

A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO

Acadêmico: Gustavo Silva Santos¹

Orientador: Wellyngton Da Silva Yanaguita²

RESUMO

Diante do aumento da usabilidade do concreto em diversas aplicações ao redor do globo, se fez necessário aumentar a produção de cimento, com isso aumenta-se também a ocorrência de sérios problemas ao meio ambiente por todo o mundo, já que, o resultante da queima da matéria prima do mesmo produz a poluição pelo CO₂, e a degradação ambiental em larga escala. Sendo assim, o metacaulim, um material de natureza pozzolânica tem sido uma das alternativas que mais tem beneficiado nesses quesitos, além também de apresentar maior durabilidade e compressão para estruturas. Outro benefício dessa substância é que o consumo de energia é muito menor, e por isso torna-se vantajoso em questões econômicas e ambientais. Em diversos estudos já realizados, têm se comprovado grandes melhorias com o metacaulim, principalmente se comparando ao concreto convencional, cujas melhorias está a maior resistência de agentes agressivos e corrosivos, tornando-o um produto de maior durabilidade.

Palavra-chave: Metacaulim. Concreto. Cimento.

ABSTRACT

Given the increased usability of concrete in various applications around the globe, it was necessary to increase the production of cement, which also increases the occurrence of serious environmental problems throughout the world, as the result of burning of its raw material produces CO₂ pollution and large-scale environmental degradation. Thus, metakaolin, a material of pozzolanic nature, has been one of the alternatives that has benefited the most in these areas, in addition to providing greater durability and compression for structures. Another benefit of this substance is that its energy consumption is much lower, and that is why it is advantageous in economic and environmental matters. In several studies already carried out, great improvements have been proven with metakaolin, mainly when compared to conventional concrete, whose improvements are the greater resistance to aggressive and corrosive agents, making it a product with greater durability.

Keyword: Metakaolin. Concrete. Cement.

1.0 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que o concreto é um dos materiais mais usados na construção civil, com isso acabam surgindo problemas relativos à estrutura do próprio concreto.

Sendo o concreto utilizado em diversas atividades diferentes, acaba crescendo a necessidade de produzir mais cimento, esse aumento de produção em longa escala ocasiona o aumento da emissão de CO₂ que é resultado da queima das matérias primas, e, por outro lado, para a obtenção dessa matéria prima é realizado a degradação do local (LACERDA; HELENE, 2005).

Diante dessas situações, notamos que cada vez mais está sendo usado concreto em diferentes agressividades e em edifícios cada vez mais esbeltos. Sendo assim, surge a necessidade de concretos especiais e de alto desempenho para atender tais necessidades.

Então pode ser observado que nos últimos anos cresceu muito a busca por concretos especiais, por sua resistência e maior durabilidade, com mudanças em seus materiais constituintes e sua estrutura interna.

Esses concretos estão sendo obtidos pelos avanços na tecnologia do concreto, também devido a adição de materiais cimentícios, como cinzas volantes, escoria de alto forno, pozolanas naturais e sílica ativa quando se tem a necessidade de maiores resistências. É nesse contexto que surgiu o metacaulim, um material pozolânico que possui alta reatividade.

Uma das vantagens que o uso da metacaulim proporciona é em relação a sua obtenção, pois necessita de menor consumo de energia, e, na sua utilização, a substituição ao cimento acaba se tornando uma vantagem não apenas do ponto de vista econômico, mas também ambiental.

Embora a produção do metacaulim no Brasil tenha iniciado por volta de 2002, ele já era utilizado no exterior 10 anos antes, portanto com o estudo de seu comportamento, se torna uma ferramenta de informação tanto científica como para organismos ligados a construção civil (LACERDA; HELENE, 2005)

2.0 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando metodologia de pesquisa bibliográfica que consiste na consulta de material científico já publicado por diferentes autores em diferentes fontes que estejam disponíveis ao público. Os materiais que podem ser consultados nesta

metodologia podem ser livros, artigos científicos, jornais, revistas, teses, artigos encontrados em bases online, entre outros. O objetivo da metodologia de pesquisa bibliográfica é permitir que o autor se aproxime do tema escolhido, colhendo informações de diversas fontes e criando sua discussão e base teórica a partir delas. O papel do autor é selecionar os artigos que se relacionam com o tema, verificar as informações apresentadas e evidenciar semelhanças e diferenças, construindo material para sua elaboração (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa bibliográfica serve como base para diversos outros tipos de pesquisa, pois, toda pesquisa precisa partir de uma construção teórica. Sendo assim, para a realização deste trabalho, foram selecionados artigos pertinentes ao tema escolhido, procurados através das palavras chaves e analisados a fim de identificar quais eram mais adequados. Aqueles artigos identificados como fora do tema foram descartados; é importante que os artigos sirvam como base de sustentação as ideias apresentadas. Após a seleção dos artigos, foi elaborada a base teórica e discussão a partir das informações apresentadas pelos autores citados. A pesquisa bibliográfica precisa ser realizada em uma linguagem que permita que o trabalho seja acessível tanto para a comunidade científica quanto para o público em geral, de forma a auxiliar na disseminação de importantes informações que contribuam para a sociedade (PRODANOV; FREITAS, 2013).

3.1 CONCRETO CONVENCIONAL

Conforme aponta Mehta e Monteiro (2008), o concreto baseia-se em um material composto que é concebido basicamente de um aglomerado constante, cuja composição são fragmentos ou partículas de agregados. O principal papel desta massa composta por misturas dos agregados, fundamenta-se em produzir chance de manuseamento e preencher vazios formados na construção. Quando a massa endurece, cuja aglutinação dos agregados se concluiu, cria-se um sistema de impermeabilidade, a qual resulta-se em algo com grande resistência mecânica e durabilidade.

É muito importante entender o preparo dos concretos, visto que é necessário dosar de forma correta o fator cimento e água, pois havendo excesso de água o cimento será prejudicado, perdendo sua durabilidade e resistência, já o contrário, o mesmo não será hidratado corretamente (PINHEIRO, 2004).

De acordo com entendimento de Almeida (2002), o concreto trata-se de um material simples de boa compressão e resistência, possui facilidade de utilização nas mais diversas formas, e ainda, além de ser um material de baixo custo, o mesmo assegura o local contra o

fogo, porém é um material com várias desvantagens. Pode-se dizer que, algumas desvantagens do concreto consistem em baixa resistência à tração, necessidade de formas para se moldar, muito pesado, baixa resistência a fissuras, entre outras.

Na questão da baixa resistência à tração pode ser resolvido com o uso de adequada armadura, em regra, composta de barras de aço, resultando-se em concreto armado. Sendo assim, cria-se resistência à tração, e o aço assegura a ductilidade, aumentando a resistência à compressão, quando se trata do concreto simples (PINHEIRO, 2004, p. 35).

Neste contexto, ainda existe diversos estudiosos que estão em constante busca por adicionais para melhorar a propriedade dos concretos, como por exemplo, a sílica ativa, cujo material tem proporcionado maior resistência a compressão (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.1.1 CIMENTO

Em regra, o aglomerado é o Cimento Portland, cuja característica se enquadra nas normas da ABNT, que são:

- Cimento Portland Comum NBR-05732
- Cimento Portland de Alto Forno NBR-05735
- Cimento Portland Pozolânico NBR-05736
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial NBR-05733
- Cimento Portland Resistência a Sulfato NBR-05737

Sendo assim, pode-se afirmar que o aglomerante mais adequado, conforma a disposição no mercado, terá sua definição nas especificações dos projetos de forma individualizada, baseando-se no tipo de estrutura, condição, função e exposição. No concreto em massa, deve-se levar em conta o tipo de cimento para o calor e hidratação, e assim poder minimizar os tipos de gradientes térmicos (ALMEIDA, 2002)

3.1.2 AGREGADOS

Agregados são os materiais que, no começo do desenvolvimento do concreto, são incorporados à massa de cimento e água, dando-lhe consistência, e tornando-a mais econômica. Os agregados são divididos em dois grupos, miúdos e graúdos, sendo classificado graúdo todo o agregado que fica retido na peneira e miúdo o que consegue passar pela mesma.

Há também a categorização de artificiais ou naturais, sendo artificiais areias e pedras que vem do britamento das rochas, e naturais que são as areias retiradas de rios ou barrancos e os pedregulhos rolados (pedras do leito dos rios).

A NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) define: “agregado miúdo do qual os grãos ultrapassam pela peneira com fenda de malha de 4,75 mm. Já o agregado graúdo é estabelecido como o agregado do qual os grãos ultrapassam pela peneira com fenda de malha de 75 mm e ficam bloqueados na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.” Os agregados influenciam de 60 a 80% da capacidade do concreto e fora seu crédito no que se refere ao encolhimento e à resistência, o comprimento, a densidade e o formato dos seus grãos podem determinar diversas características requeridas em um concreto.

Segundo a norma 7211:2009, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), agregado para concreto têm de ser “constituído por grãos de minerais duros, compactos, duráveis, estáveis, limpos e que não intervenham na consolidação e hidratação do cimento assim como também na proteção contra corrosão da armadura”.

3.1.2.1 AGREGADOS LEVES

A massa unitária dos agregados mais usados em concretos convencionais pode mudar de 1400 kg/m^3 a 1700 kg/m^3 . Agregados com massa unitária menor que 1120 kg/m^3 são considerados leves, e dispõem como particularidade fundamental uma estrutura elevadamente porosa. Esses agregados podem ser naturais ou fabricados industrialmente (COUTINHO, 1988).

Uma das razões que determinam a categorização dos agregados é a massa característica visível. Podendo ser divididos em leves (argila expandida, pedra-pomes e vermiculita), normais (pedras britadas, areias e pedregulhos) e pesados (hematita, magnetita e barita).

A menor massa dos agregados leves é por causa da microestrutura celular elevadamente porosa. Sobretudo, os agregados dispõem de várias características pretendido em um concreto, como encolhimento e resistência. Entre outros intuitos relevantes dos agregados para concreto, convém destacar:

- Transmissão das tensões aplicadas ao concreto através dos grãos.
- Redução do efeito das variações volumétricas ocasionadas pela retração.

O poliestireno expandido (isopor) moído foi incorporado como agregado leve, assim como a argila expandida. A massa específica aparente pode variar de 10 a 32,5 kg/m³, de acordo com NBR 11752 (2007), justamente por ser uma junção de várias classes do material. Para este agregado determinou-se apenas a massa unitária, segundo a NBR NM 45 (2006).

3.1.3 ÁGUA

A água para o amassamento do concreto deve ser testada em laboratório, para poder realizar uma avaliação da sua viabilidade e também da sua utilização. A mesma deve ser muito limpa e praticamente isenta de álcalis, óleos, sais, ácidos, e de matéria orgânica ou qualquer outro tipo de impurezas, as quais não poderão jamais exceder os limites determinados pela norma NBR-06118.

Para poder realizar a utilização dessas águas, sendo totalmente diferentes das indicadas acima, o Construtor, precisa demonstrar que o presente concreto resultante dessa água possa estar atendendo às Especificações, no que baseia-se a expansibilidade, como também o tempo de pega e sua alta resistência à compressão, a qual é utilizada, para testes de comparação em concretos feitos com essas águas em estudo, e relacionadas com demais concretos feitos para análise dos ensaios com águas de qualidade.

Sendo assim, qualquer tipo de indicação de expansão, que seja sensível a variação do tempo e também de sua pega ou apresente uma redução maior de 10% na sua resistência, serão suficientes para ter a rejeição dessa água reutilizável.

3.1.4 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Trata-se do contato dos componentes, realizando uma pasta sobre as partículas dos agregados, isto é, uma mistura geral desse material. Porém, sua principal exigência é a homogeneidade, a qual pode ser realizada de forma manual ou mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para a mistura manual é recomendado misturas a seco, sendo de agregados miúdos e cimento, cuja maneira é mais fácil para ter uma coloração uniforme, e após essa mistura colocar os agregados graúdo, a qual posteriormente é necessária fazer uma pequena cratera e

ir adicionando a água até que adquira uma homogeneidade que seja compatível para ser transportado e lançado as formas desejadas. Já as misturas mecânicas são realizadas por betoneiras.

3.1.5 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

A trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada facilidade sem a perda de sua homogeneidade. Caracteriza-se pela medida da consistência do concreto (ROSSIGNOLO, 2009).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), em concretos contendo agregado leve, o alto abatimento e a vibração excessiva podem proporcionar sedimentação da argamassa, mais pesada que o agregado leve, ficando em falta na superfície, onde é mais necessária para o acabamento de peças com grandes áreas como lajes e pavimentos. Esse fenômeno é denominado de segregação do agregado graúdo e é o inverso do que ocorre com o agregado convencional, onde a segregação resulta num excesso de argamassa na superfície.

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. O termo consistência está relacionado a características inerentes ao próprio concreto e está mais relacionado com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência é o ensaio de abatimento do concreto, também conhecido como slump test (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto leve possui propriedades térmicas diferentes do concreto convencional. A transferência e a absorção de calor dos agregados leves em relação aos agregados tradicionais, sofrem uma redução causada pelo ar aprisionado na estrutura porosa dos agregados leves, alterando assim as propriedades térmicas dos concretos (ROSSIGNOLO, 2009).

Sobre o desempenho acústico, Neville (1997) cita que a energia sonora propagada pelo ar se transforma em calor nos pequenos vazios do agregado, a absorção dos sons através do concreto leve pode ser considerada satisfatória, resultando assim em uma absorção acústica duas vezes maior em comparação aos concretos normais.

Já em relação à resistência do fogo, Neville (1997) cita que o desempenho do concreto leve é maior do que quando se usa concretos com agregados convencionais, pois os concretos leves com a elevação da temperatura, perdem uma menor fração de sua resistência inicial e apresentam menor tendência à fragmentação.

4.1 CONCRETO COM METACAULIN

O metacaulim trata-se de um material constituído de sílica e alumina em sua fase amorfa, cuja capacidade é sua reação com hidróxido de cálcio que é gerado no momento da hidratação do cimento Portland, porém, formando produtos hidratados que são similares ao cimento Portland. Este adicional é capaz de acelerar a hidratação do cimento, dando origem ao silicato de cálcio hidratado.

4.1.1 DOSAGEM E PRODUÇÃO DO CONCRETO COM METACAULIM

A dosagem e produção concreto com metacaulim é determinada pela combinação mais econômica dos constituintes que incluem principalmente cimento Portland, agregados e água, de forma que as propriedades desejadas sejam atingidas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (ROSSIGNOLO, 2009).

Conforme Rossignolo (2009), para a dosagem do concreto com metacaulim deve-se utilizar os mesmos métodos utilizados para concretos convencionais, porém são necessárias mudanças devido a alguns atributos. Há a necessidade de destacar um concreto com massa específica particular, pois durante sua produção é observado a flutuação do agregado durante a vibração, o inverso do que ocorre com o concreto convencional, onde existe concentração de argamassa na superfície.

A absorção de água dos agregados também é diferenciada, pois pode levar a uma alteração no fator água/cimento e afeta as propriedades de trabalhabilidade e a resistência final. O agregado metacaulim é o responsável pela resistência do concreto, visto que sua resistência na massa é superior (ROSSIGNOLO, 2009).

Muitos foram os trabalhos científicos para poder fundamentar e reforçar a capacidade de suporte do concreto com metacaulim, contudo, é relevante ressaltar tamanha importância de também demonstrar a durabilidade, salientando a contribuição do metacaulim nos concretos de ambientes marinhos, visto que a ação dos cloretos é um importante corrosivo (ABNT - NBR 12653, 2014).

Vale mencionar que, a pozolana trata-se de materiais silicoaluminosos com pouca atividade de caráter aglomerante, porém, quando está na presença de água é altamente capaz

de reagir com hidróxido de cálcio e transforma-se em temperatura ambiente, compostos aglomerantes. Quando o mesmo é proveniente do caulim com alto índice de pureza, após esse processo de moagem e calcinação gera-se pozolanametacaulim altamente reativa (SOUZA, 2003).

Conforme entendimento de Souza (2003) a formação química do metacaulim, ou seja, os caulim e as argilas caulínicas são submetidas a um tratamento térmico, passa a ter seu arranjo atômico destruído, já que retira-se os íons hidroxilas, cujo processo químico apresenta-se da seguinte forma: $[Al_2Si_2O_5(OH)_4] \longrightarrow [Al_2O_3 \cdot 2SiO_2] + [2H_2O]$

Os minerais de metacaulim contêm placas finas contínuas, reservadas, e o tamanho da unidade é de aproximadamente 7,2 Å. Essas unidades são mantidas juntas por ligações de hidrogênio entre as camadas, para que os minerais não se dispersem na água. Suas partículas são muito pequenas, com magnitude lateral entre 0,3 µm e 4,0 µm e diâmetro entre 0,05 µm e 2 µm (MURAT, 1983).

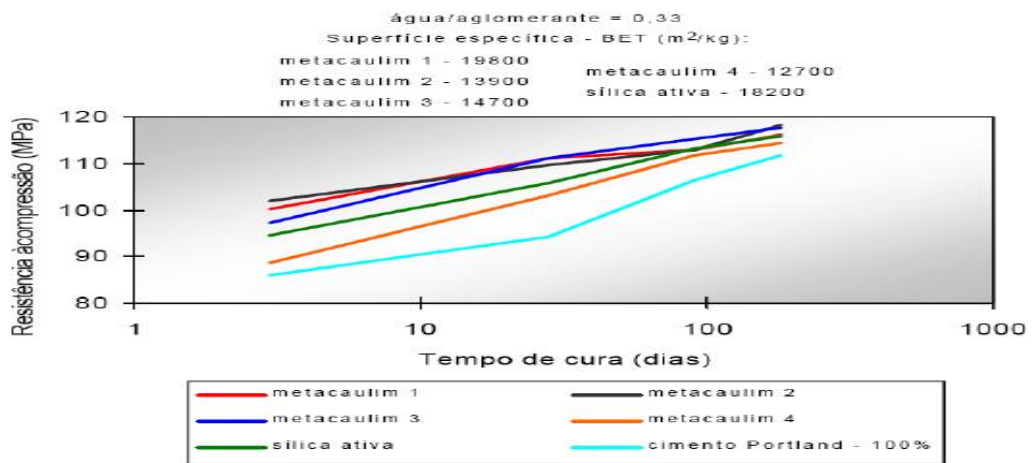
O metacaulim possui granulometria entre 0,2 a 15 µm e sua localização específica encontra-se em valores superiores a 12.000 m² / Kg. Já o MCAR possui área específica de até 60.000 m² / kg e suas partículas são lamelares (NITA, 2007).

Montes com metacaulim para substituir o cimento a uma taxa de 0% (referência), 5%, 10% e 15%, todas as famílias com característica 1: 1: 6: 1,5 (cimento, cal, areia e água / cimento), com um teor ideal de 15%, pois melhores resultados mecânicos são garantidos (resistência à compressão, pressão diametral e resistência à tração) e testes relacionados à durabilidade (absorção total e capilaridade) (MALHOTRA; MEHTA, 1996).

Um estudo com quatro tipos diferentes de metacaulim e chamas de sílica, em vez de 15% do peso do cimento na lama mais ativa, mostrou um efeito positivo da adição de resistência à compressão (CURCIO; ANGELIS; PAGLIOLICO, 1998).

Na Figura 1, pode-se observar que, nos primeiros anos, gorros contendo metacaulim com determinada área superficial (1, 2 e 3), apresentavam valores de energia superiores aos encontrados em barris de referência e fogos de sílica. No entanto, em idades mais avançadas, amostras inflamáveis de metacaulim e sílica mostraram níveis semelhantes de resistência (CURCIO; ANGELIS; PAGLIOLICO, 1998).

Figura 1: Resistência à compressão – argamassa com metacaulim



Fonte: Curcio; Angelis; Pagliolico (1998).

O concreto por incorporar teor de cimento de 8% de sílica e metacaulim, apresentou um aumento na resistência do módulo de até 15% na família com metacaulim. Este fato pode ser devido a uma reação pozolânica que reduz significativamente a porosidade, tornando a matriz desses compostos mais escura. (LACERDA; HELENE, 2005).

4.1.2 TRABALHABILIDADE

Entre tantas, uma das principais propriedades do concreto, em estado fresco, sofrendo alterações na adição de minerais trata-se da trabalhabilidade. Sendo assim, estudos afirmam que os concretos que adição de mineral tem melhor trabalhabilidade quando compara-se com concretos de referências (NEVILLE, 1997).

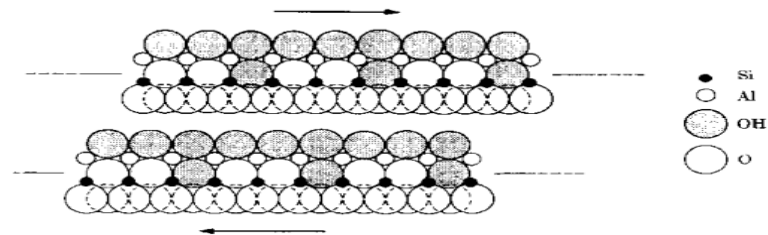
Pode-se afirmar que este tipo de melhoras decorre pela inclusão de material mais fino, além da quantidade adequada por parte da sílica que está ativa no metacaulim. Contudo, pode-se também ser explicada pela ação de mecanismos intrínsecos das adições.

Sendo assim, de acordo com entendimento Neville (1997), a sílica em suas partículas possui um formato esférico que acaba promovendo o efeito de rolamento, o que facilita a movimentação desse agregado na pasta, ou seja, com a presença da água entre as partículas da sílica em conjunto com o cimento, passa a proporcionar um tipo de efeito mais lubrificante e desta maneira automaticamente também melhor de forma significativa a trabalhabilidade.

Já com o metacaulim esse efeito é diferente, o qual possivelmente será outro que não ao rolamento, e isso decorre pelo formato da camada que fica superposta nas microestruturas

da material prima. Desta forma, conforma apresenta a figura 2, existe um efeito de deslizamento, mas com as placas menores. Isso ocorre porque o metacaulim, assim como demais materiais lamelares, possuem uma forte ligação ao longo das camadas, que ficam ligeiramente ligadas entre elas. E com isso, algumas tensões do tipo cisalhamento adequam-se em uma alinhamento capaz de provocar o escorregamento entre as camadas.

Figura 2: Deslizamento entre as camadas da estrutura, similar ao metacaulim



Fonte: Lacerda; Helene (2005)

Nota-se que, havendo adsorção da água nessas camadas acentua-se o escorregamento, visto que, o mesmo funciona com um tipo de lubrificante, cuja função é facilitar o deslizamento das placas uma sobre a outra. Isso decorre por causa da polarização da estrutura interna da camada.

Desta forma, o concreto que contém o metacaulim, apresenta melhor trabalhabilidade, visto que apresenta maior facilidade de manuseio e ainda consegue manter sua homogeneidade para todo o processo de moldagem, que baseia-se em, mistura, adensamento, lançamento e acabamento (NEVILLE, 1997).

4.1.3 MASSA ESPECÍFICA

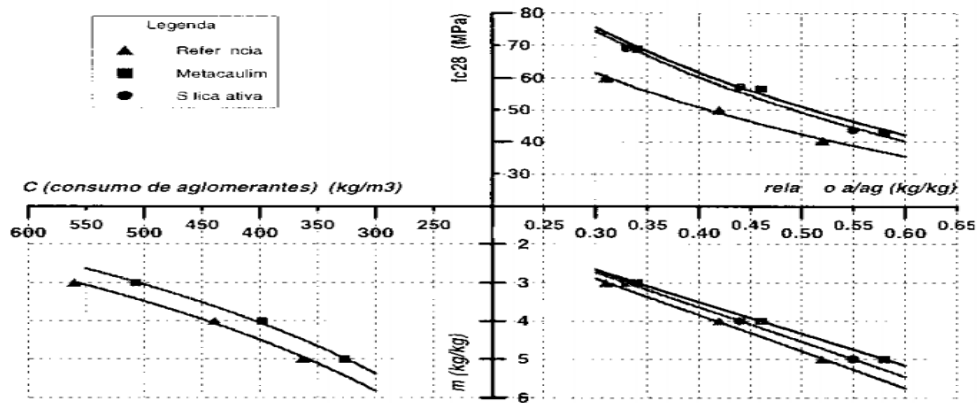
As massas específicas de concreto que tem a adição, são muito menores quando compara-se aos concretos de referência, e apesar de existir o efeito *filler*, o qual leva-se a uma massa maior e mais específica pela compactidade, além do aumento da coesão pela adição dos minerais. Este fato justifica-se exatamente pela adição desses minerais, ou seja, da metacaulim e também da sílica ativa, que possuem massas específica de 2220kg/m^3 e 2650kg/m^3 , sendo bem menor do que a massa de cimento que é de 3030kg/m^3 . (MEHTA, MONTEIRO, 2000)

4.1.4 RESISTÊNCIA

A partir de estudos realizados para resistência a compressão, foi possível a criação de diagrama com resultados de 28 dias, sendo possível observar qual foi a maior resistência à compressão alcançada com os concreto que teve adição de metacaulim e a sílica ativa (CALDARONE, 1994).

Na figura 3 apresenta esses diagramas.

Figura 3: Diagrama de dosagem para resistência à compressão



Fonte: Lacerda; Helene (2005)

Nota-se que, os concretos que teve adição o consumo de cimento é bem menor quando se compara ao concreto de referência. Apesar que isso já era esperado, já que na adição no mineral faz-se a substituição deste com o cimento, ou seja, 8% do cimento é substituído pelo metacaulim, contudo, mediante uma análise mais minuciosa é comum observar que vai muito mais além desses 8%. (KHATIB; WILD, 1996)

4.1.5 PERMEABILIDADE E DURABILIDADE

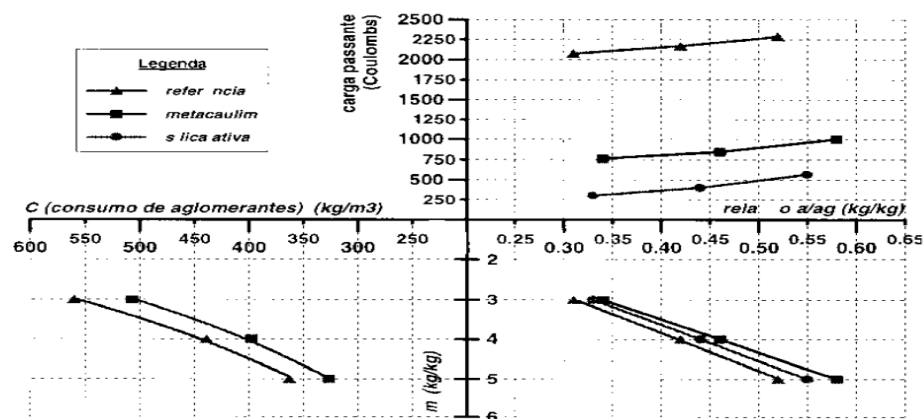
Entre as maiores preocupações dos engenheiros e também da sociedade, é a durabilidade dos concretos, sendo por questão econômica, já que os custos do reparo possuem altos patamares para melhorias na qualidade de durabilidade e, também por questões ecológicas aos recursos naturais. Nota-se que, os concretos estão sendo muito utilizados em diversas ocasião, como em redes de tratamento de água e esgoto, plataformas marítimas, indústrias químicas e nucleares, obras litorâneas, entre outras (TUUTI, 1982).

Vale mencionar que, um dos principais agente de grande agressividade encontrado nos concretos são os íons de cloreto, sendo estes os mais encontrados nas regiões de litoral, reservatórios de água tratadas, atmosferas industriais, industrias de águas contaminadas, entre outras (ISAIAS, 1995).

4.1.6 APLICAÇÕES DO CONCRETO COM METACALIM

De acordo com alguns estudos, afirmam-se que, na faixa de 100 a 1000 Coulombs (trata-se de uma unidade de carga elétrica, cujo símbolo é C) os concretos são de altíssima resistência a penetração de cloreto, ou seja, tem baixa probabilidade de uma corrosão, já os de 1000 a 2000 com alta resistência, os de 2000 a 4000 estão o de moderada e quando apresenta um valor maior de 4000, possui resistência muito baixa, fatos que pode ser observado na figura abaixo (TUUTI, 1982).

Figura 4: Resultado de resistência à penetração de cloreto



Fonte: Lacerda; Helene (2005)

Nestes estudos, as comparações apresentaram que a resistência contra a penetração do cloreto (de acordo com a figura acima) foi altamente resistente a essa penetração, e as peças que teve esse resultado tratava-se de cimento que teve a adição de minerais, já que está adição resultam em cristais que preenchem a passagem dos cloreto, fazendo com que este concreto seja menos permeável (ISAIAS, 1995).

Essa diferença pode ser notada o metacaulim além de ter o silício também existe em si compostos como ferro, alumina e outros minerais que permite diferentes compostos. Sendo assim, entende-se que na fase do ferro-aluminato e aluminato do cimento, é exatamente os responsáveis pela retenção dos cloretos (TUUTI, 1982).

5.0 CONCLUSÃO

A sociedade contemporânea em sua busca frenética pelo desenvolvimento tem enfrentado problemas cruciais em relação as estruturas de concreto, sendo eles de caráter ambiental e prático. O primeiro por conta do crescente consumo de cimento, sendo este um elemento indispensável na confecção de concreto, mas que no seu processo de extração e produção causam um grande impacto ambiental, através da degradação do ambiente onde ele é extraído e das altas taxas de CO₂ na sua confecção, e o segundo por conta dos ambientes cada vez mais agressivos (decorrentes da crescente poluição) e das construções cada vez mais complexas, esbeltas e sofisticadas, onde já podemos observar as limitações do mesmo.

Em face dos problemas relatados, tornou-se essencial o desenvolvimento de concretos especiais que atendam a essas necessidades, e através do estudos demonstrados nesse artigo, pudemos observar que o uso do metacaulim atende á essas necessidades, com propriedades mecânicas e durabilidade mais elevadas em relação ao concreto convencional.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. 2009. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/Siteocente/admin/arquivosUpload/17827/material/Nbr_7211_2005.pdf>

Acesso em: Set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653 - Materiais Pozolânicos. 2014 Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=316665>

Acesso em: Set. 2021.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Fundamentos do concreto armado**. São Paulo, IBRACON. 2002.

CALDARONE, M. A, *et al.*, **High-Reactivity Metakaolin: A New Generation Mineral Admixture**. Concrete International. 1994.

COUTINHO, Fabrico. **Propriedades do Betão**. 2a.ed., Vol 1, LNEC, Lisboa, Portugal (1988), 400 p.

CURCIO, F., De ANGELIS, B.A., PAGLIOLICO, S., "Metakaolin as a pozzolanic microfiller for high-performance mortars", Cement and Concrete Research, v.28, 803-809, 1998.

KHATIB, J.M; WILD, S. **Pore Size Distribution of Metakaolim Paste**. Cement and Concrete Research. 1996.

ISAIA, G.C. **Efeitos de Misturas Binárias e Ternárias de Pozolanas em Concreto de Elevado Desempenho: Um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da Armadura**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1995

LACERDA, Charles Siervi; HELENE, Paulo R. L. **Estudo da influência da substituição de cimento Portland por metacaulim em concretos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. ISSN 0103-9830 BT/PCC/419. 2005

MALHOTRA, V.M., MEHTA, P.K., "Pozzolanic and cementitious materials", 1ed. Amsterdam, Advances in Concrete Technology, 1996

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição, São Paulo, IBRACON, 2008

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedade e Materiais**. Editora PINI, 2000.

MURAT, M., "Hydratation reaction and hardening of calcined clays and related minerals ", Preliminary investigation on metakaolinite. Cement and Concrete Research, v.15, n.2, 261-268, 1983.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: PINI, 1982. 828p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 4.ed. São Paulo: Pini, 1997.

NITA, C., JOHN, V.M., **Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa**, Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ROSSIGNOLO, João A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2009.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Paulo, IBRACON. 2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <<https://www.feevale.br/institucional/editora-feevale/metodologia-do-trabalho-cientifico---2-edicao>>. Acesso em: Set. 2021.

SOUZA, P.S.L., **Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência**, Tese de D.Sc., UFRGS. Porto Alegre, Brasil, 2003.

TUUTI, K. **Corrosion of Steel in Concrete Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute**. 1982