

Estudo para melhoramento do concreto utilizado para postes de energia elétrica produzido em uma empresa de pré-moldados

Fernanda Menegazzi¹

Jhulis Marina Carelli²

Maiara Foiato³

Resumo

O concreto é um dos materiais da construção civil mais utilizado no mundo e em consequência disso é necessário que haja estudos que possibilitem sua produção com a devida qualidade, prezando pela economia, e que atenda ao seu desempenho com êxito. Com este estudo busca-se por novas dosagens para uma empresa de pré-moldados, para que se atinja aos requisitos mínimos solicitados para postes de concreto armado, sendo resistência à compressão maior ou igual a 30 MPa requerido pela Celesc (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2014) e absorção de água média menor ou igual a 5,5% imposto pela NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Para isso, fez-se uma visita em uma empresa de pré-moldados localizada no município de Irani, SC, com o intuito de verificar o processo de produção utilizado pela empresa, bem como, o traço empregado, as características do concreto verificadas através do *slump test* e da determinação da massa específica, e da condição de estocagem dos agregados. Esta pesquisa contemplou também um estudo referente ao empacotamento de partículas, pois com ele é possível determinar uma proporção adequada de materiais de diferentes granulometrias de forma a constituir o melhor entrosamento para que a pasta de cimento hidratada preencha os vazios restantes entre os agregados. A partir da dosagem referência in loco, juntamente com o estudo de empacotamento de partículas, foi possível a determinação de novos traços para avaliação da resistência à compressão e para a determinação do índice de absorção de água no concreto. Fez-se uso de aditivos plastificantes com a finalidade de melhorar algumas características do concreto no estado fresco e endurecido. Realizou-se também a caracterização de todos os agregados utilizados pela empresa para a produção do concreto, visto que, foram estes os agregados utilizados durante esta pesquisa. Assim, foi possível determinar um traço que atende a todos os requisitos normativos, de 1:1,38:1,61:1,505:1,505:0,59 (cimento, areia, pó de pedra, brita 0, brita 1 e água), com a adição de 0,5% de aditivo plastificante. Comparando com o preço atual da empresa, essa dosagem gerou um aumento no custo do concreto em aproximadamente 1,4% por m³.

Palavras-chave: Concreto pré-moldado. Empacotamento. Resistência. Absorção de água no concreto.

¹ Graduanda em Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; menegazzi_nanda@hotmail.com

² Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; jhulis.carelli@unoesc.edu.br

³ Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; maiara.foiato@unoesc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O uso de elementos pré-moldados em obras da construção civil gera um significativo aumento na velocidade para a execução das obras e estão cada vez mais sendo utilizados pelos usuários por trazerem diversos benefícios.

Diante disso, buscou-se verificar as condições de produção do concreto em uma empresa de pré-moldados, onde foram realizados testes com o concreto produzido atualmente pela empresa, visando avaliar a sua resistência à compressão e absorção de água.

A partir da verificação realizada dentro da empresa, o traço utilizado atualmente foi reproduzido em laboratório, tendo um cuidado especial com a umidade dos materiais. Com o resultado do traço referência, foram realizados novos estudos de dosagem para se obter um concreto que atendesse às especificações normativas e fosse economicamente viável, de modo a garantir maior durabilidade às estruturas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Segundo a Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto (2013), pré-moldagem é o processo de construção em que a obra ou parte dela, é moldada fora de seu local de uso definitivo.

Para Ordóñez (1974 apud ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2013), a pré-fabricação é um método industrial de construção em que os elementos fabricados em grandes séries, por métodos de produção em massa, são montados na obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação.

Realizando uma comparação entre os métodos de construção tradicionais e outros materiais de construção, Acker (2002) ressalta que os sistemas pré-fabricados e o concreto utilizado na pré-fabricação possuem características positivas, sendo uma forma industrializada com muitas vantagens.

Acker (2002) cita que a produção em fábrica possibilita processos de fabricação mais eficientes, pois possui trabalhadores especializados e um controle de qualidade maior. Cada vez mais busca-se por inovação tecnológica de novos sistemas e processos construtivos, desta forma, vem-se implementando gradativamente a automação.

O sistema de pré-fabricação possui maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade do que construções realizadas no local, pois possui o uso de equipamentos modernos e procedimentos de fabricação bem elaborados (ACKER, 2002).

Doniak e Gutstein (2011) citam a grande aplicabilidade dos elementos pré-fabricados em concreto em obras industriais, comerciais, habitacionais e de infraestrutura (pontes, viadutos, passarelas, portos, aeroportos e na área de energia).

2.1.1 Postes para distribuição de energia elétrica

Postes de concreto são definidos segundo a NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) como elemento estrutural pré-fabricado de concreto, classificado em função do seu formato, comprimento nominal e carga nominal. Quanto ao formato pode ser circular, retangular, quadrada ou duplo T.

A NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) especifica que os postes devem apresentar superfície lisa, sem aparentar ninhos de concretagem, armadura aparente, fendas ou fraturas. A vida útil especificada por esta norma é de no mínimo 35 anos a partir da data de fabricação, não admitindo falhas nos primeiros 5 anos.

Os materiais utilizados para a fabricação dos postes: cimento, agregados e água devem ser verificados segundo normas que os regulamentam, a fim de garantir a qualidade do concreto produzido (NBR 8451-1; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Conforme a Celesc (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2014), o concreto a ser utilizado para a confecção de postes de energia elétrica deve apresentar resistência de ruptura a compressão igual ou maior que 30MPa. Para controle da resistência a compressão do concreto devem ser obedecidas as normas NBR 5738 e NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

A durabilidade dos postes, segundo a NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), é a capacidade de resistir a ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, ou seja, o poste de concreto durável deve conservar sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando expostos ao meio ambiente.

De acordo com a NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), os postes devem atender ao teor médio de absorção de água de no máximo 5,5% para a classe de agressividade II.

A Celesc (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2014) salienta que para a verificação do controle de qualidade dos produtos realizados por empresas terceirizadas, devem ser realizados alguns ensaios, entre eles está o ensaio de resistência à compressão e de absorção de água.

2.2 EMPACOTAMENTO DOS AGREGADOS

Segundo Castro e Pandolfelli (2009), nos últimos anos, o interesse pelo empacotamento das partículas aumentou nas diferentes áreas da engenharia, devido ao fato de que muitos materiais naturais ou industriais são ou contém partículas de diferentes tamanhos e formas. As partículas são consideradas como os grãos dos agregados, minerais, metais ou pós químicos, solos, moléculas, poros ou rochas, assim o comportamento dos materiais depende

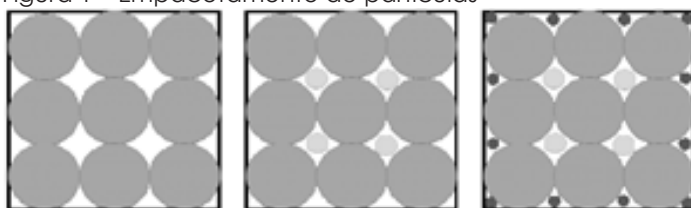
parcialmente das propriedades das partes que o compõe e parcialmente das interações entre elas.

O projeto de distribuição de tamanho de partículas, de acordo com Castro e Pandolfelli (2009), é de fundamental importância, pois promove o empacotamento e, juntamente com o fluido, define as propriedades reológicas do material durante o processo de mistura e quando no estado fresco.

Castro e Pandolfelli (2009) definem o estudo de empacotamento das partículas como o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos por partículas menores.

Para Reginato, Trentin e Piovesan (2010), o empacotamento real de partículas consiste em que uma fração com granulometria menor que a outra ocupe os vazios deixados pela fração granulométrica maior (Figura 1). Portanto, o empacotamento se desenvolve da fração granulométrica maior para a menor. Porém este empacotamento é aconselhável para agregados com dimensões superiores a 2 mm e assim analisado experimentalmente através da mistura dos agregados de granulometrias diferenciadas.

Figura 1 – Empacotamento de partículas



Fonte: Oliveira et al. (2000 apud MARCHIONI, 2012).

Conforme Castro, Liborio e Pandolfelli (2011), os modelos de empacotamento de partículas podem fornecer ferramentas para melhorar o desempenho de um concreto pela redução do teor de água livre e aumento da quantidade de sólidos. Eles permitem determinar a combinação ótima dos constituintes da mistura afim de obter máxima densidade de empacotamento e, com isso minimizar a quantidade de vazios.

Para determinar a proporção entre dois materiais que possuem a menor quantidade de vazios, deve-se empacotar os agregados, dois a dois, e em ordem decrescente de diâmetro. Determina-se a composição entre dois agregados de maior diâmetro, e realiza-se o mesmo processo com a mistura e o próximo componente (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Tutikian e Dal Molin (2008) citam um exemplo de empacotamento da brita com a areia média e em seguida, a mistura é empacotada com a areia fina, resultando em uma mistura com o mínimo de vazios.

Tutikian e Dal Molin (2008) propõem um método de empacotamento onde inicia-se a mistura com 100% do material com maior granulometria e 0% do material com menor granulometria para o cálculo da massa unitária, decresce a quantidade do material de maior granulometria em 10% e aumenta na mesma proporção o de menor granulometria.

Com os resultados da massa unitária é possível calcular o índice de vazios da mistura. Para isso, é necessário que se determine a massa específica da mistura através da Equação 1 (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

$$MespAB = \frac{(MespA * \%A) + (MespB * \%B)}{100} \quad (1)$$

Onde:

$MespA$ = Massa específica do agregado A;

$MespB$ = Massa específica do agregado B;

$\%A$ = Porcentagem do agregado A na mistura;

$\%B$ = Porcentagem do agregado B na mistura.

Tutikian e Dal Molin (2008) trazem também a Equação 2, para determinar a mistura ideal com o menor índice de vazios e avaliar qual proporção entre os agregados é a ideal.

$$V = \frac{MespAB - MunitAB}{MespAB} * 100 \quad (2)$$

Onde:

$MespAB$ = Massa específica da mistura AB; = Massa unitária da mistura AB.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa inicialmente fez-se uma visita *in loco* na empresa em estudo que está localizada no município de Irani, SC, com o intuito de avaliação do local e do concreto produzido. Na empresa, avaliou-se as características do concreto através do *slump test*, determinou-se também a sua massa específica, avaliou-se a condição de estocagem dos agregados e o traço empregado pela empresa.

Coletou-se uma certa quantidade de cada agregado (areia natural, pó de pedra, brita 0 e brita 1) utilizado para a confecção do concreto, para realizar as dosagens em laboratório. O cimento CP V ARI, da marca Supremo também foi adquirido na empresa, com a finalidade de utilizar todos os materiais de forma a ficar idêntico com o que a empresa apresenta. No laboratório, caracterizou-se os agregados a fim de determinar algumas de suas propriedades. Realizou-se os ensaios de massa específica, granulometria e teor de material pulverulento.

Com os agregados caracterizados, fez-se o estudo de empacotamento de partículas para a determinação do empacotamento ideal e, a partir disso, definir alguns dos traços a

serem estudados. No Fluxograma 1 é possível a visualização da metodologia empregada nesta pesquisa.

Fluxograma 1 – Metodologia da pesquisa



Fonte: os autores.

No laboratório, também se utilizou aditivo plastificante Tec Mult 870, com o intuito de melhorar algumas propriedades do concreto.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados foram realizados conforme normas regulamentadoras: granulometria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c), massa específica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a, 2009b), teor de material pulverulento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), massa unitária e volume de vazios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

3.2 EMPACOTAMENTO DOS AGREGADOS

Realizou-se o estudo do empacotamento dos agregados, utilizando o método que define a massa unitária do agregado gráudo, estabelecido pela NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Além da avaliação realizada pelo método da massa unitária, calculou-se o índice de vazios para cada mistura, seguindo o método proposto por Tutikian e Dal Molin (2008). Todos os agregados foram previamente secos em estufa.

Iniciou-se com a massa da brita sendo 100%, o equivalente a 24 kg, e a partir deste valor calculou-se a quantidade necessária de brita 0 que deveria ser adicionada a mistura em adições de 10% em 10%. Quando adicionado à mistura 10% de brita 0, foi necessário considerar que a brita 1 passou a ser 90% da mistura.

Abaixo está demonstrado um cálculo para exemplificar como procedeu-se a determinação das massas em relação as porcentagens:

$$\begin{aligned} 90\% &\rightarrow 24 \text{ kg} \\ 10\% &\rightarrow x \\ x &= 2,666 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 80\% &\rightarrow 24 \text{ kg} \\ 20\% &\rightarrow x \\ x &= 6 \text{ kg} \end{aligned}$$

A primeira massa de brita 0 a ser adicionada a mistura possui 2,666 kg. Quando a porcentagem de brita 0 mudou e passou a ser 20%, foi necessária a adição de 6 kg de brita 0 à mistura, porém, como já haviam 2,666 kg na mistura, somente o restante de material para chegar a 6 kg (3,334 kg) foi adicionado. Este procedimento foi realizado para todas as porcentagens realizadas.

Utilizou-se um carrinho de mão, onde foram depositados os 24 kg de brita 1 e, em seguida, as adições de massa de brita 0, referente a cada porcentagem estudada, misturando bem os agregados.

Após definida a melhor proporção de brita 1 e brita 0, fez-se o empacotamento com os agregados graúdos e o pó de pedra. Para tal, somou-se as massas de brita 1 e brita 0 na proporção que apresentou maior massa unitária, considerando-as agora como sendo 100%, e realizando os mesmos cálculos utilizados para o procedimento feito com a brita 0, a fim de determinar a massa de pó de pedra a ser adicionada referente a cada porcentagem, até se obter a massa unitária ideal.

Para o empacotamento do pó de pedra a mistura foi iniciada com a porcentagem de 70% de mistura (brita 1 + brita 0) e 30% de pó de pedra e fez-se adições de 10% em 10% até se obter a maior massa unitária (Fotografia 1a).

A mesma metodologia foi empregada para fazer o empacotamento utilizando a areia natural, iniciando, desta vez, com proporção dos três materiais (brita 1, brita 0 e pó de pedra) que apresentou maior massa unitária sendo considerado como 100%. Iniciou-se o empacotamento considerando 80% de mistura (pó de pedra + brita 1 + brita 0) e 20% de areia, e realizou-se as adições de 10% em 10% (Fotografia 1b).

Fotografia 1 – Empacotamento (a) com adição de pó de pedra; (b) com adição de areia natural



(a)



(b)

Fonte: os autores.

3.3 DOSAGEM DO CONCRETO

3.1.1 *Visita in loco*

A empresa em estudo produz, nesta unidade, postes para distribuição de energia elétrica padrão da Celesc, tubos e vigotas.

Na primeira visita avaliou-se o concreto produzido para a fabricação de postes de energia elétrica, padrão da Celesc. Realizou-se a moldagem de 8 corpos de prova (CP's) de concreto, sendo 6 deles destinados ao ensaio de compressão (7 e 28 dias), seguindo as prescrições das NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) e NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), e 2 para o ensaio de absorção, conforme a NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009d) aos 28 dias.

Na mesma oportunidade, verificou-se a consistência do concreto utilizado através do *Slump Test*, conforme a NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) e realizou-se também o ensaio de massa específica do concreto, de acordo com a NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009e).

Coletou-se uma pequena porção de cada tipo de agregado utilizado pela empresa para a confecção do concreto verificado no dia, a fim de aferir a umidade dos materiais. Assim, pode-se fazer a correção da água e dos materiais utilizados no traço, a fim de reproduzi-lo em laboratório.

A empresa em estudo faz o proporcionamento dos materiais em massa, não necessitando realizar a aferição dos materiais em volume. A água utilizada para a produção do concreto é adicionada por um funcionário, com quantidade variável com relação apenas ao aspecto visual do concreto.

Realizou-se mais duas visitas a empresa a fim de verificar se a consistência do concreto variava. Na primeira, onde fez-se a moldagem dos corpos de provas e a determinação da massa específica, o *slump* obtido foi de 7,5 cm, enquanto nas outras duas os valores foram de 6,0 cm e 7,0 cm. Para a reprodução dos traços utilizou-se como parâmetro o *slump* de 7,5 cm.

3.1.2 *Dosagem em laboratório*

Após a fixação da trabalhabilidade de 7,5 cm (com aproximação de $\pm 0,5$ cm) para todos os traços, realizou-se a moldagem de 5 corpos de prova para cada dosagem, sendo 3 destinados para avaliar a resistência à compressão e 2 para realização do ensaio de absorção.

Todos os materiais foram medidos em massa, como é realizado na empresa. Antes da execução dos traços a betoneira foi molhada e retirou-se todo o excesso de água.

Como os traços realizados no laboratório são feitos em betoneira, a ordem de colocação dos materiais foi diferente da empregada pela empresa, visto que eles utilizam

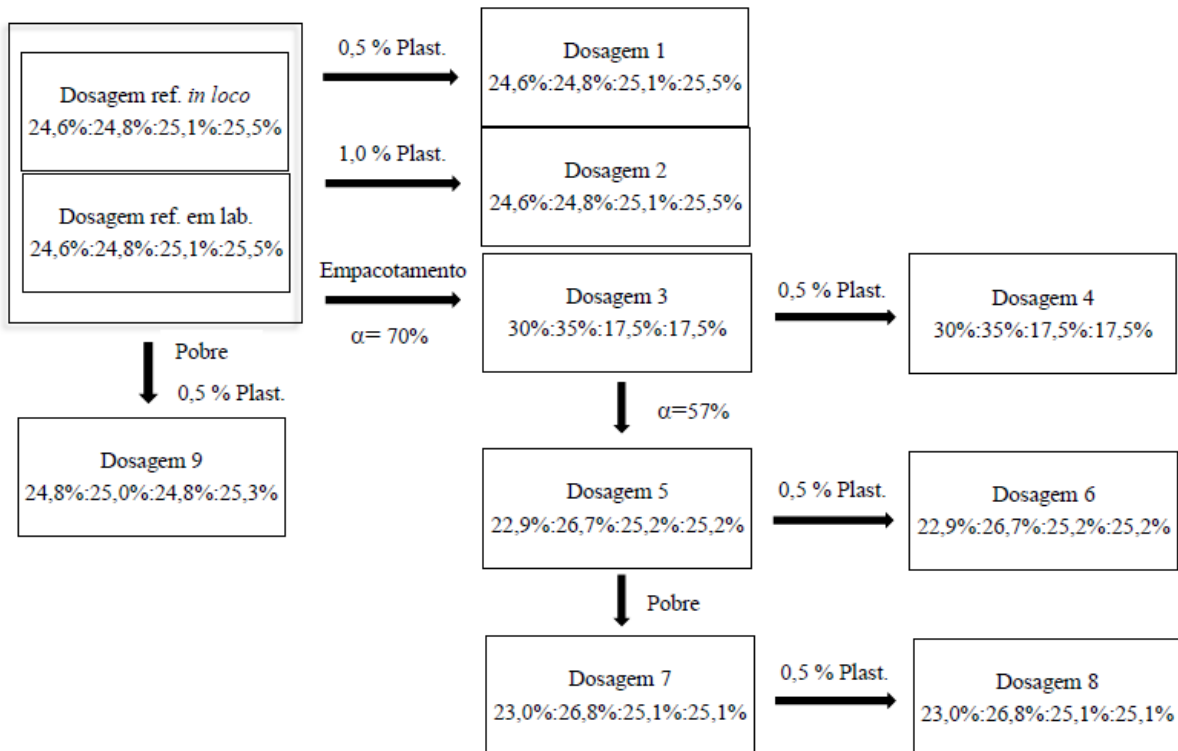
um misturador para concreto onde todos os materiais são adicionados ao mesmo tempo. Inicialmente colocou-se todo o agregado graúdo (brita 0 + brita 1), e adicionou-se um pouco de água, ligou-se a betoneira por cerca de 5 s, em seguida acrescentou-se o cimento e mais uma parte de água, por fim adicionou-se o agregado miúdo (areia natural + pó de pedra) e fez-se a adição de água aos poucos até se obter a trabalhabilidade desejada.

Em alguns traços utilizou-se aditivo plastificante, sendo que este foi adicionado à mistura quando todos os materiais já estavam na betoneira.

Além do valor do *slump test*, inicialmente, fixou-se também o teor de argamassa do concreto da empresa para a maioria dos traços. As dosagens estudadas em laboratório são todas compostas de 1:a:p:b0:b1, sendo respectivamente, cimento, areia, pó de pedra, brita 0 e brita 1.

O Fluxograma 2 mostra de forma simplificada as dosagens estudadas durante esta pesquisa. Dentro dos quadros está o nome dado para cada dosagem e a proporção entre agregados utilizados na mistura, sendo respectivamente, areia, pó de pedra, brita 0 e brita 1. Sobre as setas, está representada a porcentagem de aditivo, quando utilizado, e também a principal modificação realizada entre a dosagem e sua derivada.

Fluxograma 2 – Dosagens estudadas – proporção entre agregados



Fonte: os autores.

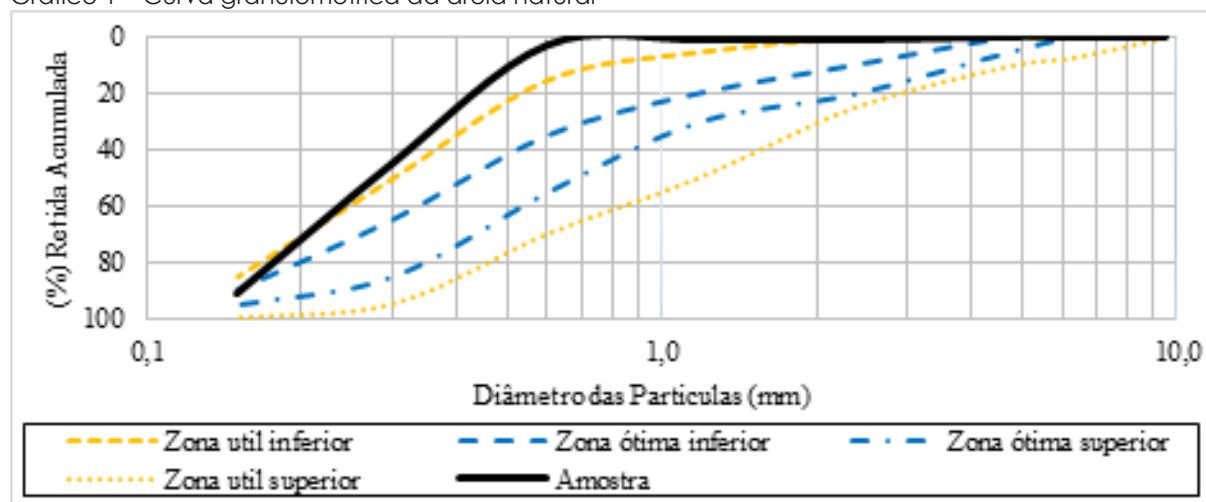
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Agregado miúdo

As curvas granulométricas obtidas para a areia natural e o pó de pedra encontram-se nos Gráfico 1 e Gráfico 2:

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia natural



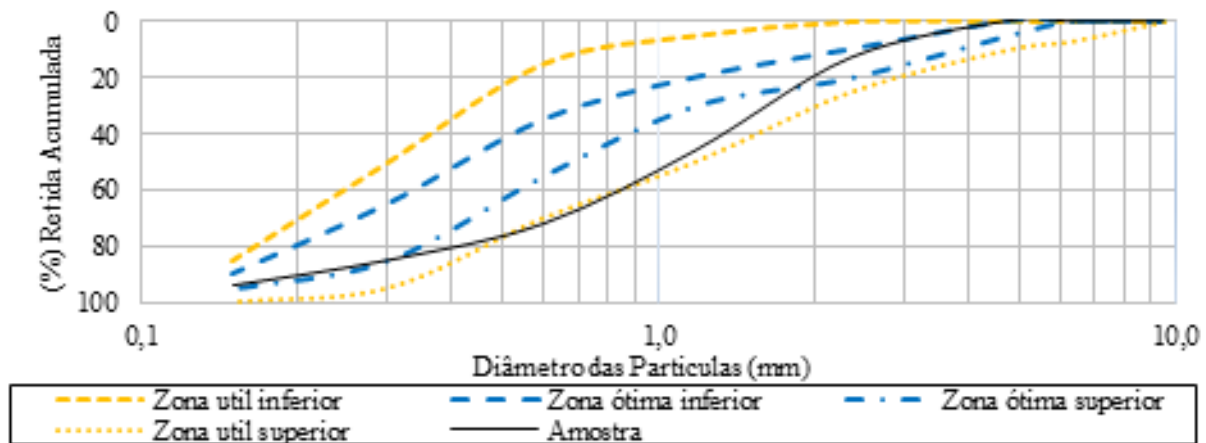
Fonte: os autores.

Com os resultados obtidos, observa-se que a amostra ficou fora dos limites estipulados pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c). Definiu-se através da composição granulométrica do agregado miúdo sua dimensão máxima característica que é igual a 0,60 mm e módulo de finura de 1,40.

Através do gráfico apresentado e do módulo de finura deste material é possível concluir que se trata de um material com grande quantidade de finos, visto que, as porcentagens retidas dos materiais se concentraram nas aberturas de menores dimensões, e nas aberturas maiores praticamente todo material é passante.

A massa específica obtida foi 2,60 g/cm³ e o teor de material pulverulento foi 2,47%.

Gráfico 2 – Curva granulométrica do pó de pedra



Fonte: os autores.

A amostra de agregado miúdo ficou contida dentro dos limites úteis estipulados pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c), o que valida seu uso para a confecção do concreto, porém não se enquadrou na zona ótima. A dimensão máxima característica foi de 4,75mm e o módulo de finura é igual a 3,11, sendo considerado, portanto, um material grosso.

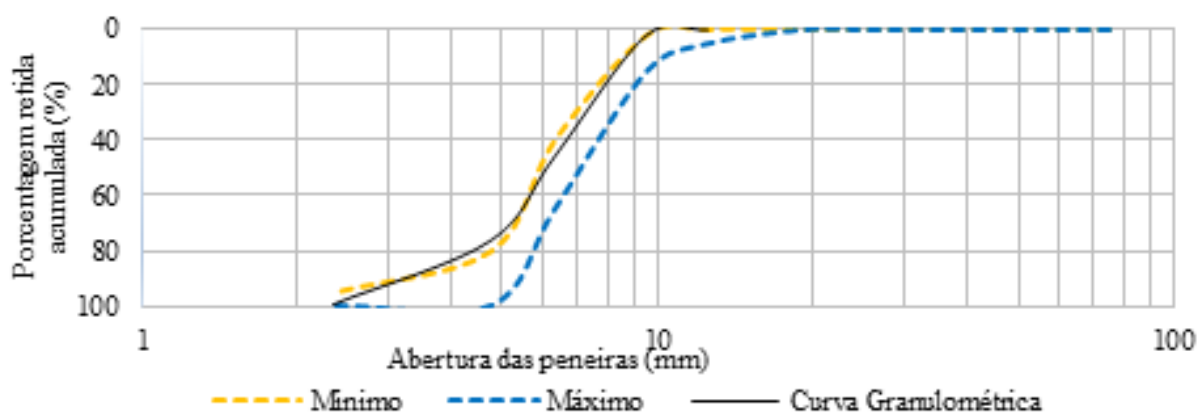
Com relação à massa específica obteve-se 2,94 g/cm³ e o teor de material pulverulento foi de 8,83%.

Analisando os resultados obtidos com a determinação do teor de material pulverulento, é notável a diferença de porcentagem entre o pó de pedra e a areia natural. Altas porcentagens de material pulverulento não são satisfatórias para o concreto, visto que, partículas com menores dimensões possuem uma superfície específica maior, o que demanda mais água, conseqüentemente, diminuindo a resistência do concreto e prejudicando a aderência entre a pasta de cimento e o agregado.

4.1.2 Agregado graúdo

As curvas granulométricas obtidas para o pedrisco (brita 0) e a brita I encontram-se nos Gráfico 3 e Gráfico 4:

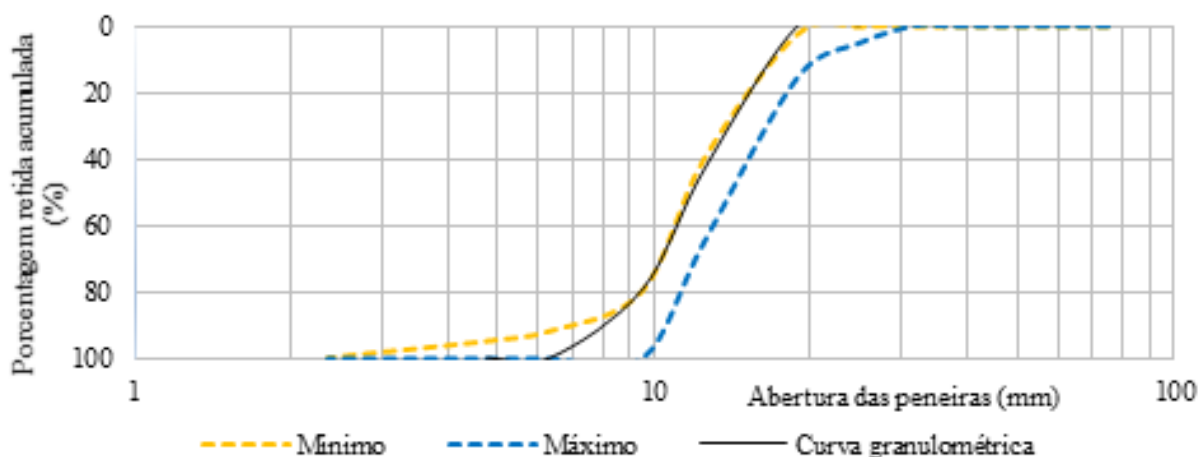
Gráfico 3 – Distribuição granulométrica da brita 0



Fonte: os autores.

Através da distribuição granulométrica do agregado brita 0, foi possível determinar a dimensão máxima característica e seu módulo de finura. Segundo as especificações da NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c), o agregado possui dimensão máxima característica de 9,50 mm e um módulo de finura igual a 5,75. Ele ficou muito próxima da zona granulométrica 4,75/12,5. A massa específica obtida foi 2,84 g/cm³ e o teor de material pulverulento foi 1,75%.

Gráfico 4 – Distribuição granulométrica da brita 1



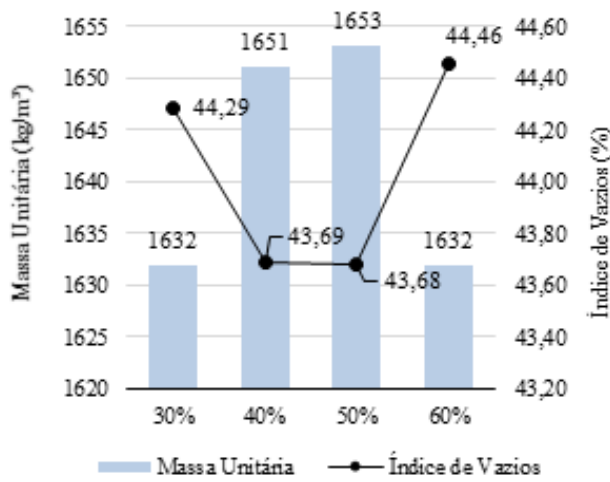
Fonte: os autores.

Já para o agregado brita 1, obteve-se dimensão máxima característica de 12,5 mm e módulo de finura igual a 6,79. Ele enquadrou-se dentro dos limites da zona granulométrica 9,5/25. Com relação à massa específica obteve-se 2,82 g/cm³ e o teor de material pulverulento foi de 0,97%.

4.2 EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

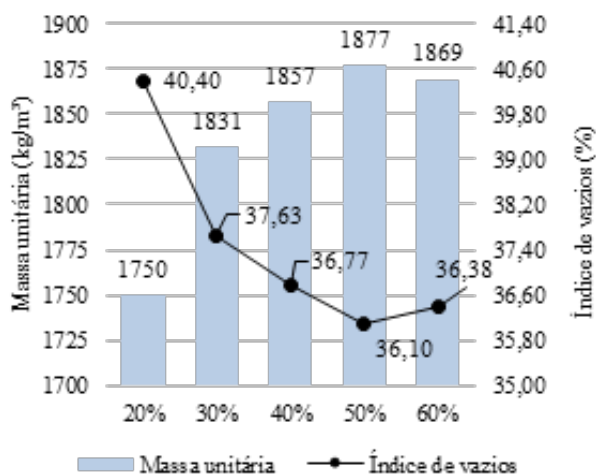
Para realizar o estudo de empacotamento de partículas, os agregados foram empacotados em ordem decrescente de granulometria, ou seja, iniciou-se empacotando a brita 1 e a brita 0 (Gráfico 5). Com o maior valor de massa unitária e o menor índice de vazios, a mistura com porcentagem de 50% de brita 0 foi utilizada para fazer o empacotamento com o pó de pedra (Gráfico 6).

Gráfico 5 – Empacotamento de brita 1 + brita 0



Fonte: os autores.

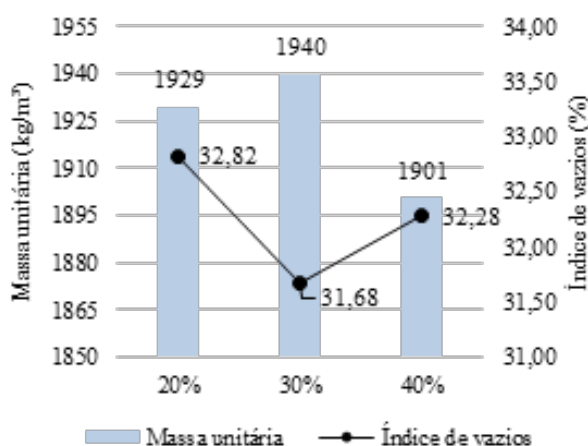
Gráfico 6 – Empacotamento da mistura + pó de pedra



Fonte: os autores.

Por fim, o Gráfico 7 apresenta o empacotamento com a areia, que demandou 30% desta para atingir a maior massa unitária.

Gráfico 7 – Empacotamento da mistura com areia



Fonte: os autores.

Com todas as porcentagens definidas foi possível encontrar as proporções para a definição do traço a ser estudado.

4.3 DOSAGENS

Em todas as dosagens estudadas, tanto *in loco*, como em laboratório, determinou-se as características do concreto através da massa específica e do *slump*. Com a determinação da massa específica foi possível calcular o consumo de cimento e dos demais materiais do concreto e assim determinar o seu preço por m³.

Para a definição do custo do concreto foi necessário determinar o consumo de cimento e dos demais materiais e a massa específica dos agregados utilizados pela empresa. Na Tabela 1 estão demonstrados os valores unitários de cada material. O referido custo de cada material foi fornecido pela empresa, exceto, o aditivo que foi fornecido pelo representante da marca na região. O preço apresentado é o custo final do produto entregue na empresa.

Tabela 1 – Custo dos materiais

| Produto | Unidade | Valor Unitário (R\$) | Produto | Unidade | Valor Unitário (R\$) |
|---------------|---------|----------------------|------------------------|---------|----------------------|
| Areia natural | m³ | R\$ 80,00 | Brita I | m³ | R\$ 50,00 |
| Pó de pedra | m³ | R\$ 62,00 | Cimento CP V Supremo | Kg | R\$ 0,55 |
| Pedrisco | m³ | R\$ 50,00 | Aditivo Plastificante* | Kg | R\$ 2,15 |

Fonte: os autores.

*Nota: massa específica = 1,14 kg/m³.

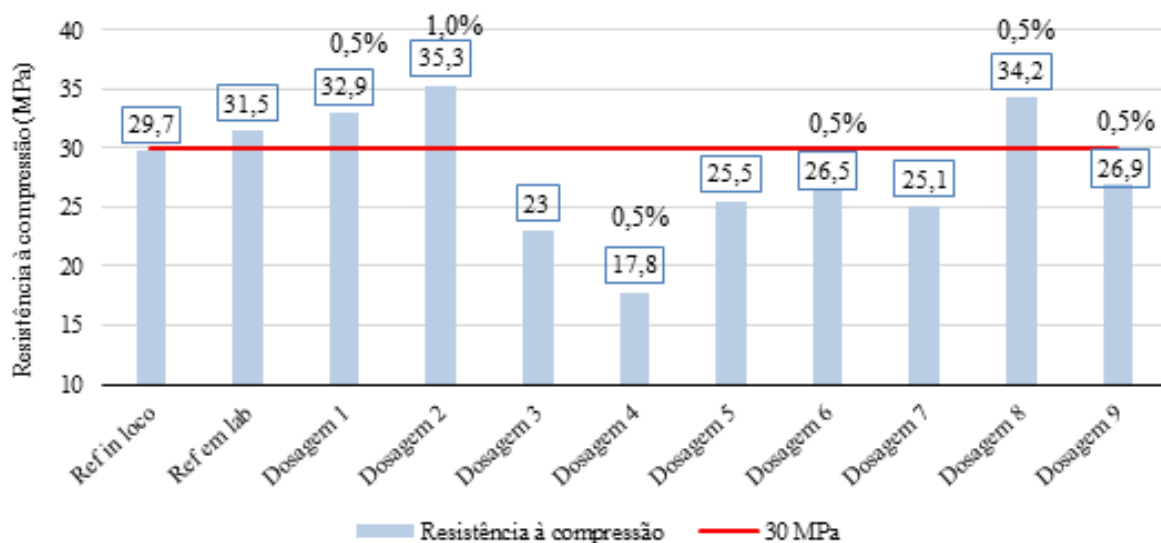
4.4 COMPARAÇÕES ENTRE AS DOSAGENS

Buscou-se atender ao requisito de resistência à compressão mínima de 30 MPa estipulada pela Celesc (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2014) e ao quesito de absorção de água no concreto estipulado pela NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), em 7,0% para cada amostra individualmente e em 5,5% para a média das amostras.

Com o intuito de melhor verificação do resultado das dosagens serão apresentados gráficos para a comparação entre elas, observando os itens de resistência à compressão, absorção de água e custo por m³.

No Gráfico 8 é possível observar o resultado final da resistência à compressão aos 7 dias de idade de todas as dosagens estudadas. Nos traços em que se utilizou aditivo plastificante Tec Mult 870, o percentual adicionado à mistura está identificado sobre o valor da resistência à compressão.

Gráfico 8 – Resistência máxima à compressão



Fonte: os autores.

É possível observar pelo Gráfico 8 que apenas 4 dosagens satisfazem o recomendado pela Celesc (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, 2014) quanto à resistência à compressão para postes em concreto armado, sendo uma delas o próprio traço referência em laboratório.

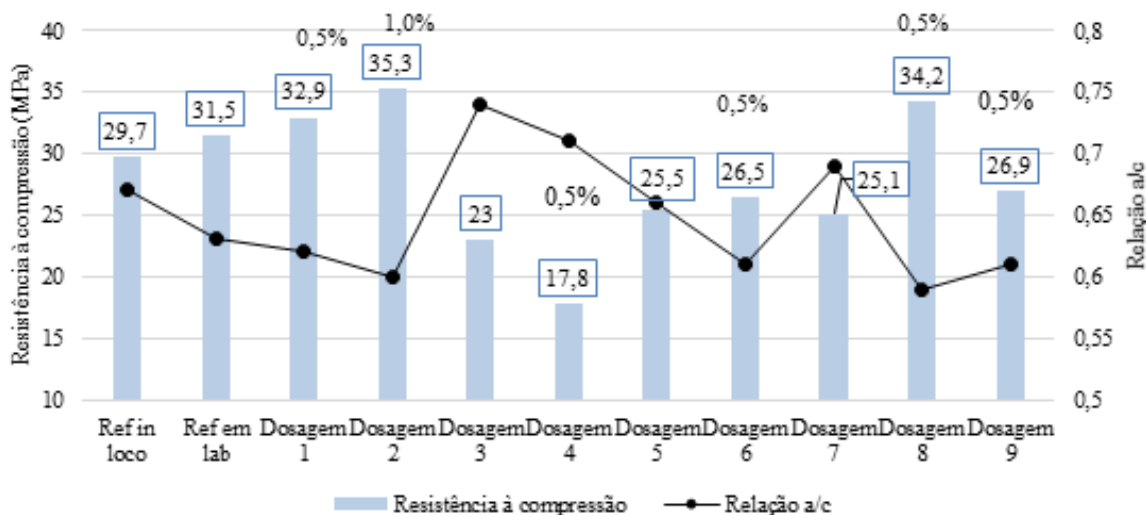
Avaliando as dosagens 1, 2 e 8, conclui-se que todas poderiam ser usadas pela empresa pois atingiram o mínimo de 30 MPa, porém deve ser levado em conta também o custo e o valor de absorção média de cada dosagem, para garantir sua real aplicabilidade.

As dosagens 3 e 4 foram originadas do estudo de empacotamento de partículas, e apresentaram resultados muito abaixo do esperado. Esta mistura gerou um teor de argamassa

de 70% o que não é aplicável para concretos tradicionais, porém, optou-se mesmo assim por realizar os testes e verificar a resistência à compressão e a absorção de água.

Metha e Monteiro (2008) citam que a relação a/c é um importante fator que afeta a resistência à compressão do concreto. Observando o Gráfico 9 é possível visualizar a resistência à compressão do concreto, bem como, a relação a/c utilizada para cada dosagem, além dos percentuais de aditivos utilizados.

Gráfico 9 – Resistência à compressão e relação a/c

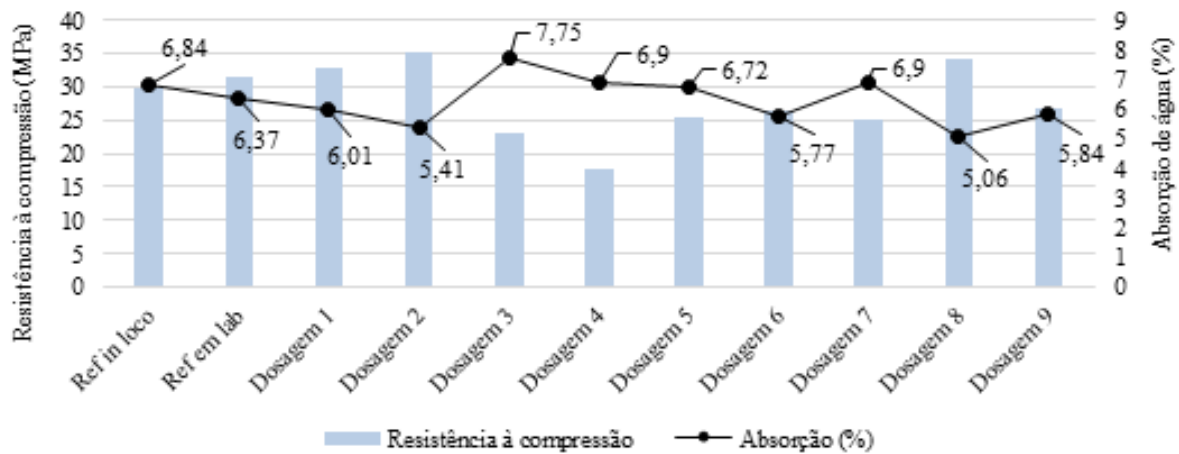


Fonte: os autores.

Pode-se avaliar através do Gráfico 9 que em praticamente todas as dosagens, à medida que se diminui a relação a/c aumentou-se a resistência. É possível avaliar também que as dosagens onde atingiu-se as resistências mais elevadas utilizou-se aditivos na sua composição, o que contribuiu para a queda da relação a/c e conseqüentemente aumentou a sua resistência.

Além do concreto atingir a resistência de 30 MPa, é necessário que se atinja também a absorção de água média de 5,5%. O Gráfico 10 apresenta os valores da resistência à compressão do concreto, bem como, a absorção de água.

Gráfico 10 – Resistência à compressão e absorção de água no concreto



Fonte: os autores.

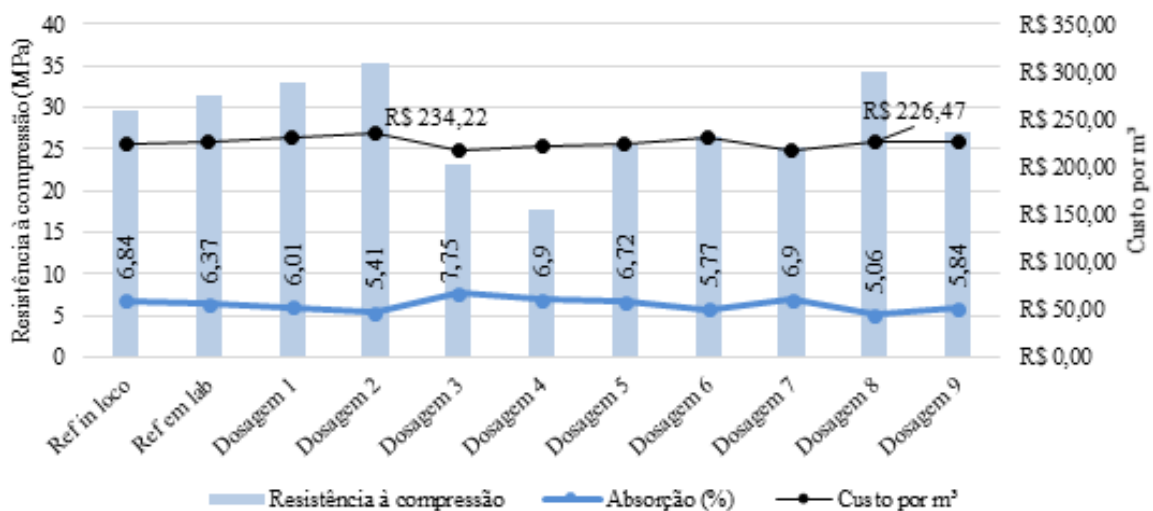
Percebe-se que apenas duas dosagens atingiram a absorção média de 5,5%, sendo a dosagem 2 e a 8. Isto pode se remeter ao fato de terem sido as que tiveram a relação a/c mais baixa entre todas.

É possível analisar também que na maioria dos casos, quanto maior a absorção de água, menor a resistência do concreto, em função do concreto possuir mais vazios, o que também auxilia na diminuição da sua resistência.

Segundo Alves Neto (2001 apud SILVA, 2006), quanto maior a relação a/c, maior será o volume de água passível de evaporação e conseqüentemente maior o número de vazios em sua massa, aumentando a permeabilidade e diminuindo sua durabilidade.

Após as análises quanto à resistência à compressão e quanto à absorção de água no concreto, deve-se levar em consideração também o custo por m³ do concreto, visto que esses são os principais objetivos desta pesquisa (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Análise final das dosagens



Fonte: os autores.

É visível que quando se eleva a qualidade do concreto o seu preço também se eleva, uma vez que, concretos com melhor qualidade aumentam o consumo de cimento, material com grande significância de preço.

Para a maioria das dosagens com aditivo plastificante na porcentagem de 0,5%, o custo de aditivo fica em torno de R\$3,50 por m³. De maneira geral, a sua utilização gera um aumento de aproximadamente 1,5% no preço do m³ de concreto, algo pouco significativo quando comparado aos inúmeros benefícios gerados pelo seu uso.

Nota-se que as dosagens que superaram os 30 MPa excederam também o custo atual da empresa. As dosagens 1, 2 e 8 apresentaram aumento de cerca de 3,5%, 4,8% e 1,4%, respectivamente.

Com a dosagem que a empresa utiliza nos dias de hoje, a resistência à compressão atinge os 30 MPa com 28 dias, porém a absorção ainda está deficiente. Visto isso, nota-se que o aumento do custo do m³ do concreto não é tão significativo quanto aos benefícios alcançados.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que os traços desenvolvidos com acréscimo de aditivo se mostraram eficientes, visto que, as melhores dosagens obtidas foram com o uso de aditivo plastificante o que contribui para a redução da relação a/c da mistura para uma mesma trabalhabilidade e, conseqüentemente, melhorou suas propriedades no estado endurecido.

Vale salientar também, que o uso de aditivos nas dosagens, além de suas inúmeras vantagens, tem um baixo custo em relação ao custo total do concreto, o que o torna vantajoso.

Quanto ao traço desenvolvido com o estudo de empacotamento das partículas, em função do alto teor de argamassa, de 70%, não trouxe resultados satisfatórios.

Com relação às novas misturas estudadas, a dosagem 8, com traço unitário de 1:1,38:1,61:1,505:1,505 (cimento, areia, pó de pedra, brita 0 e brita 1), com adição de 0,5% de aditivo plastificante foi a que atingiu os melhores resultados, atingindo a resistência à compressão de 34,2 MPa aos 7 dias de idade, superando o mínimo de 30 MPa recomendado pela Celesc (2014), além de apresentar absorção de água média de 5,06%, atendendo o preconizado pela NBR 8451-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) de 5,5%.

Para se alcançar estes resultados, o custo aumentou em apenas de 1,4% em relação ao traço referência in loco, resultando em um novo valor de R\$226,47/m³.

Por fim, destaca-se a importância de estudos para se encontrar uma dosagem que atenda aos requisitos mínimos e seja aplicável às empresas do mercado. Fica evidente que, para se chegar próximo aos resultados obtidos em laboratório, deve ser realizado um controle rigoroso na pesagem dos materiais, bem como, no controle da água, que poderá

ser realizado na empresa através do ensaio de *slump test*, buscando manter sempre a mesma trabalhabilidade e contribuindo para a qualidade do concreto.

REFERÊNCIAS

ACKER, Arnold Van. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Tradução: Marcelo de Araújo Ferreira. FIP: Cambridge, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. **Curso de Pré-fabricados de Concreto**. Recife, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67 – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8451-1 – Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica. Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833 – Concreto fresco: Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009e.

CASTRO, Alessandra Lorenzetti de; LIBORIO, Jefferson Benedicto Libardi; PANDOLFELLI, Victor Carlos. **A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2011.

CASTRO, Alessandra Lorenzetti de; PANDOLFELLI, Victor Carlos. **Revisão**: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Fabricação de postes de concreto**: Padrão entrada de consumidor. Florianópolis: Celesc, 2014.

DONIAK, Íria L. O.; GUTSTEIN, Daniela. **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011.

MARCHIONI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada**. 2012. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

METHA, Kumar P.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. 674 p.

REGINATO, Lucas Alexandre; TRENTIN, Liana Camila; PIOVESAN, Angela Zamboni. Utilização do método do empacotamento em dosagens de Concretos de Alta Resistência utilizando agregados britados do Meio Oeste Catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: IBRACON, 2010.

SILVA, Djalma R. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade**. 2006. 195 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpen. **Concreto Autoadensável**. São Paulo: PINI, 2008.