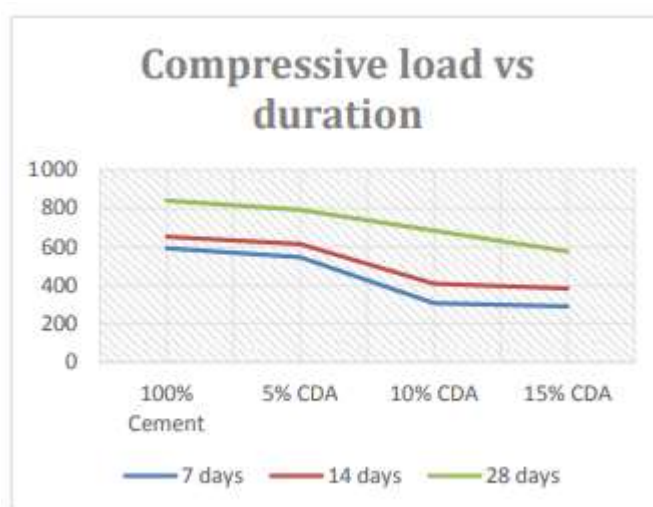
Omoniyi, Duna e Mohammed (2014), também investigaram a utilização de cinza de esterco de vaca como material cimentício suplementar em concreto. Dessa forma, o cimento foi substituído pelo composto em até 30% em intervalos de 5%. Com análise de alguns parâmetros o resultado dos tempos de pega indicou que conforme a porcentagem de cinza de esterco de vaca aumenta, os tempos de pega inicial e final aumentam, indicando o potencial da cinza como um retardador de pega. Além disso, outro parâmetro observado foi a trabalhabilidade, que apresentou diminuição com o aumento do teor da cinza em estudo. Os resultados sobre a resistência à compressão mostraram uma diminuição com o aumento do conteúdo de cinza de esterco de vaca e um aumento com a idade de cura. Não houve diferença significativa na resistência

à compressão entre o concreto controle e aqueles contendo até 15% de cinza de esterco de vaca ao nível de significância de 5% (OMONIYI; DUNA; MOHAMMED, 2014).

Neste sentido, Thaku *et al.* (2019) seguiu a mesma linha de pesquisa e analisou a utilização da cinza de esterco de vaca como substituição no concreto. Analisaram em diferentes proporções por peso (como 5%, 10% e 15%) e a resistência à compressão e tração do concreto foram encontrados em diferentes períodos de cura (7, 14 e 28 dias). Os autores afirmam que esse material possui algumas características importantes: é volumoso, possui grande conteúdo de cinzas, possui baixo teor de cinzas voláteis após a queima, seu teor de carbono é baixo e a proporção de queima é baixa (THAKU *et al.*, 2019).

Os resultados apresentados pelos autores demonstram que a cinza do esterco de vaca possui um bom desempenho quando apresenta uma porcentagem limitada (de até 5%) pode ser utilizada para aplicações de piso ou como um edifício componente não sujeito a altas tensões estruturais. A vantagens do concreto de cinza de esterco de vaca oferece leveza de peso e baixa condutividade térmica tornam-no um útil material de construção (THAKU *et al.*, 2019). As variações de carga compressiva para diferentes proporções de cinza de esterco de vaca (5%, 10% e 15%) são apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultados apresentados para substituição parcial do cimento por cinza de esterco de vaca: Carga compressiva vs duração.



Fonte: Thaku *et al* 2019.

Qudoos *et al.* (2018), explorou a aplicação da substituição do cimento por 20% de cinza da palha de trigo com o objetivo de conseguir um composto com qualidade que conserva as propriedades do concreto comum. Com isso, a cinza da palha do trigo foi submetida por várias etapas de moagem, utilizada como substituta parcial do cimento e analisada para diferentes parâmetros. Com o objetivo de comprovar sua eficiência Pozolânica foi investigada por meio de teste de resistência à compressão, calorimetria isotérmica, análise termogravimétrica, Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, análise de difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e teste de velocidade de pulso ultrassônico.

Assim, os resultados mostram que a eficiência Pozolânica das partículas de cinza aumentou consideravelmente devido ao processamento mecânico. Apresentou melhor resistência à compressão com a adição de partículas mais finas de cinzas (até um nível de substituição de cimento de 20%). Além disso, a incorporação da cinza da palha do trigo melhorou a hidratação, o teor de CH diminuiu, maior densificação da microestrutura dos compósitos de cimento devido ao refinamento de poros causado pela pozolana e o efeito de preenchimento (QUDOOS *et al.*, 2018).

Praveenkumar *et al.* (2020), investigaram o princípio da cinza do bagaço, subproduto da produção de açúcar considerada uma pozolana ativa, como substituição do cimento na composição de argamassa e concreto. Assim, o autor verificou posterior realização de análises químicas e morfológicas, utilizando técnicas como difração de raios-X (XRD), transformada de Fourier Espectroscopia de infravermelho (FTIR), Fluorescência de Raios-X (XRF), Espectroscopia Dispersiva de Elétrons (EDS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM), que com substituição parcial de 10% do cimento por cinza do bagaço da cana-de-açúcar houve mudanças nas características dos compostos.

Assim, foi confirmado maior resistência. Devido ao efeito de preenchimento proporcionado pela adição parcial da cinza, o coeficiente de permeabilidade foi reduzido, levando a um aumento na resistência à compressão. Dessa forma, a incorporação das cinzas em até 10% reduz a demanda de água e melhora a resistência à compressão e à flexão de argamassa de cimento (PRAVEEKUMAR *et al.*, 2020).

Amim *et al.* (2020), estudaram a utilização do bagaço da cana-de-açúcar, um resíduo agrícola, como um substituto de cimento para diversos fins de cimentação.

Este estudo investigou o papel da cinza de bagaço finamente moída (CBFM) na produção de compósitos cimentícios de engenharia (CCE) com a adição de fibras de álcool polivinílico (FAP). O foco principal deste estudo foi desenvolver um CCE verde com maior capacidade de resistência (compressão, tração e flexão) e maior ductilidade à tração. Para desenvolver este composto, o CBA foi adicionado a misturas de CCE em diferentes proporções, ou seja, 10, 20 e 30%. As proporções de fibras de FAP e a relação água/aglutinante foram mantidas constantes (AMIM *et al.*, 2020).

Os resultados revelaram que os compósitos cimentícios projetados contendo 10% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar exibiu maior resistência à compressão em comparação com o controle e as outras misturas CCP. As resistências à tração e flexão dos CCPs exibiram padrões quase semelhantes aos da resistência à compressão. Os compósitos cimentícios contendo 10% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar exibiu melhor comportamento dúctil (AMIM *et al.*, 2020).

Hossain *et al.* (2020) investigou os fenômenos de penetração do íon cloreto, carbonatação, corrosão e secagem mediante incorporação de ligantes contendo escória, cinza volante, cinza combustível de óleo de palma e cinza de casca de arroz. Essas incorporações foram objetos de estudos visto que possuem mais de 50% dos principais óxidos, tornando-os ricos em sílica e alumina. Dessa maneira, os autores verificaram que teste de carbonatação revelou uma melhor resistência na argamassa de cimento Portland comum que as argamassas de resíduos, em relação à profundidade de carbonatação e resistência à compressão, porém ambos possuem resistência à corrosão similar. A corrosão um pouco maior ocorreu na amostra de argamassa contendo escória, cinza combustível de óleo de palma e cinza de casca de arroz (HOSSAIN *et al.*, 2020).

Agrawal, Wanjari e Naresh (2019), investigaram o potencial da cinza da palha de arroz (CDP) e da microssílica (MS) como pozolana em pavimentos rígidos, com proporções de Cinza da casca de arroz (CCP) (5% –30%), Microssílica (MS) (2,5% –10%) e combinação de CCP (5%, 10%) + MS (5%, 7,5%). Diferentes testes como consistência normal, tempo de pega, solidez e análise de difração de raios-X (XRD) foram realizados na pasta de cimento. Os autores verificaram que com a substituição parcial do cimento por esses compostos a resistência a compressão apresentou um ganho de força contínuo no concreto e a resistência à atração destacou um ganho de resistência mecânica semelhante ao utilizando areia natural. Em relação ao parâmetro de durabilidade do concreto: a permeabilidade de cloreto é

baixa, houve uma redução da carbonatação com o uso deste concreto a porosidade também foi preenchido devido à formação dos produtos de hidratação, o que contribuiu para melhorar a resistência e a durabilidade (AGRAWAL; WANJARI; NARESH, 2019).

Moretti *et al.* (2018), avaliou a viabilidade de incorporação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) como insumo na produção de concreto autoadensável. Para tanto, as propriedades no estado fresco, mecânicas e de durabilidade foram analisadas. Com isso, os autores concluíram que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar como substituto parcial, cerca de 30%, como substituto do cimento não apresentou efeitos significativos nas propriedades do estado fresco. Foi considerado significativo apenas para a resistência à compressão em 28 dias, sendo ainda relativamente pequeno. Dessa forma, os resultados testados nos concretos exibem que o resíduo pode ser utilizado como material de enchimento, visto que exibe aprazível auto compactação, melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade (MORETTI *et al.*, 2018).

Ameri *et al.* (2019), realizou estudo a fim de otimizar o teor de cinza da casca de arroz (CCA) e a concentração bacteriana em concreto autoadensável. Para isso, substituiu parcialmente o cimento por CCA, com as concentrações de 0%, 5%, 15%, 20%, 25% e 30% em peso do cimento, para determinar a concentração ideal de adição de cinzas. Além disso, Microsílica (MS) também foi incorporada a toda a mistura na dosagem de 10%. Com isso, os autores perceberam que incluindo 15% de cinza de casca de arroz ocorre uma melhora na resistência do concreto devido ao tamanho reduzido dos poros e densificação do concreto, causados pelo micro enchimento e sua atividade Pozolânica. Assim, de acordo com os resultados apresentados, é possível produzir um concreto autoadensável com baixa permeabilidade, alta resistência e capacidade de preenchimento com inclusão de dosagem específica da cinza da casca de arroz e concentração de células bacterianas (AMERI *et al.*, 2019).

Lim *et al.* (2018), analisaram a utilização de cinzas de óleo de palma (COP) e cinzas da casca do arroz (CCA) na produção de aditivos nano-cimentícios (ANC). Dessa maneira, estes aditivos foram analisados em substituição do cimento nas dosagens de 0,5% e 1,0%. Foi apontado que a inclusão de micro e nanoescala fibras contribuíram para realçar as características de flexão da matriz do concreto. Assim, aditivos nano-cimentícios de cinzas combustíveis de óleo de palma apresentou um

desempenho melhor que os aditivos nano-cimentícios de cinzas de casca de arroz em termos de desenvolvimento de força, provavelmente devido à forma física das partículas que reduzem a porosidade (LIM *et al.*, 2018).

Mejia-Ballesteros *et al.* (2019), detalhou o efeito de três adições minerais: calcário, cinza de casca de arroz e resíduo de mineração de carvão ativado. Explorou o comportamento destas adições minerais como substitutos parciais do concreto, com uma proporção de 25%. Objetivando selecionar a adição ideal que proporcionasse melhor desempenhos dos cimentos reforçados com fibras naturais. Dessa maneira, as propriedades pozolânicas, físicas e mecânicas, bem como a estrutura de poros das matrizes foram examinados.

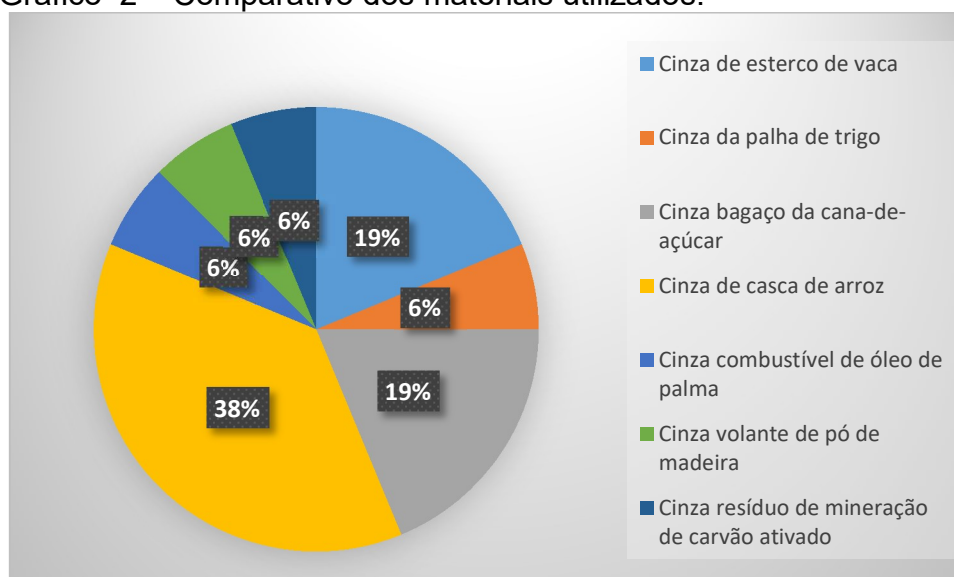
Assim, os resultados demonstraram que a cinza de casca de arroz por mais que seja caracterizada por possuir uma alta atividade pozolânica, trouxe um efeito menos favorável, produzindo matrizes porosas e pouco compactadas. Os resíduos de mineração de carvão ativado apresentaram um desempenho maior, atingindo boa resistência e melhor refinamento no tamanho dos poros. Portanto, os resíduos de carvão seriam mais adequados para aplicação (MEJIA-BALLESTEROS *et al.*, 2019).

Torres-carrasco *et al.* (2019), abordou a melhoria do comportamento mecânico e da durabilidade das argamassas quando incorporadas com adições de nano-sílica. Dessa maneira, comparou a utilização da cinza da casca de arroz como fonte de sílica reativa em composições de cimento, com nano sílica. Apresentou que a utilização desta cinza fornece materiais cimentícios físico-químico semelhantes a outra nano-sílica comercial que apresenta diferenças relevantes durante a composição. Os resultados demonstram que a incorporação da cinza da casca de arroz proporciona argamassas com baixa porosidade, reduzindo os riscos de corrosão. O uso de cinza de casca de arroz em argamassa origina boas propriedades mecânicas e maior resistividade (TORRES-CARRASCO *et at;* 2019).

Zhu *et al.* (2019), estudou a influência da cinza da casca do arroz (CCA) nas propriedades impermeáveis e microestruturais do geopolímero à base de cinza volante ultrafina. Pastas de geopolímero à base de cinzas volantes (CV) contendo diferentes quantidades de cinza da casca do arroz foram preparadas e caracterizadas. Os autores verificaram que utilizando 20% de mistura CCA ocorre uma melhoria nas propriedades de impermeabilidade, pois a abundante presença de sílica na cinza da casca do arroz enfraquece a reação de hidróxido de cálcio com dióxido de carbono, que são a raiz do aprimoramento da impermeabilização (ZHU *et al.*, 2019).

Fuller *et al.* (2018), explorou a utilização da cinza volante de pó de madeira como material substituto do cimento. Dessa maneira, os autores concluíram que os minerais presentes na cinza volante do pó da madeira melhoram sua capacidade de uso e retém mais água, formando mais produtos de hidratação que causam um aumento no desempenho mecânico por melhor ligação. Valores de resistência à flexão foram 14 a 40% superiores a alguns valores comparados da literatura. Os testes de envelhecimento acelerado e testes de tensão resultaram em produtos reativos que preenchem os espaços vazios e que contém uma forte ligação, característica da cinza volante do pó de madeira (FULLER *et al.*, 2018).

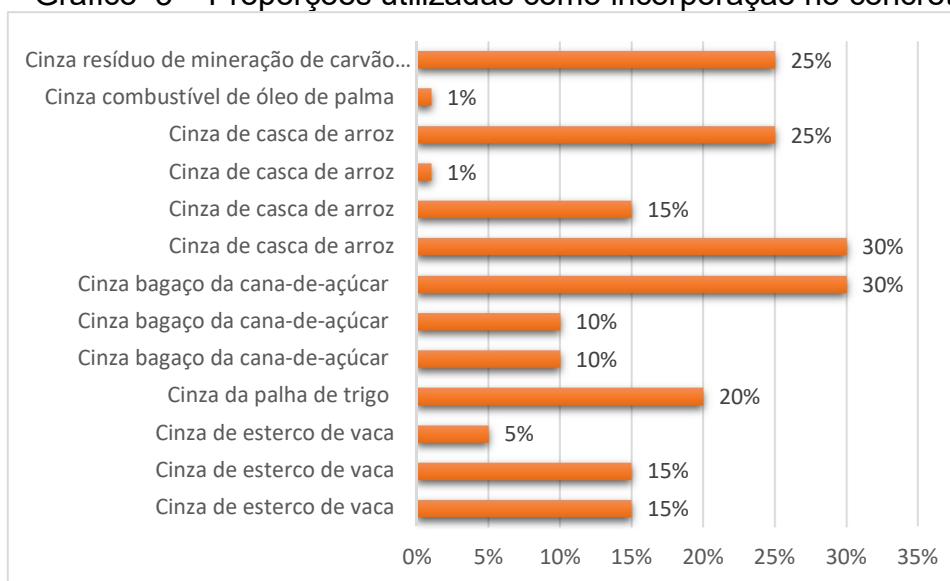
Gráfico 2 – Comparativo dos materiais utilizados.



Fonte: Elaborada pela autora.

As proporções utilizadas dos diferentes tipos de resíduos materiais como substituição parcial do cimento são apresentadas comparativamente no Gráfico 3. Conforme observado, os pesquisadores utilizaram diferentes proporções, que variam entre 1 e 30%.

Gráfico 3 – Proporções utilizadas como incorporação no concreto.



Fonte: Elaborada pela autora.

Dessa forma, observa-se que todos os resíduos abordados anteriormente, analisados pelos autores, são materiais descartados, muitas vezes, de forma inadequada no meio ambiente. Assim, além de diminuir a quantidade de materiais sólidos, que possuem alto potencial de poluição, em aterros sanitários ou lixões, o uso de resíduos como adições minerais em substituição parcial do cimento reduz o seu consumo cuja produção causa séria degradação ambiente.

Vale ressaltar que alguns autores avaliaram o mesmo tipo de resíduo apresentado em diferentes trabalhos científicos. Isso possibilita a realização de um estudo comparativo dos resultados. Por exemplo, a cinza de casca de arroz, que possui alto teor pozolânicos mostrou-se uma adição eficiente em diferentes parâmetros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisadores estão se voltando cada vez mais para a realidade de reaproveitamento de resíduos em matrizes cimentícia, buscando a redução do clínquer na composição e, conseqüentemente, o reaproveitamento desse material, a fim de promover o seu retorno à cadeia de construção. Os resíduos incorporados provêm uma redução do impacto ambiental gerado pelo seu descarte inadequado, uma vez que se deixa de extrair matéria-prima natural e dá-se um destino a este tipo de resíduo. Além disso, substituem parcialmente o cimento, principal componente do concreto, que durante sua produção gera grande emissão de gases nocivos ao meio ambiente. Porém, o grande empecilho para o aumento de utilização desses resíduos baseia-se na cultura, visto que eles não são comumente utilizados, o que gera uma desconfiança de construtores e clientes quanto à qualidade de desempenho destes resíduos. Além disso, não existem normas que assegurem a sua utilização no mercado.

Assim, estudos relacionados à utilização de resíduos agrícolas como adição mineral foram revisados neste trabalho. As principais descobertas são mostradas abaixo:

- De acordo com a porcentagem utilizada, diferentes resíduos proporcionam melhorias nas características do concreto, tais como: redução da porosidade, melhoria nas propriedades mecânicas e retardamento de pega.
- Em elevadas proporções, os materiais podem influenciar negativamente as propriedades do concreto como na produção de matrizes porosas e pouco compactadas, impossibilitando seu uso em determinadas aplicações.
- Melhores resultados com relação a degradação;
- Maior resistência (tração e compressão) e durabilidade;
- Redução no coeficiente de permeabilidade;
- Melhor resistência à carbonatação em alguns casos, de acordo com a porcentagem de incorporação de cinzas utilizadas.
- Menor densidade bacteriana, no caso do estudo com cinza de esterco de vaca exposto em água doce.

Assim, como abordado neste trabalho a utilização de resíduos agrícolas apresentam-se como uma solução viável para minimizar os impactos ambientais, trazendo um benefício ambiental duplo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- AGRAWAL, U.s.; WANJARI, S.P.; NARESH, D. N. Impact of replacement of natural river sand with geopolymer fly ash sand on hardened properties of concrete. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 209, p. 499-507, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.134>.
- AMERI, F. *et al.* Optimum rice husk ash content and bacterial concentration in self-compacting concrete. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 222, p. 796-813, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.190>.
- AMIN, M. N. *et al.* Role of Sugarcane Bagasse Ash in Developing Sustainable Engineered Cementitious Composites. **Frontiers In Materials**, [S.L.], v. 7, 8 abr. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmats.2020.00065>.
- APRIANTI, E.; SHAFIGH, P.; BAHRI, S.; FARAHANI, J. N. Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes – A review. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 74, p. 176-187, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.010>.
- BARBOSA, M. P. *et al.* Determinação de parâmetros reológicos de argamassas e concreto através de técnicas alternativas. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 440-480, ago. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952011000300006>.
- CABRAL, A.; CAMPOS, A. Estudo da Agressividade do Ar em Fortaleza/CE. Inovacon; COOPERCON-CE; SINDUSCON-CE; CIMENTO APODI; PEC/UFC, p. 50, 2016.
- CABRAL, M. M. S. *et al.* Aproveitamento da casca do coco verde para a produção de etanol de segunda geração. 2015.
- CATUSO, A. Análise da influência da exsudação na profundidade de carbonatação em concretos. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2015.
- CIRIBELLI, M. C. **Como elaborar uma dissertação de Mestrado através da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: 7 Letras, 2003.
- CUI, Hongzhi *et al.* Experimental study on effects of CO₂ concentrations on concrete carbonation and diffusion mechanisms. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 93, p. 522-527, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.007>.

DIETRICH, Y. P.; TELES, C. R.; VIEIRA, G. L. Desempenho mecânico e análise da corrosão das armaduras em concretos produzidos com adição de resíduos de rochas ornamentais. *Revista Materia*, v. 22, n. 4, 2017.

DOTTO, J. M. R. Corrosão do aço induzida por íons cloreto – Uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço concreto com ou sem pozolana. 2006. Trabalho de Obtenção de título de Doutor em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2006.

EUSHAUSEN, H.; TORRENT, R.; ALEXANDER, M. G. Performance-based approaches for concrete durability: state of the art and future research needs. **Cement and Concrete Research**, [S.L.], v. 119, p. 11-20, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.01.003>.

FIGUEIREDO, A. D.; FILHO, R. S. A. Os desafios da avaliação da trabalhabilidade do concreto com fibras. **Revista Concreto & Construções**, [S.L.], v. 87, n1, set. 2017.

FREGONEZI, G. M.; WUTZOW, W. W.; VANDERLEI, R. D. Study of the influence of compressive strength concrete on columns during the design of a multi-floor building. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1126-1147, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952019000500008>.

FULLER, A. *et al.* Use of wood dust fly ash from an industrial pulverized fuel facility for rendering. *Construction and Building Materials*, v. 189, p. 825–848, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.016>.

GÓRA, J.; PIASTA, W. Impact of mechanical resistance of aggregate on properties of concrete. **Case Studies in Construction Materials**, [S.L.], v. 13, p. 438-444, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00438>.

GENG, J.; EASTERBROOK, D.; LI, L.Y.; MO, Li-Wei. The stability of bound chlorides in cement paste with sulfate attack. **Cement and Concrete Research**, [S.L.], v. 68, p. 211-222, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.11.010>.

Gutierrez, G. L. A metodologia científica e o estudo das organizações. **Revista de Administração de Empresas**, v. 26, n. 1, p. 91-96, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901986000100009>. Acesso em: 22 jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0034-75901986000100009>.

HAJEK, P. Concrete Structures for Sustainability in a Changing World. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 171, p. 207-214, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.328>.

HILAL, A. A. Microstructure of concrete. **High Performance Concrete Technology And Applications**, [S.L.], v. 1, p. 3-24, 5 out. 2014. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/64574>.

KOFFS, Guilherme Nascimento; VEDRUSCOLO, Iorhan Marcelo Dias. **Análise do efeito de adições minerais na durabilidade de argamassas estabilizadas**. 2018. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2018.

HOPPE FILHO, J. *et al.* Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores. **Cerâmica**, [S.L.], v. 61, n. 358, p. 168-177, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581905>.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, RIO DE JANEIRO, fev./2017.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, RIO DE JANEIRO, jan./2017.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**, RIO DE JANEIRO, mar./2017.

LI, K.; ZHAO, F.; ZHANG, Y. Influence of carbonation on the chloride ingress into concrete: theoretical analysis and application to durability design. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 123, p. 105788, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105788>.

LIM, J. L. G. *et al.* Synthesis of nano cementitious additives from agricultural wastes for the production of sustainable concrete. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 171, p. 1150-1160, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.143>.

LIU, B. *et al.* Mechanical and permeability properties of polymer-modified concrete using hydrophobic agent. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 31, p. 101337, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101337>.

LOPES, L. S. Patologia da construção em concreto armado e as resoluções dos problemas de manutenção. **Revista Científica Faema**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 23-33, 27 jul. 2019. Revista FAEMA. <http://dx.doi.org/10.31072/rcf.v10i1.804>.

MALHEIRO, R. *et al.* Behaviour of cementitious matrices subjected to the combined action of chloride ions and carbonation. **Revista Materia**, v. 23, n. 3, 2018.

MAGALHÃES, T. A. Análise da penetração de íons de cloreto em compósitos cimentícios contendo diferentes teores de escória de alto forno. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2019.

MAZER, W; MACIOSKI, G; SOTO, N. Penetração de íons cloreto em estruturas de concreto armado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis: 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P., P. M. **Concrete – Microstructure, Properties, and Materials – 4ª Ed.** Ed.: MC Graw Hill Education. São Paulo, 2014.

MEIRA, G. R.; FERREIRA, P. R. R. Revisão sobre ensaios acelerados para indução da corrosão desencadeada por cloretos em concreto armado. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 223-248, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400353>.

MEJIA-BALLESTEROS, J. E.; SAVASTANO, H.; FIORELLI, J.; ROJAS, M. F. Effect of mineral additions on the microstructure and properties of blended cement matrices for fibre-cement applications. **Cement and Concrete Composites**, [S.L.], v. 98, p. 49-60, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.02.001>.

MITTRI, S. H. M. *et al.* Assessment of the pozzolanic activity of ornamental stone waste after heat treatment and its effect on the mechanical properties of concretes. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 1186-1207, nov./dez. 2018.

NASCIMENTO, K. F. S. do; OLIVEIRA, T. M. da C. Aproveitamento de caroço de açaí na produção de concreto sustentável analisando sua durabilidade. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió. Anais. Maceió: 2018.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. São Paulo: Bookman Editora LTDA, 2013.

NEVILLE, A. M; Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: Bookman Editora LTDA, 2016.

OLIVEIRA, T. M. C. *et al.* Aproveitamento das cinzas de caroço de açaí na produção de concreto sustentável analisando sua durabilidade. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 30749-30756, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-510>.

OLIVEIRA, A. M. A.; DIAS, D. P.; FRANÇA, F. C. C. Influência da viscosidade da solução ativadora alcalina na trabalhabilidade de argamassas geopoliméricas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 23, n. 3, 18 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0532>.

OLIVEIRA, F.; OLIVEIRA, F.; ARAÚJO, W. Avaliação e Recuperação de Estrutura de Concreto Armado: um Estudo de Caso. CONPAR. Recife. v. 1 n. 1. Agosto 2017. Resumo apresentado no Congresso Nacional de Patologia e recuperação das estruturas, 2017, Recife.

OLIVEIRA, T. R. Análise da frente de carbonatação em concreto convencional: estudo de caso em edificações com idade diferenciada na cidade de Juazeiro do Norte-Ce. 2017. 53 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Construção Civil Habilitação em Edifícios, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte – Ce, 2017.

OMONIYI, T.; DUNA, S.; MOHAMMED, A. Compressive strength characteristic of cowdung ash blended cement concrete. **International Journal Of Scientific And**

Engineering Research, [S.L.], v. 5, n. 7, p. 770-776, 20 jul. 2014. IJSER Publishing. <http://dx.doi.org/10.14299/ijser.2014.07.003>.

PALLAPU, V. S.; SATISH, B.J.N.; REDDY, K. H. K. Mechanical and micro structural properties of concrete subjected to elevated temperature. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.606>

PATIAS, N. D. E HOHENDORFF, J. V. Critérios de qualidade para artigos de pesquisa qualitativa. **Psicologia em Estudo**, v. 24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/psicoestud.v24i0.43536>. Acesso em: 22 jun. 2021.

PETERSEN, A. B. B.; ALBERTINI, F. Ma.; TUTIKIAN, B. F. Proposal of a method for service life prediction of a concrete structure: a case study. **Rem - International Engineering Journal**, [S.L.], v. 73, n. 3, p. 311-317, set. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672019730142>.

PEREIRA, A. M. et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. *Revista Materia*, v. 20, n. 1, p. 227–238, 2015.

POLESELLO, E.; ROHDEN, A. B.; MOLIN, D. C. C. da; MASUERO, A. B. O limite de tempo especificado pela NBR 7212, para mistura e transporte do concreto, pode ser ultrapassado? **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 339-359, abr. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952013000200009>.

POSSAN, E. Modelagem da Carbonatação e Precisão de Vida Útil de Estruturas de Concreto em Ambiente Urbano. 2010. 263f. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR** [S.L.], v. 1, n. 1, p. 93-111, 2013. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*.

PRAÇA, F. S. G. Metodologia da pesquisa científica: organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. *Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos*, v. 8, n. 1, p. 72-87, jan - jul, 2015. Disponível em: http://www.uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170627112856.pdf. Acesso em: 22 jun. 2021.

PRAVEENKUMAR, S.; SANKARASUBRAMANIAN, G.; SINDHU, S. Strength, permeability and microstructure characterization of pulverized bagasse ash in cement mortars. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 238, p. 117691, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117691>.

QIU, Q. A state-of-the-art review on the carbonation process in cementitious materials: fundamentals and characterization techniques. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 247, p. 118503, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118503>.

QUDOOS, A.; KIM, H. G.; ATTA-UR-REHMAN; RYOU, J.S. Effect of mechanical processing on the pozzolanic efficiency and the microstructure development of wheat straw ash blended cement composites. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 193, p. 481-490, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.229>.

RAY, S. *et al.* Comparative Study of Hydration Kinetics of Cement and Tricalcium Silicate Using Terahertz Spectroscopy and Density Functional Theory Simulations. **Journal Of Infrared, Millimeter, And Terahertz Waves**, [S.L.], v. 39, n. 7, p. 651-666, 31 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10762-018-0501-7>.

RAISDORFER, J. W.; MEDEIROS, M. H. F. de; HOPPE FILHO, Juarez. Influência da sílica ativa e do metacaulim na velocidade de carbonatação do concreto: relação com resistência, absorção e relação a/c. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 125-139, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400189>.

RIBEIRO, D. V. Estrutura dos poros e mecanismos de transporte no concreto. In: *Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto*. 2. ed. [s.l.] Elsevier Ltd, 2018.

SALOMÃO, P. E. A.; SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, A. N. S. Aspectos gerais do concreto armado e os procedimentos técnicos para sua utilização. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 23-43, 8 mar. 2019. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1020>.

SANTOS, R. F. C.; CASTRO, A. L.; GONÇALVES, K. M. Produção de concreto autoadensável incorporado com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 23, n. 3, 18 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0500>.

SYDRIÃO, Lucas Silva. **COPROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA DE CIMENTO DO CEARÁ: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BIOMASSA**. 2018. 48 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química., Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, A. C.; CAMILO, J. R.; ROHDEN, B. A.; MATOS, L. F. S. Influência da distribuição granulométrica do agregado na exsudação de água em concretos destinados a aplicação em pisos. Congresso Brasileiro do Concreto, [S.L.], V. 59, nov. 2017. ISSN 2175 – 8182, Resumo apresentado no 59º Congresso Brasileiro do Concreto, 2017, [S.L.].

SILVA, F. A. S. Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico na Praia do Futuro em Fortaleza/Ce. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

THAKUR, Dhiraj; THAKUR, Suraj; PAL, Neeraj; KASBE, Pranav; HEGGOND, Shreeshail. EFFECT OF COW DUNG ON PHYSICAL PROPERTIES OF

CONCRETE. **International Research Journal Of Engineering And Technology (Irjet)**, Índia, v. 6, n. 3, p. 4470-4472, 2013.

SILVA, R. T. Estudo da durabilidade de concretos com a substituição do cimento por cinza da casca de arroz sob ação de sulfatos. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2019.

SILVA, T. M. M.; OLIVEIRA, C. O. 2018. Aproveitamento do resíduo de coco verde no ambiente da Grande Vitória, Norde e Sul do Espírito Santo. **Marca Ambiental**. Campos dos Goytacazes. 2018

Souza, Marcela Tavares de, Silva, Michelly Dias da e Carvalho, Rachel de. Integrative review: what is it? How to do it?. **Einstein**, v. 8, n. 1 pp. 102-106, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>. Acesso em: 22 jun. 2021.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi *et al.* REAPROVEITAMENTO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Holos Environment**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 81, 10 jan. 2011. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v11i1.5435>.

TIBBETTS, C. M. *et al.* Relating water permeability to electrical resistivity and chloride penetrability of concrete containing different supplementary cementitious materials. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 107, p. 103491, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103491>.

VÉRAS, Rodrigo Ícaro Pereira. **Sistema mecatrônico de trituração de côco verde para compostagem acelerada**. 2018. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. C. Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 25-40, mar. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212011000100003>.

WU, L.; JU, X.; LIU, M.; GUAN, L.; MA, Y.; LI, M. Influences of multiple factors on the chloride diffusivity of the interfacial transition zone in concrete composites. **Composites Part B: Engineering**, [S.L.], v. 199, p. 108236, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108236>

XIE, Xiaoli *et al.* Diffusion and distribution of chloride ions in carbonated concrete with fly ash. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 218, p. 119-125, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.041>.