



VIBROPRENSAGEM DE MISTURAS CIMENTÍCIAS SECAS PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Caroline Pessôa Sales¹
Bruno Apolônio de Souza Costa²

Neste trabalho são discutidos aspectos tecnológicos da vibro-prensagem de misturas cimentícias semi-secas no que diz respeito à granulometria e a forma dos agregados, ao teor de umidade das misturas e à metodologia de prensagem. O impacto de cada uma destas características é avaliado mediante a observação de aspectos técnicos, ambientais e financeiros, para isto foram apresentados e discutidos o consumo de energia na prensagem, a porosidade residual e a resistência mecânica. Finalmente, são apresentadas e discutidas as perspectivas futuras para o setor, o que aponta para o emprego da impressão 3D em concreto como um complemento, isto é, seu uso se aplica com sucesso em casos especiais. Contudo entende-se que não haverá substituição total da metodologia de prensagem pela produção aditiva à medida que a nova tecnologia é mais cara e ainda carece de desenvolvimento técnico para popularização.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em meados do século XX surgiram diferentes estratégias para substituição do modelo tradicional de construção civil centrado na produção in loco por alternativas mais racionalizadas, o que perpassa pela industrialização e culminou na atual tendência de automatização e robotização dos processos (BOCK, 2015). Estas metodologias produtivas agregam vantagens técnicas, ambientais, financeiras e sociais, pois permitem materializar formas arquitetônicas arrojadas, minimizar a variabilidade, elevar o padrão de qualidade, reduzir os desperdícios, melhorar o aproveitamento da energia envolvida no processo,

¹ Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2009) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2012). Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em estruturas e materiais de construção, principalmente na pesquisa dos seguintes temas: materiais pozolânicos, emprego de resíduos no concreto, concreto de alto desempenho, moagem e técnicas analíticas utilizadas na caracterização de materiais alimentícios.

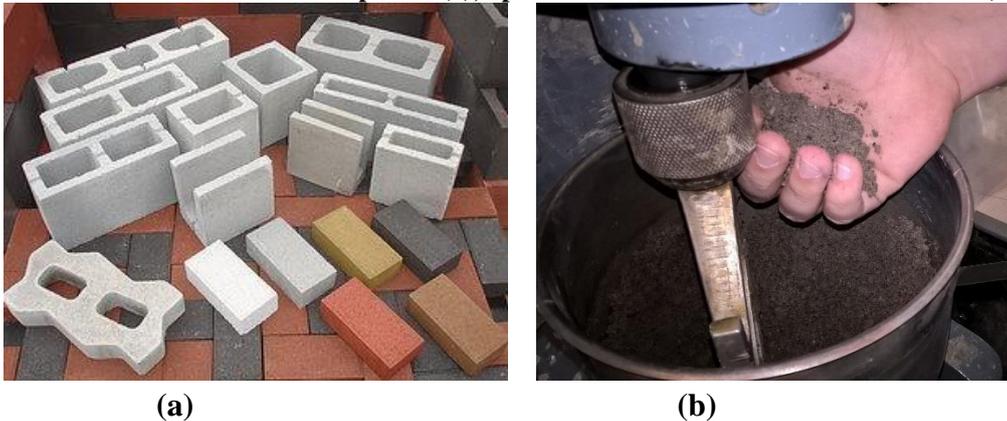
² Graduação em Engenharia pelo Centro Universitário da FEI (2014), Especialização em Gestão de Projetos Estruturais no programa de educação continuada da EP-USP e cursa Mestrado em Estruturas e Geotecnia na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em estruturas e geotecnia.

diminuir o tempo de execução, além de reduzir os riscos à saúde humana e os danos ambientais (CAO et al., 2015).

Neste contexto, a produção industrial de elementos estruturais baseada na pré-fabricação assume papel de destaque. É dito concreto pré-fabricado todo aquele cujos processos de mistura, moldagem e cura são realizados em um local diferente de sua aplicação final (ELLIOTT, 2002). Neste tipo de tecnologia podem ser utilizados concretos fluidos auto-adensáveis para fabricação de elementos estruturais protendidos de alto desempenho (NPCA, 2012).

Além disto, o conceito de pré-fabricação pode ser aplicado para obtenção de blocos, manilhas e paver, entre outros artefatos, a partir de vibro-prensagem de misturas com baixo teor de água ($a/c = 0,3$ a $0,4$) (Figura 1a). Este tipo de concreto apresenta aparência granular após a mistura (Figura 1b) e possibilita desforma imediata após a moldagem, o que torna esta tecnologia especialmente economicamente atrativa, uma vez que demanda baixo investimento (apenas uma forma para cada tipo de produto) e se caracteriza pela rapidez de produção (SCHLUMPF et al., 2013).

Figura 1 – Concreto seco: blocos e pavers (a); aparência da mistura recém confeccionada (b)



Fonte: os autores.

Neste trabalho serão abordados diferentes aspectos correlacionados a técnica de pré-fabricação (vibroprensagem) para produção de insumos da construção civil com vistas ao desempenho e à produtividade, além da viabilidade técnica e ambiental dos produtos gerados. Por fim, serão apresentadas as perspectivas futuras do setor.



PRÉ-FABRICAÇÃO: CONCRETOS SECOS PRENSADOS

Concretos secos são caracterizados pelo baixo teor de água, pela elevada coesão e pela ausência de abatimento. Neste caso a resistência mecânica é dada pelo contato entre as partículas, por isso os mesmos necessitam de compactação/vibração para expulsão do ar aprisionado e controle da porosidade destas misturas (MARCHIONE, 2012).

A facilidade com a qual o concreto pode ser compactado está intimamente ligada à quantidade de água presente na mistura e à sua mobilidade que, por sua vez, é governada pela geometria e morfologia das partículas. A forma e a granulometria dos agregados, o teor de umidade das misturas e a energia de prensagem empregada nas máquinas são as variáveis que influenciam diretamente na durabilidade e resistência dos concretos secos. Cada um destes aspectos deve ser avaliado cuidadosamente para a otimização das propriedades das misturas prensadas, conforme será abordado a seguir (item 2.1 a 2.1).

2.1 Seleção granulométrica dos constituintes

A seleção da granulometria dos agregados pode ser explorada para aperfeiçoar o comportamento das misturas secas (Tabela 1). O grau de compactação de produtos vibroprensados está condicionado e limitado às características granulométricas dos constituintes da mistura (KOVALSKA E AUZINS, 2011). A compacidade das misturas pode ser entendida como seu volume efetivo, que nada mais é que o volume total ocupado extraído o volume de poros. É conveniente que concretos secos sejam descritos como misturas secas de partículas compactadas mediante a aplicação de energia de alta intensidade (DE LARRARD, 1999).

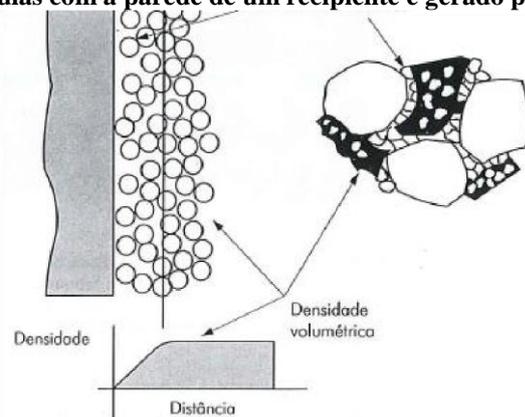
Füller e Thompson (1907) desenvolveram um estudo pioneiro baseado em princípios empíricos para a adequação granulométrica para produção de concretos com vistas ao empacotamento granular e à resistência das misturas. A maximização do empacotamento das misturas cimentícias pode ser viabilizada por meio da adequada seleção ou modificação da classe dos grãos, isto é, a granulometria e a forma dos constituintes da mistura (FORMAGINI, 2005).

Granulometrias contínuas conferem compacidade máxima uma vez que nesta configuração o espaço entre partículas maiores é ocupado por partículas imediatamente menores e assim sucessivamente (OLIVEIRA et al., 2000). Contudo, distribuições

granulométricas contínuas muitas vezes podem acarretar prejuízos à reologia das misturas, pois geram poros maiores na interface das partículas graças ao efeito parede (PILEGGI, 2001).

O emprego de agregados com granulometrias contínuas pode favorecer a ocorrência do efeito geométrico parede (Figura 2). Nesta condição, a ação do efeito parede corresponde à interferência de uma partícula sobre outra e ocorre quando não há diferença significativa nas dimensões das partículas, ou seja, a relação entre seus tamanhos é inferior a 10. Neste caso, as menores partículas se comportam diante das maiores como se estivessem próximas a uma superfície plana (OLIVEIRA et al., 2000).

Figura 2 – Efeito parede gerado pelo contato das partículas com a parede de um recipiente e gerado pela



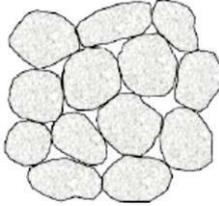
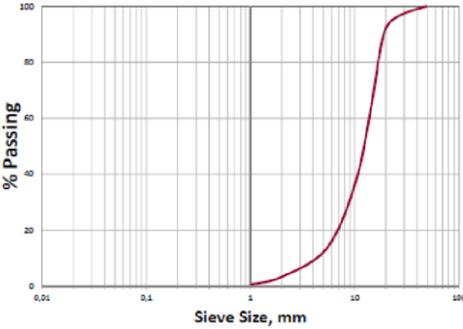
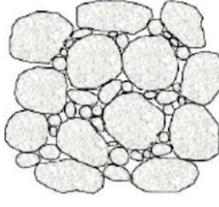
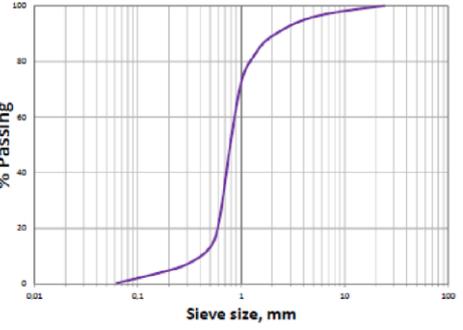
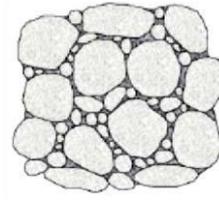
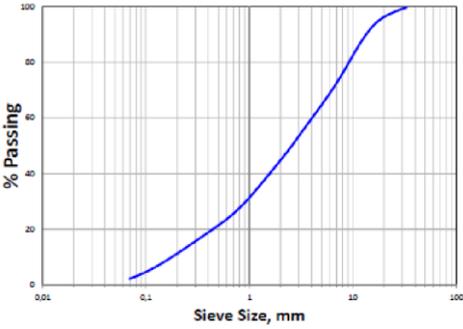
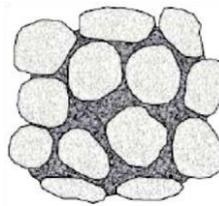
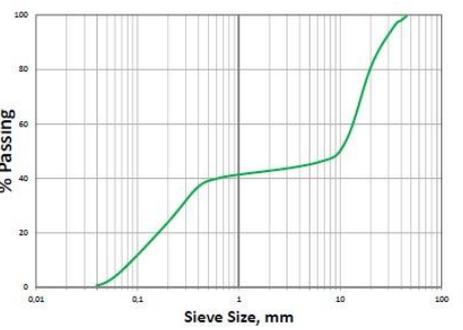
presença de agregados com dimensões muito distintas
Fonte: OLIVEIRA et al. (2000).

Sabe-se também que distribuições granulométricas abertas (com gaps) propiciam maior distância de separação entre as partículas e, por conseguinte, o fluxo de materiais é facilitado (CARDOSO, 2009). Deste modo, é possível inferir que a configuração granulométrica ideal consiste no emprego de partículas com granulometrias polimodais com faixas descontínuas uma, vez que esta configuração proporciona concomitantemente porosidade diminuta e mobilidade adequada (DAMINELI, 2013).

Pfeiffenberger (1985) apud MEDEIROS (1993) apresentou curvas granulométricas ótimas para dosagem dos agregados de acordo com o tipo de bloco o qual se deseja produzir (Figura 3). A utilização de distribuições de tamanho compatíveis com estes limites sugeridos permite a elaboração e ajuste do traço piloto com boa precisão, embora o proporcionamento final dos materiais deva ser observado com cuidado, por estar sujeito a diversos fatores

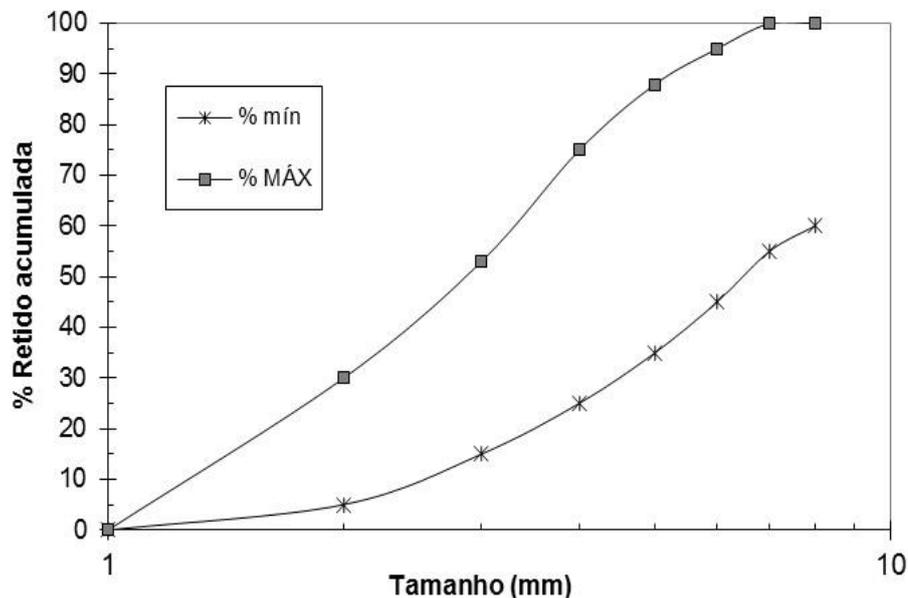
(materiais constituintes, prensa e metodologia de cura utilizada, entre outros) que podem alterar seu comportamento (OLIVEIRA, 2004).

Tabela 1 – Granulometrias e suas particularidades

Tipo de granulometria	Representação esquemática	Exemplo de distribuição granulométrica típica	Observações
Uniforme			Contém a maioria das partículas praticamente do mesmo tamanho. Compactação difícil e alto índice de vazios.
Aberta			Contém apenas uma pequena parcela das partículas finas. Compactação difícil e considerável índice de vazios.
Densa ou bem graduada			Contém a quantidade ótima de agregados em cada faixa de tamanho. Compactação difícil e baixo índice de vazios.
Descontínua (gap graded)			Contém a quantidade ótima de agregados em cada faixa de tamanho. Compactação fácil e moderado índice de vazios.

Fonte: adaptado de YIDETI (2012).

Figura 3 – Limites granulométricos e curvas granulométricas ótimas dos agregados para produção diferentes tipos de blocos segundo Pfeiffenberg (1985)



Fonte: modificado de MEDEIROS (1993).

A morfologia dos agregados é outro aspecto que deve ser observado criteriosamente. Quanto maior a tendência à esfericidade apresentada pelas partículas, melhor será seu empacotamento e maior sua fluidez, ou seja, menor sua demanda d'água (DE LARRARD, 1999). Além disto, em concretos secos a morfologia das partículas assume um papel extremamente relevante, uma vez que há grande contato entre os grãos e a lubrificação gerada pela pasta é reduzida, pois não há grande quantidade de pasta de cimento na mistura (SOUZA, 2001). Enfim, é possível afirmar que misturas constituídas por grãos com menos angulosidades terão menor atrito e, assim, serão mais facilmente prensadas, isto é, demandarão menos energia para a compactação.

Souza (2001) e Buttler (2007) constataram que a granulometria e a forma dos agregados utilizados exercem uma forte influência sobre a umidade ideal de moldagem, a trabalhabilidade e, por conseguinte, também sobre a resistência à compressão e a massa específica de blocos de concreto seco. Não por acaso, diversos métodos de dosagem de blocos estabelecidos (Besser Company, do IPT, da Composição Granulométrica e da Columbia) levam em conta as características dos agregados utilizados para a determinação da proporção ideal dos constituintes da mistura (BUTTLER, 2007).

Adicionalmente, a eficiência dos ligantes pode ser elevada através do aprimoramento do empacotamento granular de concretos plásticos e do controle da dispersão das partículas de



modo a ser possível empregar reduzidos teores de água, e de cimento, para uma dada resistência (DAMINELI et al., 2013). Deste modo, um bom projeto granulométrico é possível com o uso de finos na substituição parcial dos ligantes, e esta estratégia promove a sustentabilidade já que permite a redução da quantidade de cimento e de água usados.

2.2 Teor de umidade das misturas secas

A água presente nos concretos secos se destina, basicamente, a promoção das reações de hidratação e os espaços entre os agregados não são ocupados por pasta, como ocorre nos concretos convencionais, mas pelo ar (PRADO, 2006). Deste modo, a base teórica que descreve o comportamento dos concretos plásticos não se aplica as misturas secas, ou seja, concretos secos não podem ser descritos pela lei de Abrams, pois dependem das máquinas, das características dos agregados utilizados, entre outros aspectos.

O teor ótimo de umidade facilita a compactação, possibilita a obtenção de peças com menor índice de vazios e com melhor desempenho mecânico (FERNANDES, 2012). Além disto, nas misturas secas a quantidade de água deve ser tal que proporcione a distribuição uniforme da pasta e a desforma logo após a prensagem (MARCHAND et al., 1996).

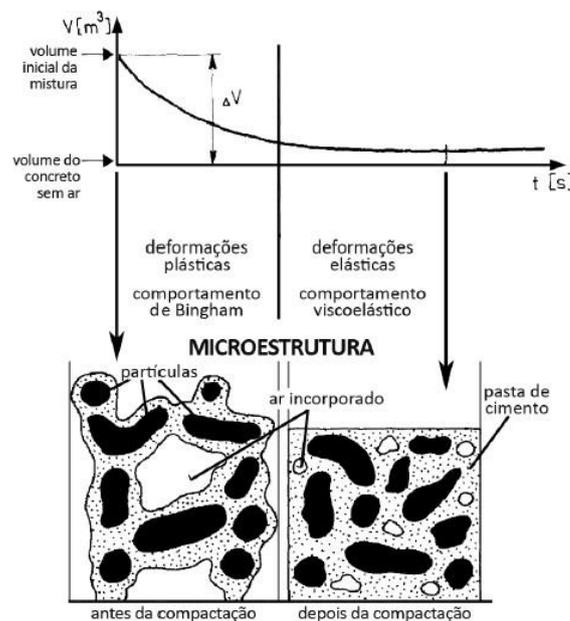
Quando é acrescentada uma quantidade água inferior a ideal, entretanto, o adensamento torna-se mais difícil, aumenta-se o desgaste dos equipamentos e tem-se pior acabamento das peças. Quanto maior a quantidade de água incorporada maior serão a compacidade e a resistência das misturas (BUTTLER, 2007). Por outro lado, misturas com água além do necessário tendem a ser mais porosas, possuem menor resistência, apresentarem problemas na desforma, terem maior retração e fissurarem mais.

A consistência ideal das misturas secas para prensagem pode ser ajustada através de ensaios de reometria compressiva (MARCHIONI et al., 2012). Esta metodologia é análoga ao método *squeeze flow* que comumente é utilizado para o estudo de misturas cimentícias. No caso da reometria compressiva, controla-se a velocidade e o tempo de descida do pistão até uma altura ou carga de compressão pré-definidas. A curva tensão-deformação no tempo permite caracterizar a prensagem em situação semelhante ao que ocorre no processo de vibroprensagem.

2.3 Vibro–prensagem dos concretos secos

As misturas secas podem ser compactas a rolo ou vibro-prensadas (aplicação simultânea de forças de compressão e de vibração) para confecção de elementos préfabricados (MARCHAND et al., 1996). Estes procedimentos geram esforços cisalhantes que diminuem o número de vazios e reduzem o volume da massa à medida que expulsam o ar contido e, assim, o concreto seco assume um comportamento viscoelástico, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 – Transformações volumétricas e microestruturais acarretadas pelo processo de prensagem do concreto seco



(NAKANO et al., 2014).

A capacidade de fluxo do concreto seco dentro do molde e a fricção das partículas são aspectos que interferem na facilidade de prensagem e estão intimamente ligados à quantidade de água e às características dos agregados (tamanho e forma), respectivamente (MARCHIONE et al., 2012). Além disto, a energia (frequência, carga, tempo) de prensagem, o teor de cimento e a eventual presença de aditivos fluidificantes também afetam o processo de prensagem (SCHLUMPF et al., 2013).

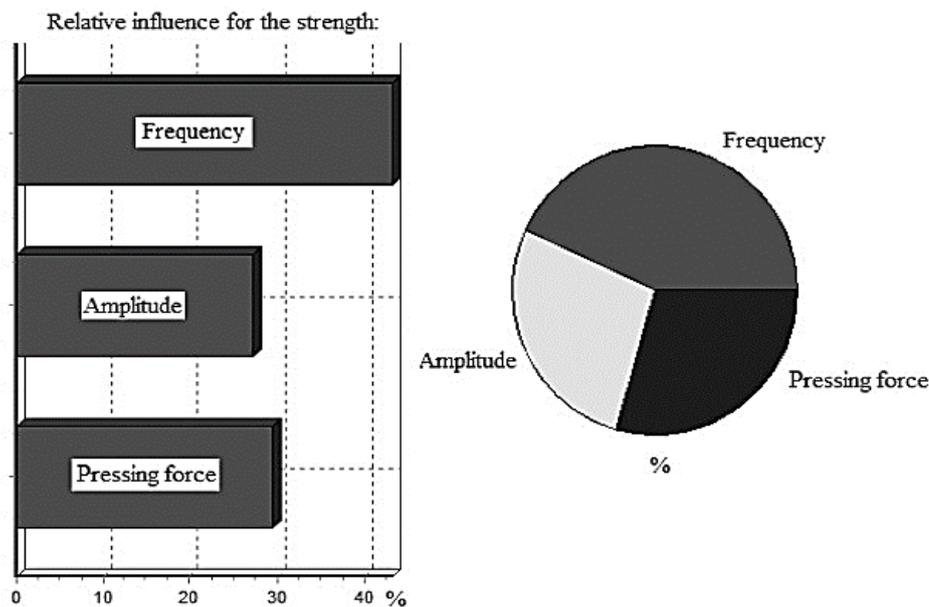
Equipamentos manuais, pneumáticos e hidráulicos podem ser utilizados na produção dos blocos e pavers. Estas prensas diferem, basicamente, quanto a energia de prensagem e, conseqüentemente, demandam diferentes quantidades de cimento para produzir blocos de

resistência compatível (GJØRV E BANTHIA, 1998). Deste modo, as máquinas manuais aplicam menor pressão na confecção dos produtos e, portanto, quando são utilizadas deve ser empregada maior quantidade de cimento para atingir desempenho semelhante ao de peças produzidas em prensas pneumáticas e hidráulicas.

Além das diferenças com respeito aos diferentes equipamentos de prensagem, a frequência e a amplitude de vibração ideal variam também conforme o traço da mistura (relação água/cimento e teor aditivos plastificantes) e a morfologia dos agregados. Em geral, misturas com menor teor de água e agregados mais angulosos demandam maior energia de compactação que misturas mais fluidas com agregados cúbicos (ACI, 1997).

Por fim, as condições de fabricação influenciam de forma direta no desempenho dos produtos secos, pois controlam a porosidade, a resistência e a textura de acabamento (SOUTSOS et al., 2011). No processo de vibro-prensagem a frequência dos equipamentos é responsável por cerca de 42% da resistência das peças de concreto seco prensadas, enquanto a pressão e amplitude contribuem de modo mais discreto (Figura 5).

Figura 5 – Efeito do processo de vibro-prensagem na resistência de espécimes de concreto seco



Fonte: KOVALSKA E AUZINS (2011).

PERSPECTIVAS FUTURAS: INOVAÇÕES E ECOEFICIÊNCIA

Acredita-se que a produção de insumos para construção através de prensagem teve início no antigo império romano com o emprego de misturas de cal, cimento romano



(pozolânico), pó de pedra e agregados com certa umidade que permitisse sua aglutinação (BENNETT, 2005). Os artefatos produzidos eram utilizados em substituição aos blocos de arenito e no reparo de estruturas de cantaria.

Mais tarde com o advento do cimento Portland no início do século XX passou-se a produzir misturas semi-secas com aglomerante (cimento) e pó de pedra compactadas manualmente. Nesta metodologia a fabricação concomitante de vários espécimes demandava muitas formas tendo em vista que a baixa energia de prensagem só possibilitava a desforma após 24 h, pois a consolidação dependia exclusivamente das reações de hidratação do aglomerante (BENNETT, 2005).

Atualmente, a maioria dos equipamentos para produção de elementos em concreto seco vibro-prensado atua de modo automatizado. Neste sistema os artefatos são prensados e em seguida transportados por pallets para cura térmica ou a vapor, portanto a resistência nas primeiras idades dada pela prensagem é de fundamental importância para que seja possível para a desforma e movimentação sem danos. Na sequência, após o período de cura, as peças são empilhadas e embaladas para enfim serem despachadas e comercializadas (UKCSA, 2014).

Além do surgimento de novos equipamentos de prensagem e do aperfeiçoamento dos métodos de seleção e dosagem de materiais, há de se considerar em alguns casos também a substituição, ainda que parcial, da prensagem pela produção aditiva. Esta técnica vem ganhando espaço com a popularização das impressoras 3D (WOHLERS E GORNET, 2014). Diferentemente da pré-fabricação que prevê o estabelecimento de padrões repetidos para a produção massiva, a impressão de componentes permite a customização dos componentes para atender as necessidades individuais de cada projeto (BERMAN, 2012).

Assim como na pré-fabricação, na produção aditiva observa-se a execução das estruturas de forma rápida e com baixa geração de resíduos (OBERTI, 2015). A principal vantagem do sistema de impressão 3D quando comparado à utilização de peças vibro-prensadas é dispensar o emprego de grande contingente de mão-de-obra, o que pode se refletir em menores custos operacionais e diminuição dos acidentes de trabalho no setor da construção civil (BUSWELL et al., 2007).



É preciso também dedicar especial atenção à dosagem do concreto que servirá como insumo, pois é fundamental que a mistura possua trabalhabilidade adequada para a extrusão e não apresente segregação, o que perpassa pela utilização de aditivos químicos e a otimização granulométrica dos constituintes (BUTTLER, 2007). Outro cuidado necessário no emprego desta metodologia é verificar a direção de impressão, tendo em vista que esta exerce um papel determinante sobre a resistência dos elementos, que podem ser considerados ortotrópicos (FENG et al., 2015).

Com o objetivo de traçar um paralelo entre a produção aditiva e a pré-fabricação por prensagem, foram comparados alguns aspectos relacionados ao emprego das técnicas, como mostra a Tabela 2. Quando ao desempenho ambiental, a possibilidade de utilizar matérias-primas com baixa energia incorporada (resíduos) e o reduzido consumo de água no processo podem ser consideradas as principais vantagens dos produtos impressos quando comparados aos modos de produção mais tradicionais (HAGER et al, 2016).

Tabela 2 – Comparativo entre os parâmetros técnicos e ambientais de vibro–prensagem e impressão 3D.

Variável	Vibro–prensagem	Impressão 3D
Demanda energética (MJ/peça)	4 – 14 ^a	4,46 x 10 ^{-5d}
Emissão de CO ₂ (kgCO ₂ /peça)	0,4 – 2,4 ^a	0,4 ^d
Consumo de cimento (kg/m ³)	350 – 400 ^b	-
Consumo de água (l/peça)	0,29 – 8,08 ^a	-
Consumo de agregados (kg/peça)	1900 ^b	-
Volume de resíduos sólidos gerados (m ³ /peça)	-	0,0024 ^d
Custo (R\$/peça)	0,79 – 5,29 ^c	-

Fonte: ^a CBCS (2015); ^b HÜSKEN (2007); ^c Leroy Merlin; ^d RAHIMI et al. (2009).

Por se tratar de uma tecnologia inovadora e ainda em fase de testes, dispõem-se de muito poucos dados acerca dos concretos confeccionados com impressoras 3D. Além disto, é preciso atentar para a necessidade analisar cuidadosamente o ciclo de vida dos materiais utilizados nas impressões no que cerne ao desempenho mecânico, a durabilidade, o conforto aos usuários, a geração de resíduos na produção e a disposição final na demolição (OBERTI, 2015).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reflexão acerca da pré-fabricação de elementos em concreto seco via prensagem indica que esta área carece de mais estudos e inovações técnicas para sistematização dos processos produtivos. A otimização desta metodologia possibilitaria a obtenção de produtos de melhor desempenho com menor impacto ambiental, uma vez que poderia ser reduzido o teor de cimento empregado, o consumo de água e energia, além de mitigada a geração de resíduos no processo.

A produção aditiva pode ser considerada como uma opção à vibro-prensagem, todavia sua aplicação está condicionada ao maior desenvolvimento desta tecnologia e à sua viabilidade econômica. Em suma, acredita-se que ambas as técnicas produtivas (vibro-prensagem e impressão 3D) possam ser utilizadas conforme a necessidade do projeto, sem que haja substituição da pré-fabricação pela produção aditiva de estruturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2_OBERTI.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://infoscience.epfl.ch/record/213312/files/2_OBERTI.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]
- 30_33_ coverstory_Contour Crafting.qxd - 30_33_-coverstory_Contour-Crafting.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.contourcrafting.org/wpcontent/uploads/2013/04/30_33_-coverstory_Contour-Crafting.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]
- 309R-96 Guide for Consolidation of Concrete - 309r_96.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/309r_96.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]
- 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? 853151.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://fulltext.study/preview/pdf/853151.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]
- 635736029016480821.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.shbosin.com/FileUPLoad/DownLoadFile/635736029016480821.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]
- AJAYI, Saheed O. et al. Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. **Resources, Conservation and Recycling** v. 102, p. 101–112 , set. 2015.
- ASHRAFIAN, Touraj et al. Methodology to define cost-optimal level of architectural measures for energy efficient retrofits of existing detached residential buildings in Turkey. **Energy and Buildings** v. 120, p. 58–77 , maio 2016.



BENNETT, David. **The Art of Precast Concrete: Colour Texture Expression** Walter de Gruyter, 2005a. 168 p.

BENNETT, David. **The Art of Precast Concrete: Colour, Texture, Expression** Walter de Gruyter, 2005b. 160 p.

BOCK, Thomas. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. **Automation in Construction** v. 59, p. 113– 121 , nov. 2015.

BROEREN, M.L.M. et al. Early-stage sustainability assessment to assist with material selection: a case study for biobased printer panels. **Journal of Cleaner Production** v. 135, p. 30–41 , nov. 2016.

BUTTLE, A. M.. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

CAO, Xinying et al. A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. **Journal of Cleaner Production** v. 109, p. 131–143 , dez. 2015a.

CARDOSO, F.A.. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009. 138 p

Construction 090622.indd - construction-090622_en.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/construction-090622_en.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2016. , [S.d.]

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. São Paulo, 265 p. 2007.

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

DE LARRARD, F. **Concrete mixture proportioning**. A Scientific Approach, 1 ed. London: E & FN Spon, 421 p. 1999.

ELLIOTT, Kim. **Precast Concrete Structures**. Elsevier, 2002. 389 p.

FENG, Q.; YAMAMICHI, H.; SHOYA, M.; SUGITA, S. Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. **Cement and Concrete Research**, v. 34, pp. 521-526. 2004.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers: produção e controle de qualidade**. Jaraguá do Sul: Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda. 3ª ed.,. 182 p.2012.

Final-FreeformAicPaper_060413_AmmendedWithReviewersComments.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://dspace.lboro.ac.uk/dspacejsui/bitstream/2134/9925/9/Final-FreeformAicPaper_060413_AmmendedWithReviewersComments.pdf>. Acesso



em: 23 set. 2016. , [S.d.]

FORMAGINI, S. **Dosagem científica e caracterização mecânica de concretos de altíssimo desempenho.** Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro /COPPE, Rio de Janeiro, 259 p. 2005.

FULLER, W. B.; THOMPSON, S. E. **The laws of proportioning concrete.** Journal of Transportation. Engineering-ASCE, 59, 67–143. 1907.

GJØRV, Odd E.; BANTHIA, Nemkumar. **Concrete Under Severe Conditions 2: Environment and Loading: Proceedings of the Second International Conference on Concrete Under Severe Conditions, CONSEC '98, Tromsø, Norway, June 21-24, 1998** CRC Press, 1998. 776 p.

Layout 1 - The-Little-Green-Book-of-Concrete.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<<http://precast.org/wp-content/uploads/2011/05/The-Little-Green-Book-ofConcrete.pdf>>.
Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]

LE, T. T. et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. **Materials and Structures** v. 45, n. 8, p. 1221–1232 , 19 jan. 2012.

MAAS, Ger; VAN GASSEL, Frans. The influence of automation and robotics on the performance construction. **Automation in Construction** v. 14, n. 4, p. 435–441 , ago. 2005.

MARCHIONI, M. L.. **Desenvolvimento de técnicas de caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo. São Paulo, 112 p. 2012.

Marchioni-on-Testing-Compacted-Dry-Concrete.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<<http://www.sept.org/techpapers/Marchioni-on-Testing-Compacted-DryConcrete.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2016. , [S.d.]

MEDEIROS, J. S.. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

Microsoft Word - _A1__Inside_Cover_Sheet_QC_Manual_9th_Edition_12-14-11 - QCM9th_Edition.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<http://precast.org/wpcontent/uploads/2011/03/QCM9th_Edition.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]

Microsoft Word - 076_Kovalska - 076_Kovalska.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<http://tf.llu.lv/conference/proceedings2011/Papers/076_Kovalska.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]

Microsoft Word - history2014.doc - history2014.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<<http://wohlersassociates.com/history2014.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2016a. , [S.d.]

NAKANO, A. Y.; TORRES, D. R.; GRANDES, F. A.; MAIA, F. T. V.; FUJITAKI, G. J.. **Estudo de viabilidade do uso de resíduos da construção e demolição na fabricação de peças**



intertravadas de concreto. Projeto de Formatura – Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 191. 2014.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação.** Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 296p. 2004.

PILEGGI, R. G., **Ferramenta para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** Tese de doutorado - Universidade Federal de São Carlos, 187 p. 2001.

PRADO, D. M.. **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto.** Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo. São Carlos, 140 p.. 2006.

pub_geral.show_file. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=729932>. Acesso em: 29 jun. 2016. , [S.d.]

Sika Concrete Handbook 2013 - Sika Concrete Handbook 2013.pdf. . [S.l: s.n.].
Disponível em:
<<https://www.sika.com/content/dam/dms/cconstr01/9/Sika%20Concrete%20Handbook%202013.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]

Slide 1 - workshop-INSIS_11.01.16_GESteban.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<http://www.cnrs.fr/insis/recherche/docs-evenements/workshop-INSIS_11.01.16_GESteban.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2016. , [S.d.]

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G.. The use of recycled demolition aggregate in precast concrete products – Phase III: Concrete pavement flags. **Construction and Building Materials**, v. 25, pp. 3131–3143. 2011

The microstructure of dry concrete products. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884696850307>>. Acesso em: 23 set. 2016.

UKCSA-Technical-Manual-for-Cast-Stone.pdf. . [S.l: s.n.]. Disponível em:
<<http://www.ukcsa.co.uk/pdfs/UKCSA-Technical-Manual-for-Cast-Stone.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2016. , [S.d.]

YIDETI, T. F.. **Performance model for unbound granular materials in pavements.** Licentiate Thesis - Royal Institute of Technology. Suécia, 2012.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. Automation and robotics in construction: International research and achievements. **Automation in Construction** v. 19, n. 3, p. 286–290 , maio 2010.



Caroline Pessôa Sales

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2009) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2012). Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em estruturas e materiais de construção, principalmente na pesquisa dos seguintes temas: materiais pozolânicos, emprego de resíduos no concreto, concreto de alto desempenho, moagem e técnicas analíticas utilizadas na caracterização de materiais alimentícios.

Bruno Apolônio de Souza Costa

Graduação em Engenharia pelo Centro Universitário da FEI (2014), Especialização em Gestão de Projetos Estruturais no programa de educação continuada da EP-USP e cursa Mestrado em Estruturas e Geotecnia na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em estruturas e geotecnia.

Trabalho recebido em 28/11/2019

Aceito para publicação em 10/01/2020

Para citar este trabalho:

SALES, Caroline Pessôa; COSTA, Bruno Apolônio de Souza. VIBROPRENSAGEM DE MISTURAS CIMENTÍCIAS SECAS PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Revista Aten@.. Unimes Virtual. Volume 2. Número 3. Dezembro – 2019 – Disponível em:

<http://periodicos.unimesvirtual.com.br/index.php/gestaoenegocios/index>