

Análise do Custo Benefício da Utilização da Argila Expandida em Pontes de Concreto Armado

Melchisedeck Feitosa Correia¹, Amanda Lima Santana², Hellen Andréa Andrade da Silva³, Natália Oliveira Lima⁴

¹ Universidade Tiradentes/ Engenharia Civil / Mestre em Estruturas PUC-RIO /
melchi2008@yahoo.com.br

² Universidade Tiradentes/ Engenharia Civil / Graduando / amanda.lima_14@hotmail.com

³ Universidade Tiradentes/ Engenharia Civil / Graduando /
hellenandrade.engenharia@outlook.com

⁴ Universidade Tiradentes/ Engenharia Civil / Graduando / nataalialima@outlook.com

Resumo

As obras de infraestrutura, bem como as verticais, fazem-se cada vez mais necessárias devido ao crescente número de pessoas, que migram para os centros urbanos e ao aumento de expansão de terras para acompanhar tamanha demanda da população. Nesse contexto, as pontes têm se tornado elementos fundamentais da construção civil para facilitar a locomoção dos indivíduos de uma região para outra. Estas construções precisam ser executadas com maior rapidez, presando sempre pela segurança, qualidade, trabalhabilidade, resistência e, aliado a isso, proporcionar o melhor custo benefício que é de suma importância. Para tal, surgem novos testes, estudos e materiais, dentre estes o concreto leve estrutural, que consiste na substituição da maior parte do agregado graúdo usada no concreto, a brita, por um agregado mais leve, como por exemplo, a argila expandida. Tal material pode diminuir o custo final da obra, visando à redução do peso próprio da estrutura, acarretando em menor custo nas fundações e diminuição das seções dos elementos estruturais. Através de ensaios realizados nos laboratórios da Universidade Tiradentes, observou-se que quando substituída parte da brita por argila expandida do concreto, tem-se uma redução significativa do peso específico. O presente trabalho apresentará um estudo quantitativo, comparando duas pontes, ambas de 34 m, uma utilizando concreto estrutural convencional e a outra com concreto leve com substituição parcial de brita por argila expandida. Comparando, assim, os custos, as resistências mecânicas, os momentos fletores, os esforços cortantes e as armaduras de flexão e cisalhamento das mesmas.

Palavras-chave

Concreto leve estrutural; Argila expandida; Custo-Benefício; Pontes;

1 Introdução

Durante a passagem dos séculos, as construções passaram a exigir materiais cada vez mais resistentes e com boa trabalhabilidade. Diante dessas necessidades, o concreto ganha grande visibilidade no mercado da construção civil, por possuir uma boa resistência a alta solicitações de esforços de compressão, por apresentar uma boa durabilidade, quando este é bem projetado, executado e preservado, e também por possuir uma boa trabalhabilidade, já que o mesmo se molda a diferentes formas exigidas em projeto. Desde então, o concreto foi amplamente disseminado e passou a ser o material mais utilizado na construção civil. Sua composição resume em uma mistura homogênea de um aglomerante, no caso o cimento, com areia, brita e água, tornando-se uma pasta resistente e de fácil moldagem, como afirma *Battagin* (2009):

“O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento”.

Em alguns casos, para o concreto adequar-se as necessidades construtivas exigidas em projeto, como por exemplo: um endurecimento mais rápido do mesmo, pode-se adicionar substâncias químicas, aditivos ou adições, no concreto no seu estado fresco, alterando assim suas propriedades. Além da adição de substâncias químicas, outras alternativas são utilizadas para alterar as propriedades do concreto, como por exemplo, no concreto leve estrutural, que consiste na substituição de parte dos agregados convencionais, por agregados leves, como argila expandida ou isopor. Diante da substituição de agregados convencionais por agregados leves, logo seu peso específico é reduzido a cerca de dois terços do concreto, que emprega agregados comuns. De acordo com ABNT NBR 8953:2015, o concreto leve deve possuir massa específica inferior a 2000 kg/m^3 , enquanto que o concreto comum tem massa específica variando entre 2300 e 2500 kg/m^3 .

Segundo *Rossignolo e Oliveira* (2007), a redução da massa específica do concreto, atrelado a manutenção da resistência mecânica do mesmo, propicia uma redução do peso próprio da estrutura, conseqüentemente, das cargas na fundação, reduzindo assim no custo final da obra.

“Nos últimos anos, é cada vez mais comum o uso de concreto leve estrutural com argila expandida. Em algumas estruturas de concreto, como as de grandes vãos e edificações de múltiplos pavimentos, o peso próprio é elevado em relação às cargas aplicadas. A redução do peso próprio, com o uso de concretos leves estruturais, por exemplo, traz melhorias consideráveis para o desempenho da estrutura nestes casos “ (*Rossignolo, 2009*).

Com isso, este trabalho dedica-se em mostrar a influência da substituição parcial da brita pela argila expandida através de ensaios e, assim, fazer uma análise do seu custo benefício, esforços e resistência.

2 Projeto da Ponte

A ponte estudada é classificada como uma ponte em viga biapoiada com balanços. Possui 34 metros de comprimento, com dois balanços em suas extremidades com 4,5 metros de comprimento. Foi idealizada com momentos de inércia das seções variáveis ao longo do vão, possibilitando o aumento do momento fletor negativo dessas seções e na conseqüente diminuição do momento fletor positivo no meio do vão. Além disso, possui uma largura de 8,6 metros e um vão de 25 metros de comprimento.

3 Argila Expandida

“Os principais agregados leves artificiais são obtidos por alguns resíduos industriais, e por processos industriais: como argila expandida, que são agregados com uma vasta variedade de nomes comerciais, mas são classificados de acordo com a matéria-prima e o procedimento de fabricação, que causa expansão e, entretanto, ocorre a redução da massa específica aparente.” (Neville, 1997).

O uso da argila expandida no concreto possibilita menores esforços nas estruturas, melhor desempenho acústico, conforto térmico, economia em cimbramentos e fôrmas, além da redução de custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas.

3.1 Processo de fabricação do agregado leve

De acordo com *Moravia et al.* (2006), a argila expandida é o produto produzido pelo aquecimento de determinados tipos de argila, em temperatura por volta de 1200 °C.

Segundo *Gomes Neto* (1998) *Apud Rossignolo* (2009), a dilatação das matérias-primas naturais pode ser adquirida, principalmente, por dois tipos de processos industriais: forno rotativo ou sinterização.

No processo de forno rotativo, a massa de argila é fundida dando formação a uma substância viscosa e a outra parte é decomposta liberando gases, derivando um agregado com uma camada de proteção externa e o interior poroso.

A sinterização consiste em um procedimento, em que a matéria-prima é misturada com um combustível em uma quantidade adequada, que pode ser carvão moído ou coque, e sofre dilatação, formando gases devido ao aumento da temperatura. Contudo, esse método cria poros acessíveis, e faz com que o produto resultante absorva mais água.

”É importante frisar que nem todos os tipos de argila se adequam a esses processamentos produtivos. Dessa forma, é indispensável que haja um teor de fundentes adequado para formação de uma fase vítrea, capaz de impedir que os gases escapem, gerando o inchamento das partículas de argila. Ela necessita que exista alguns limites mínimos nos teores de sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e de constituintes que operam como fundentes (FeO, MgO, CaO, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O), abaixo dos quais a massa argilosa não fundirá à baixa temperatura ou não conseguirá uma fusão viscosa aceitável para reter os gases.” (Sobral, 1987).

No Brasil, o processo de produção da argila expandida é muito restrito, sendo um processo mais ligado para atender a indústria têxtil, paisagismo e a jardinagem. Com os avanços tecnológicos da construção civil e os estudos feitos sobre concreto, a utilização do material vem aumentando, cada vez mais, nos últimos anos.

3.2 Principais propriedades do agregado leve

Os agregados leves têm algum tipo de atuação sobre as propriedades do concreto, sendo ele no estado endurecido ou no estado fresco. Então, é necessário fazer a análise para poder identificar quais as propriedades do concreto leve são mais influenciadas pela característica da matriz cimentícia.

ACI 213(2003) destacou alguns tipos de propriedades do agregado, que afetam as características do concreto, citou algumas do tipo: massa específica e massa unitária.

A variação da massa unitária do agregado leve, é de aproximadamente 1/3 a 2/3, com relação ao agregado convencional. Com massas unitárias abaixo dessa oscilação, é importante utilizar cimento com melhor qualidade, para atingir a resistência necessária e cumprir a condição de concreto leve.

Conforme *Meyer e Kahn* (2002), foram feitas análises de resistência à compressão em concretos leves e observaram que, sua resistência era rapidamente maior com aqueles concretos feitos somente de um tipo de agregado e que possuíam maior teores de aglomerantes. Ao diminuir o tamanho do agregado graúdo, perceberam que sua resistência pode ser melhorada.

Segundo *Owens* (2005), os espaços vazios de ar são chamados de poros, sempre existindo nas partículas dos agregados. Dessa forma, é considerado que a soma dos poros no interior dos agregados e nas zonas intersticiais, entre as partículas, são chamados de porosidade. As granulometrias dos agregados leves e convencionais são diferentes, devido a sua menor resistência mecânica. Se diminuir a dimensão máxima do agregado graúdo, fizer a substituição parcial por um agregado leve ou, até mesmo, substituir parcialmente o agregado miúdo por uma areia de boa qualidade, seu consumo de cimento e de água pode ser maior (*Mehta e Monteiro, 2008*).

3.2 Módulo de Elasticidade

O ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade é realizado segundo as prescrições da NBR 8522.

Consiste em três ciclos de carregamento até 30% da capacidade de carga total estimada do corpo de prova, mantendo o carregamento por 60 segundos. Após esse tempo, é descarregado até 0,5 MPa e mantido por mais 60 segundos.

Estudos realizados por *Angelin* (2014) e *Rossignolo* (2009) comprovam que quanto maior a substituição da argila expandida por um agregado convencional, menor é o valor do módulo de elasticidade do concreto, podendo essa redução chegar a 80%.

É muito importante estudar esse processo com a substituição da argila expandida, para que o dimensionamento seja feito de forma correta, pois o concreto com argila expandida possui uma maior capacidade de se deformar e, conseqüentemente, surgir fissuras.

3.3 Absorção de água

O ensaio de absorção de água é realizado segundo as prescrições da NBR 9778.

O concreto leve é mais suscetível a absorção de água, devido a porosidade do agregado. De acordo com estudos realizados por *Scobar* (2016), a absorção de água com a utilização da argila expandida no concreto é, aproximadamente, 4% maior em relação ao agregado convencional.

Essa absorção de água pode influenciar a durabilidade do concreto, e nas estruturas de concreto armado pode acelerar o processo de corrosão da armadura. Contudo, esse fator somente será um limitante na utilização do concreto leve nos casos de estruturas aparentes, pois revestimentos podem ser aplicados no intuito de proteger o concreto das condições ambientais nocivas.

4 Dimensionamento

Para o dimensionamento da ponte em estudo, será considerada uma substituição de 10% do agregado convencional pela argila expandida. Segundo *Castro* (2017), ensaios realizados em laboratório para essa porcentagem forneceram o peso específico do concreto em aproximadamente 2290 Kg/m³. Para substituições maiores, deve-se realizar em conjunto o estudo do módulo de elasticidade, para que o dimensionamento seja exato. Nas figuras abaixo (Fig. 4 e 5), seguem o carregamento na viga para o concreto convencional e para o concreto com 10% de argila expandida, mostrando somente peso próprio.

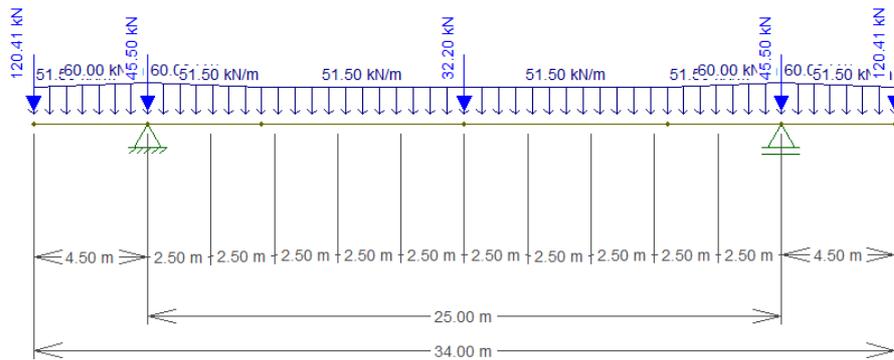


Figura 4 - Carregamento - Concreto Convencional

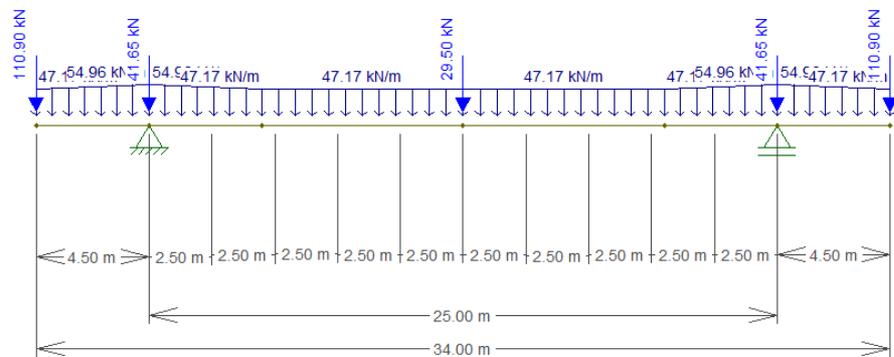


Figura 5 - Carregamento - Concreto com 10% de argila expandida

O carregamento devido ao peso próprio sofreu uma redução de aproximadamente 8,41%.

4.1 Esforços Internos

Abaixo segue o diagrama do esforço cortante para o concreto convencional e carregamento do peso próprio (Fig. 6):

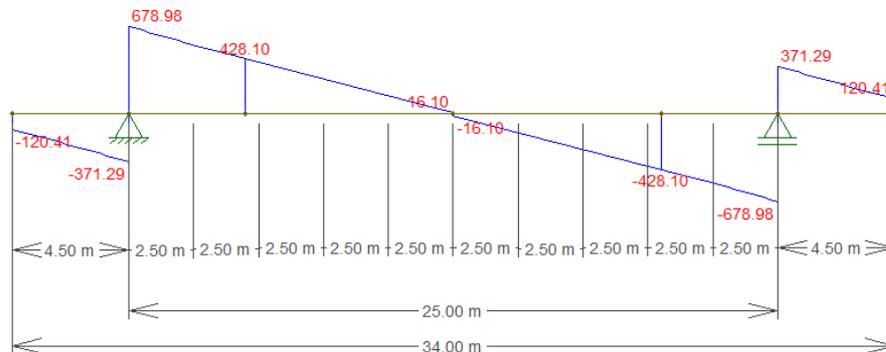


Figura 6 - Diagrama de Esforço Cortante: Concreto Convencional

Diagrama de esforço cortante para o concreto com 10% de substituição de argila expandida (Fig. 7):



Figura 7 - Diagrama de Esforço Cortante: Concreto com 10% de argila expandida

Os esforços cortantes também sofreram redução de aproximadamente 8,41%. O diagrama de momento fletor para o concreto convencional possui os seguintes esforços (Fig. 8):

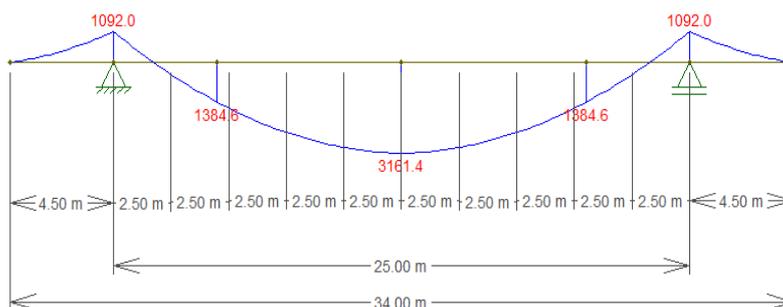


Figura 8 - Diagrama de Momento Fletor : Concreto convencional peso próprio

Já o concreto com 10% de argila expandida possui os seguintes esforços de momento fletor para o carregamento devido ao peso próprio (Fig. 9):

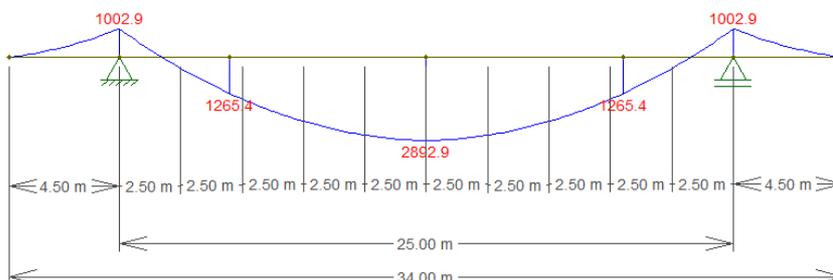


Figura 9 - Diagrama de Momento Fletor : Concreto com 10% de argila expandida

Os esforços do momento fletor sofreram uma redução de aproximadamente 8,49%. Para analisar a taxa de armadura longitudinal e transversal, deve-se levar em consideração que o carregamento devido ao trem- tipo não sofre modificação.

Abaixo segue a tabela (Tabelas 1 e 2) contendo os esforços de momento fletor e esforços cortantes para os carregamentos de peso próprio e acidental para o concreto convencional, estruturada de acordo com as fórmulas a seguir:

$$M^+ = Mg + \phi \cdot Mq^- \quad (1)$$

$$M^- = Mg + \phi \cdot Mq^+ \quad (2)$$

$$V = Vg + \phi \cdot Vq \quad (3)$$

Onde Mg representa o momento fletor carga permanente; Vg , a força cortante carga permanente; Mq^+ , o momento fletor cargas móveis; Mq^- , o momento fletor cargas móveis e Vq , a Força cortante cargas móveis.

Tabela 1 – Esforços devido ao peso próprio e trem tipo

Seção	Máx./Mín.	Momentos fletores				
		Mg	ϕ	Mq+	ϕ	Mq-
0	Mín.	0	1,16	0	1,16	0
1e	Máx.	-1.091,97	1,16	0	1,16	-1.270,04
	Mín.	-1.091,97	1,16	0	1,16	-1.270,04
1d	Máx.	-1.091,97	1,16	0	1,16	-1.270,04
	Mín.	-1.091,97	1,16	0	1,16	-1.270,04
2	Máx.	435,86	1,16	1.302,42	1,16	-1.162,94
	Mín.	435,86	1,16	1.302,42	1,16	-1.162,94
3	Máx.	1.592,22	1,16	2.303,51	1,16	-1.055,83
	Mín.	1.592,22	1,16	2.303,51	1,16	-1.055,83
4	Máx.	2.437,16	1,16	3.003,28	1,16	-948,72
	Mín.	2.437,16	1,16	3.003,28	1,16	-948,72
5	Máx.	2.960,22	1,16	3.404,71	1,16	-841,61
	Mín.	2.960,22	1,16	3.404,71	1,16	-841,61
6	Máx.	3.161,41	1,16	3.588,08	1,16	-734,50
	Mín.	3.161,41	1,16	3.588,08	1,16	-734,50

Tabela 2 – Combinação dos esforços de peso próprio e trem tipo

Seção	Máx./Mín.	Envoltória de (M)		Esforços cortantes (V)			Envoltória de V
		M+	M-	Vg	ϕ	Vq	
0	Mín.	0	0	-120,41	1,16	-119,01	-258,46
1e	Máx.	-1.091,04	-2.565,00	-371,29	1,16	-445,45	-888,01
	Mín.	-1.091,04	-2.565,00	-371,29	1,16	-445,45	-888,01
1d	Máx.	-1.091,04	-2.565,00	678,97	1,16	589,19	1.362,43
	Mín.	-1.091,04	-2.565,00	678,97	1,16	-50,80	620,04
2	Máx.	1.946,67	-913,15	534,85	1,16	506,82	1.122,76
	Mín.	1.946,67	-913,15	534,85	1,16	-67,48	456,57
3	Máx.	4.264,29	367,46	402,30	1,16	429,36	900,36
	Mín.	4.264,29	367,46	402,30	1,16	-60,63	331,97
4	Máx.	5.920,96	1.336,64	273,55	1,16	356,81	687,45
	Mín.	5.920,96	1.336,64	273,55	1,16	-258,56	-26,38
5	Máx.	6.909,68	1.983,95	144,80	1,16	289,18	480,25
	Mín.	6.909,68	1.983,95	144,80	1,16	-90,10	40,28
6	Máx.	7.323,58	2.309,39	16,10	1,16	226,46	278,79
	Mín.	7.323,58	2.309,39	16,10	1,16	-112,21	-114,06

Apresenta-se os resultados dos cálculos para o concreto com substituição de 10% de argila expandida na seguinte tabela (Tabelas 3 e 4):

Tabela 3 – Esforços devido ao peso próprio com 10% de argila expandida e trem tipo

Seção	Máx./Mín.	Momentos fletores (M)				
		Mg	ϕ	Mq+	ϕ	Mq-
0	Mín.	0	1,16	0	1,16	0
1e	Máx.	-1.002,90	1,16	0	1,16	-1.270,04
	Mín.	-1.002,90	1,16	0	1,16	-1.270,04
1d	Máx.	-1.002,90	1,16	0	1,16	-1.270,04
	Mín.	-1.002,90	1,16	0	1,16	-1.270,04
2	Máx.	387,50	1,16	1.302,42	1,16	-1.162,94
	Mín.	387,50	1,16	1.302,42	1,16	-1.162,94
3	Máx.	1.460,80	1,16	2.303,51	1,16	-1.055,83
	Mín.	1.460,80	1,16	2.303,51	1,16	-1.055,83
4	Máx.	2.234,10	1,16	3.003,28	1,16	-948,72
	Mín.	2.234,10	1,16	3.003,28	1,16	-948,72
5	Máx.	2.712,50	1,16	3.404,71	1,16	-841,61
	Mín.	2.712,50	1,16	3.404,71	1,16	-841,61
6	Máx.	2.896,10	1,16	3.588,08	1,16	-734,5
	Mín.	2.896,10	1,16	3.588,08	1,16	-734,5

Tabela 4 – Combinação dos Esforços com 10% de argila expandida e trem tipo

Seção	Máx./Mín.	Envoltória de (M)		Esforços cortantes (V)			Envoltória de V
		M+	M-	Vg	ϕ	Vq	
0	Mín.	0	0	-110,9	1,16	-119,01	-249
1e	Máx.	-1.002,90	-2.565,00	-340,7	1,16	-445,45	-857,4
	Mín.	-1.002,90	-2.565,00	-340,7	1,16	-445,45	-857,4
1d	Máx.	-1.002,90	-2.565,00	621,6	1,16	589,19	1.305,00
	Mín.	-1.002,90	-2.565,00	621,6	1,16	-50,80	562,7
2	Máx.	1.898,00	961,5	494,00	1,16	506,82	1.082,00
	Mín.	1.898,00	961,5	494,00	1,16	-67,48	415,7
3	Máx.	4.133,00	236	368,27	1,16	429,36	866,3
	Mín.	4.133,00	236	368,27	1,16	-60,63	297,9
4	Máx.	5.718,00	1.134,00	250,34	1,16	356,81	664,2
	Mín.	5.718,00	1.134,00	250,34	1,16	-258,56	-49,6
5	Máx.	6.662,00	1.736,00	132,42	1,16	289,18	467,9
	Mín.	6.662,00	1.736,00	132,42	1,16	-90,10	27,9
6	Máx.	7.058,00	2.044,00	14,50	1,16	226,46	277,2
	Mín.	7.058,00	2.044,00	14,50	1,16	-112,21	-115,7

A taxa de aço para o carregamento em concreto convencional forneceu um valor de 127,89 cm² para o momento positivo que é equivalente a 26 Ø25,0. Com a substituição de 10% de argila expandida, encontrou-se uma taxa de aço de 122,5 cm² que é equivalente a 25Ø25,0.

Uma redução de aproximadamente 4,21% na taxa de aço por viga. Considerando o detalhamento da viga, pode-se alcançar uma redução de 172,3 Kg por viga e para toda a ponte 344,6 Kg de aço. Para o aço especificado, a economia é de R\$ 2.309,00. Considerando a mesma redução na taxa de aço para o estribo, obtém-se uma economia de 20 kg. Essa pequena redução deve-se a utilização de bitolas com pequenos diâmetros na armação dos estribos.

5 Conclusão

É de grande importância o estudo do concreto leve estrutural, visto que o mesmo pode gerar uma ótima economia para toda a construção da ponte. Utilizando uma substituição de apenas 10%, pode-se gerar uma redução de 16,6 toneladas por longarina. No total, obteve-se uma redução de 33,2 toneladas.

Observou-se uma significativa redução nos esforços internos, o que alivia bastante as tensões na estrutura. Deve-se analisar, com cuidado, todo o dimensionamento da ponte e, verificar em que parte da estrutura pode aplicar uma taxa maior de substituição da argila expandida, visto que o aumento da taxa implica em um módulo de elasticidade menor.

A economia no projeto da ponte se dá, não somente na taxa de aço a ser utilizada, mas também na redução das cargas na fundação da ponte, o que pode reduzir bastante os custos, com fundações profundas, e trazer mais segurança a obra.

6 Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: Determinação de composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR NM 35 - Agregados leves para concreto estrutural – Especificação; 1995
- MARCHETTI, Osvaldemar. Pontes de Concreto Armado. Editora Blucher. 2009.
- CASTRO, Cássio Kayque Costa. Estudo do Concreto Produzido com Substituição Parcial da Brita por Argila Expandida. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tiradentes, 2017.
- BATTAGIN, A.F. Uma breve história do cimento Portland. Disponível em <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. Concreto Estrutural Leve. In: ISAIA, G. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ibracon, 2005.
- ROSSIGNOLO, J. A. Concreto Leve Estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, out./dez. 2009.