Ecoeficiência do concreto considerando resistência à compressão, emissão de CO₂, resistividade elétrica e migração de cloretos

Medeiros, Marcelo Henrique Farias¹; Araújo, Emanuel Cunha²; Medeiros-Junior., Ronaldo Alves³; Pieralisi, Ricardo⁴

¹Professor Dr., Universidade Federal do Paraná, medeiros.ufpr@gmail.com

²Mestrando, Universidade Federal do Paraná, emanoel.cunha@hotmail.com

³Professor Dr., Universidade Federal do Paraná, medeirosjunior.ufpr@gmail.com

⁴Professor Dr., Universidade Federal do Paraná, ricpieralisi@ufpr.br

Resumo: O desenvolvimento socioeconômico mundial, em especial nos países emergentes, provocou a exigência por melhores condições de infraestrutura. Para suprir esta demanda, a produção de mais materiais de construção é necessária. A indústria da construção civil é responsável por grande quantidade das emissões de dióxido de carbono (CO₂). Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a ecoeficiência de concretos produzidos em centrais e em laboratório. Os resultados indicaram uma tendência de diminuição dos valores de b_i (intensidade do ligante) com o aumento da resistência a compressão. Quanto ao c_i (intensidade de CO₂), infere-se que concretos com maiores valores de resistência à compressão emitem menores quantidades de CO₂ à atmosfera para cada MPa de resistência. Verificou-se que concretos com maiores resistências tendem a apresentar menores valores de b_r (intensidade de resistividade elétrica). Por fim, observou-se, para os valores de b_m (intensidade de migração de cloretos), houve um crescimento conforme aumento da resistência à compressão.

Palavras-chave: ecoeficiência, resistência à compressão, emissão de CO₂, resistividade elétrica, migração de cloretos.

Abstract: The global socioeconomic development, especially in emerging countries, has been led to a demand for better infrastructure conditions. To meet this demand, the production of more building materials is required. The construction industry is responsible for large amounts of carbon dioxide (CO₂) emissions. In this way, the main objective of this paper is to evaluate the ecoefficiency of concretes produced in both plants and laboratory. The results indicated a tendency of a decrease in the values of b_i (binder intensity) with the increase of the compressive strength. As for c_i (CO₂ intensity index), it is inferred that concretes with higher values of compressive strength emit lower amounts of CO₂ to the atmosphere for each MPa of strength. It was verified that concretes with higher compressive strength tend to have lower values of b_r (electrical resistivity intensity). Finally, it was observed that for the values of b_m (chloride migration intensity), there was a growing with the increase of the compressive strength.

Keywords: eco-efficiency, compressive strength, emission of CO₂, electrical resistivity, chloride migration.

1. Introdução

O crescimento da população associado ao desenvolvimento da economia de muitos países, em especial os em desenvolvimento, resultou no aumento drástico da demanda por infraestrutura [1]. O aumento da infraestrutura deve proporcionar um desenvolvimento sustentável em diferentes setores da economia de uma nação. Para atender a demanda por infraestrutura, a produção de mais materiais de construção é necessária. Nesse aspecto, o cimento é o produto de construção manufaturado mais utilizado no planeta. Quando combinado com a água e agregados minerais, o cimento forma o concreto, o segundo material mais utilizado no mundo [2].

A indústria da construção civil é responsável por grande quantidade das emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera. Para a produção de 1 m³ de concreto, em média, são emitidos por volta de 240 a 320 kg CO₂-eq¹, com 90%-95% atribuído somente a produção de cimento [3]. As emissões estão presentes desde a fase de extração de matéria prima, produção de materiais de construção, transporte dos materiais até a obra e durante o processo de execução da construção [4].

Algumas ações já são bem compreendidas no meio técnico-científico como forma de mitigar a emissão de CO₂. Damtoft *et al.* [5] elencam algumas contribuições quanto à produção sustentável de concreto. Os autores propõem conceitos que podem ser utilizados para reduzir os impactos ao meio ambiente do uso do concreto. São eles: *a)* concreto certo para aplicação certa (por exemplo, a utilização de concretos com traços pobres para fins não estruturais e concretos com traços ricos para fins estruturais); *b)* utilizar materiais reciclados (além de promover a destinação para um resíduo, a reciclagem diminui a extração de recursos naturais, como por exemplo, os agregados); *c)* otimizar o uso de cimento no concreto através do empacotamento das partículas e o uso de aditivos químicos; e *d)* utilizar cimentos com baixo impacto ao meio ambiente (por exemplo, cimentos Portland compostos por adições minerais).

Damineli *et al.* [6] propuseram dois indicadores de ecoeficiência do uso de cimento, intensidade do ligante (*b_i*) e intensidade de CO₂ (*c_i*). O indicador *b_i* permite mensurar a quantidade de aglomerante necessária para fornecer uma unidade de MPa de resistência, conseqüentemente, uma medida da eficiência do uso dos aglomerantes. O indicador *c_i* possibilita mensurar a quantidade de CO₂ emitida para uma unidade de MPa de resistência. Desse modo, esse último indicador permite inferir quanto ao potencial poluidor do material analisado.

Esse trabalho tem como objetivo principal avaliar a ecoeficiência de concretos produzidos em duas situações, em laboratório e em concreteiras. Além disso, baseados nos estudos de Damineli *et al.* [6], o estudo pretende propor dois indicadores de durabilidade de concretos, a saber: intensidade de resistividade elétrica (*b_r*) e intensidade de migração de cloretos (*b_m*).

¹ eq: É o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global.

2. Programa Experimental

2.1 Cálculo dos coeficientes de ecoeficiência

O primeiro coeficiente (Eq. 1) mede a eficiência do consumo de ligantes, portanto, estabelece a quantidade de aglomerante (kg/m³ de concreto) necessária para atingir uma unidade de determinado indicador de desempenho, por exemplo, 1 MPa de resistência à compressão.

$$b_i = (\text{kg de aglomerante/m}^3 \text{ de concreto}) / f_c \text{ em MPa aos 28 dias} \quad (1)$$

A intensidade de CO₂ (c_i) refere-se a quantidade de CO₂ emitido para produzir e transportar todo o concreto produzido, em relação a um indicador de desempenho, geralmente, a resistência à compressão (Eq.2). John [7] afirma que há uma dificuldade em identificar o teor de clínquer, uma vez que as faixas da norma são abrangentes. A NBR 16697 [8] apresenta os limites de composição do cimento portland. Para alguns tipos de cimento, por exemplo o CP III, o teor de escória granulada de alto-forno, pode variar de 35% a 75% em substituição do clínquer.

A emissão de CO₂ devido a produção de cimento varia de país para país e está relacionada a tecnologia adotada na produção, por exemplo, matéria-prima, combustíveis, eficiência do forno, etc. A literatura reporta que em média são emitidas 0,63-0,99 toneladas de CO₂ para cada tonelada de cimento produzida [9-12]. Para o cálculo do c_i foram considerados os seguintes pontos, baseados no trabalho de Damineli *et al.* [6]: 1) a emissão de CO₂ das adições minerais foram desconsideradas; 2) média de 1 t de CO₂ para cada t de clínquer, considerando que o cimento tem substituição de 5% de sulfato de cálcio; (3) o teor de adições minerais no cimento foi considerado como a média entre o máximo e o mínimo teor permitido na NBR 16697 [8]. Além disso, foram desconsideradas as emissões da extração/processamento e transporte dos agregados, uma vez que, o principal contribuinte das emissões de dióxido de carbono na produção de concreto é a fabricação do cimento [13].

$$c_i = (\text{kg de CO}_2 \text{ emitido/m}^3 \text{ de concreto}) / f_c \text{ em MPa aos 28 dias} \quad (2)$$

O presente artigo propõe dois índices de durabilidade, intensidade de resistividade elétrica (b_r) e intensidade de migração de cloretos (b_m). As Equações 3 e 4 apresentam o cálculo dos coeficientes de durabilidade. Os indicadores de desempenho para os índices de durabilidade b_r e b_m são os resultados do ensaio de resistividade elétrica e migração de íons cloreto.

$$b_r = (\text{kg de aglomerante/m}^3 \text{ de concreto}) / (k.\Omega.cm) \quad (3)$$

$$b_m = (\text{kg de aglomerante/m}^3 \text{ de concreto}) / (\text{Coulombs}) \quad (4)$$

Os dados de entrada de resistividade na Equação 3 referem-se a leituras de resistividade elétrica superficial usando a técnica dos 4 eletrodos Werner, efetuada em corpos de prova cilíndricos $\phi 10 \times 20$ cm, corrigidos para meio semi infinito com o índice 0,377, de acordo com o documento PrUNE 83988 – 2 [14]. Estes corpos de prova estavam em condições saturadas com 28 dias de cura úmida no ato das medições.

Quanto aos dados de resistência à penetração de cloretos, os dados de entrada na Equação 4 se referem ao ensaio sendo realizado de acordo com a ASTM C1202² [15,16], também na condição de cura úmida por 28 dias.

A base de dados para análise dos coeficientes de ecoeficiência (b_i e c_i) e de durabilidade (b_r e b_m) foi gerada utilizando os resultados obtidos nos estudos realizados por Medeiros e Helene [17], Medeiros e Helene [18], Real [19], Machado e Pacheco [20], e de uma construtora da cidade de Curitiba – PR. As referências utilizadas fazem parte do banco de dados de experiências do Grupo de Patologia e Recuperação das Construções da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, quais indicadores foram avaliados por estudo. Observa-se que os indicadores b_r e b_m não foram avaliados com os dados provenientes da concreteira, uma vez que, geralmente, ensaios de durabilidade não são executados como controle tecnológico do concreto em centrais de concreto. Não foram considerados os índices b_i e c_i no estudo de Machado e Pacheco [20], posto que este trabalho está vinculado ao realizado por Real [19], tendo sido usados os mesmos concretos, pois os trabalhos são complementares.

Tabela 1: Indicadores analisados.

Fonte	Indicadores			
	b_i	c_i	b_r	b_m
Medeiros e Helene [17] – fase 1	x	x	---	---
Medeiros e Helene [17] – fase 2	x	x	x	x
Real [19]	x	x	---	x
Medeiros e Helene [18]	x	x	---	x
Machado e Pacheco [20]	---	---	x	---
Concreteira	x	x	---	---

3. Resultados e discussões

As Fig. 1 (a) e (b) apresentam, respectivamente, o consumo de aglomerante C (kg/m³) e a intensidade de ligante b_i (kg·m⁻³·MPa⁻¹). Observou-se que o consumo de aglomerante variou, na maior parte dos casos, entre 300 e 600 kg/m³, seguindo os valores estabelecidos pela NBR 12655 [21], que estabelece consumo mínimo de 260-360 kg/m³, a depender da classe de agressividade. Além disso, nos intervalos de resistência de 20 a 60 MPa, o consumo de aglomerante, de forma geral, variou de 300 a 500 kg/m³. Acima de 60 MPa, além da maior dispersão entre os resultados, o consumo de aglomerante variou de 300 a 600 kg/m³.

Quanto à intensidade do ligante (b_i), observou-se que os valores variaram de 4,2 a 16,69 (kg·m⁻³·MPa⁻¹). O menor valor de b_i , 4,2 kg·m⁻³·MPa⁻¹, foi alcançado por um concreto produzido com traço composto de 10% de sílica ativa, substituindo parcialmente o CPV ARI, com relação água/aglomerantes de 0,45, atingindo aos 28 dias um f_c de 85 MPa [19]. Resultados similares foram atestados por Damineli *et al.* [6], onde, o valor mínimo de b_i atingido foi de 4,3 kg·m⁻³·MPa⁻¹ para um concreto de

² A ASTM C1202 passou por revisão no intervalo de realização dos estudos citados.

64,3 MPa aos 28 dias [22]. Os maiores valores de b_i , 16,69 kg·m⁻³·MPa⁻¹, foram alcançados para concretos com resistências entre 20 e 30 MPa. Entre 30 e 60 MPa, os valores de b_i se mantiveram entre 6 a 10 kg·m⁻³·MPa⁻¹. Concretos acima de 60 MPa mantiveram a faixa de índice de ligantes de 6 a 8 kg·m⁻³·MPa⁻¹. Dessa forma, constata-se uma tendência de diminuição dos valores de b_i com o aumento da resistência à compressão. Esta mesma tendência foi observada por Damineli *et al.* [6]. Na prática, isso significa que fabricar concreto com maior resistência à compressão tende a resultar em menor necessidade de consumo de aglomerante por MPa produzido.

Figura 1: Dados de consumo de cimento dos concretos: (a) Curva resistência à compressão – consumo de aglomerante e (b) curva resistência à compressão – intensidade do ligante.

As Fig. 2 (a) e (b) exibem os dados de emissão de dióxido de carbono dos concretos avaliados. Constata-se que a quantidade de CO₂ emitido por m³ de concreto variou de 150 a 500 kg/m³, valores dentro da parcela verificada por Damineli *et al.* [6]. Tanto os concretos produzidos em central quanto em laboratório apresentam propensão a emitir maiores quantidades de dióxido de carbono conforme aumento da resistência à compressão. Observa-se, também, que concretos até 60 MPa apresentam valores de CO₂ emitidos compreendidos de 150 a 350 kg/m³. Enquanto que concretos acima de 60 MPa variam de 300 a 500 kg/m³.

Quanto ao c_i , o maior valor observado foi de 10,31 kg·m⁻³·MPa⁻¹. O valor mencionado se refere a um concreto que possuía f_c aos 28 dias de 24,8 MPa, sem adições minerais e com relação a/c igual a 0,64. Por outro lado, o menor valor de c_i foi de 3,59 kg·m⁻³·MPa⁻¹, pertencente ao mesmo concreto com menor b_i , ou seja, f_c aos 28 dias de 85 MPa, com adição de 10% de sílica ativa em substituição parcial do cimento e com relação água/aglomerantes igual a 0,45. Damineli *et al.* [6] verificaram uma faixa de c_i de 1,5-22 kg·m⁻³·MPa⁻¹.

Conforme a Fig. 2 (b), identifica-se uma tendência de diminuição nos valores de c_i , tanto para concretos usinados quanto aos produzidos em laboratório, conforme aumenta-se a resistência. Concretos com resistências maiores que 60 MPa, de forma geral, apresentam c_i menores que 6 kg·m⁻³·MPa⁻¹. Dessa forma, infere-se que maiores valores de resistência à compressão tendem a emitir menores quantidade

de CO₂ à atmosfera para cada MPa de resistência. De acordo com a Fig. 2 (b), essa tendência é mais evidente para concretos produzidos em laboratório.

Figura 2: Dados de emissão de dióxido de carbono do concreto: (a) Curva resistência à compressão - CO₂ emitido e (b) curva resistência à compressão - intensidade de CO₂.

A Fig. 3 apresenta a correlação da intensidade de ligantes (b_i) e da intensidade de CO₂ (c_i). Observa-se que os maiores valores de b_i e c_i , acima de 12 e 8 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$, respectivamente, são pertencentes aos concretos do estudo de Medeiros e Helene [18]. Esses altos valores dos índices b_i e c_i devem-se ao fato de que, para este estudo [18], as resistências dos concretos variaram de 20 a 28 MPa, aliado a não utilização de adições minerais. Logo, concretos com resistências baixas tendem a apresentar índices (b_i e c_i) maiores, indicando menor desempenho de utilização do cimento.

De maneira intermediária, conforme a Fig. 3, os concretos produzidos em central apresentaram b_i na faixa compreendida de 8-12 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$ e c_i de 6-8 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$, com resistências variando de 22 a 45 MPa. Os demais concretos [2,3] demonstraram melhores desempenhos, além dos menores valores de b_i e c_i . A faixa de resistência foi compreendida de 40 a 96 MPa.

Figura 3: Curva intensidade de ligante – intensidade de CO₂.

A Fig. 4 apresenta os resultados da intensidade de resistividade elétrica (b_r) dos materiais analisados. A resistividade elétrica é um importante parâmetro relacionado com a durabilidade do concreto, sendo um dos controladores da velocidade de corrosão do aço no concreto armado. O maior e menor valores de b_r encontrados foram de 50,26 e 4,93 (kg/m³)·(kΩ·cm)⁻¹, respectivamente.

Observa-se que, apesar da grande dispersão, a partir de 60 MPa há uma tendência de diminuição dos valores de b_r . Como o índice b_r é inversamente proporcional à resistividade elétrica do material, concretos com maiores resistências tendem a apresentar menores valores de b_r . A relação entre o aumento da resistência à compressão simultaneamente a resistividade elétrica é apresentada nos estudos realizados por Medeiros-Junior. *et al.* [23] e Medeiros-Junior. *et al.* [24]. Ambas as propriedades tendem a crescer juntas, devido as mudanças que ocorrem na densificação da matriz cimentícia ao longo do tempo, principalmente nas primeiras idades (até 91 dias).

Figura 4: Dados de resistividade elétrica: Curva resistência mecânica - intensidade de resistividade elétrica.

A Fig. 5 (a) apresenta os resultados da intensidade de migração de cloretos (b_m) para os concretos deste estudo. Os valores de b_m até 60 MPa apresentaram-se na faixa de 1 (kg/m³)·(Coulomb)⁻¹. Acima de 60 MPa, os valores de b_m indicaram crescimento até o valor máximo de 4,99 (kg/m³)·(Coulomb)⁻¹.

Figura 5: Dados da migração de cloretos no concreto: (a) Curva resistência mecânica - intensidade de migração de cloretos e (b) consumo de cimento - intensidade de migração de cloretos.

A Fig. 5 (b) exibe a relação entre b_m e o consumo de cimento C (kg/m³). De acordo com a Fig. 5 (b), os dados indicam o aumento da velocidade de migração de cloretos conforme o aumento do consumo de cimento. Portanto, a migração de cloretos apresenta relação com o consumo de cimento. De acordo com a literatura [18], a migração de cloretos é função direta do consumo de cimento, ou seja, quanto maior a resistência à compressão, menor será a carga passante (Coulomb), consequentemente, maior será o valor do índice b_m .

4. Conclusões

De modo geral, os dados comprovam que a especificação de concretos de maior resistência tendem a representar maior eficiência do uso do cimento em termos de durabilidade, considerando os parâmetros resistência a penetração de cloretos e resistividade elétrica. Esse estudo não entrou no mérito de analisar o custo dos diferentes tipos de concretos, o que certamente também trará um impacto importante nas análises realizadas. Portanto, é recomendada uma continuação do assunto aqui abordado, levando em consideração o custo por MPa de cada concreto, bem como uma análise de uma maior variedade de misturas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo apoio à infraestrutura, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Araúcaria pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

6. Referências

- [1] Doyle, M. W.; Havlick, D. G. (2009) Infrastructure and the Environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 349-373. doi:10.1146/annurev.enviro.022108.1802.
- [2] Scrivener, K. L.; John, V. M.; Gartner, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*. doi:10.1016/j.cemconres.2018.03.015.
- [3] Miller, S. A.; Horvath, A.; Monteiro, P. J. M. (2016) Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*. doi:10.1088/1748-9326/11/7/074029.
- [4] Hermawan; Marzuki, P. F.; Abduh, M.; Driejana, R. (2015) Identification of source factors of carbon dioxide (CO₂) emissions in concreting of reinforced concrete. *Procedia Engineering*, 125, 692-698. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.107.

- [5] Damtoft, J. S.; Lukasik, J.; Herfort, D.; Sorrentino, D.; Gartner, E. M. Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and Concrete Research*, 38(2), 115-127. doi:10.1016/j.cemconres.2007.09.008.
- [6] Damineli, B. L.; Kemeid, F. M.; Aguiar, P. S.; John, V. M. (2010) Measuring the eco-efficiency of cement use, *Cement and Concrete Composites*, 32:555-562.
- [7] John, V. M. (2011) Concreto Sustentável. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. G. C. Isaia. 1.ed. São Paulo, IBRACON, v. 2, p. 1843-1869.
- [8] NBR 16697 (2018) Cimento Portland – Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [9] He, Z.; Zhu, X.; Wang, J.; Mu, M.; Wang, Y. (2019) Comparison of CO₂ emissions from OPC and recycled cement production. *Construction and Building Materials*, 211, 965-973. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.289.
- [10] Deja, J.; Uliasz-Bochenczyk, A.; Mokrzycki, E. (2010). CO₂ emissions from Polish cement industry. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(4), 583-588. doi:10.1016/j.ijggc.2010.02.002.
- [11] Hasabeigi, A.; Price, L.; Lin, E. (2012). Emerging energy-efficiency and CO₂ emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6220-6238. doi:10.1016/j.rser.2012.07.019.
- [12] Hills, T.; Florin, N.; Fennell, P. S. (2016) Decarbonising the cement sector: A bottom-up model for optimizing carbon capture application in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1351-1361. doi:10.1016/j.jclepro.2016.08.129.
- [13] Flower, D. J. M.; Sanjayan, J. G. Green House Gas Emissions due to Concrete Manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(5), 282-288. doi:10.1065/lca2007.05.327.
- [14] Asociación Española de Normalización (2014). UNE 83988-2: Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 2: Método de las cuatro puntas o de Wenner. Madrid.
- [15] American Society for Testing and Materials (ASTM). (2005) Standard test method for electrical indication of concretes's ability to resist chloride ion penetration, C-1202.
- [16] American Society for Testing and Materials (ASTM). (1997) Standard test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, C-1202.
- [17] Helene, P. M.; Medeiros, M. (2004) *Estudo da influência do metacaulimhp como adição de alta eficiência em concretos de cimento portland*. Relatório Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [18] Medeiros, M. H. F.; Helene, P. R. do L. Migração de Íons Cloretos no Concreto – Influência da Consistência, Relação Água Cimento e Consumo de Cimento. *Revista do IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto*, São Paulo – Brasil, v. Fev/Ma, P. 53-66, 2003.

- [19] Real, L. V. (2015) *Efeito das adições pozolânicas na estimativa de vida útil do concreto exposto a cloretos através da resistividade elétrica superficial*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- [20] Machado, L. B.; Pacheco, P. A. (2017). *Influência da geometria dos corpos de prova na resistividade elétrica do concreto*. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- [21] NBR 12655 (2015) Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [22] Catoia, T.; Catoia, B.; Pereira, T. A. da C.; Catai, E.; Liborio, J. B. L. L. (2008) Concreto de alta resistência com baixo consumo de cimento. *Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto*, IBRACON, Salvador.
- [23] Medeiros-Junior., R. A.; Munhoz, G. S.; Medeiros, M. H. F. (2019). Correlações entre absorção de água, resistividade elétrica e resistência à compressão de concreto com diferentes teores de pozolana. *Revista ALCONPAT*, 9(2), 152-162. doi:10.21041/ra.v9i2.335.
- [24] Medeiros-Junior., R. A.; Lima, M. G.; Medeiros, M. H. F.; Real, L. V. (2014). Investigação da resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento. *Revista ALCONPAT*, v.4, n.2, 113-128. doi:10.21041/ra.v4i2.21.