

Desenvolvimento de Argamassa Cimentícia usando resíduos sólidos: Determinação do módulo de elasticidade a partir do ensaio de determinação da velocidade de onda ultrassônica

Janilce Negrão, Jardel Attilio Pasquali, Adriana de Paula Lacerda Santos, Nicolle Sotsek, Marcell Mariano Maceno

Resumo: O objetivo da pesquisa é desenvolver novos produtos a partir de resíduos sólidos que serão descartados e que de alguma forma possam implementar, melhorar ou adicionar novas características e aplicações distintas a outros produtos. Neste contexto, este artigo apresenta os resultados obtidos em laboratório referente ao estudo de painéis que farão parte da unidade habitacional foco da pesquisa. Foram produzidas em laboratório argamassas de cimento + água + resíduo a fim de determinar o módulo de elasticidade de cada mistura visando identificar qual deles é mais interessante ser usado para a construção de painéis que possam ser usados na fabricação das casas populares. O método de pesquisa utilizado foi o experimento. Nas misturas realizadas foram usados resíduos de plástico, de madeira e de papelão. Foram construídos cinco conjuntos de três corpos de provas medindo 4x4x16cm e estes foram submetidos ao ensaio de velocidade de onda ultrassônica no 14º dia. Para a elaboração deste ensaio foi usado as normas ASTM C597-09 e a ABNT NBR 8802:2013 o. O ensaio realizado foi o não destrutivo, usado para conhecer o módulo de elasticidade dinâmica da mistura e seu comportamento. Os resultados obtidos apontam que a mistura de resíduos de papelão foi a melhor, principalmente por apresentar uma mistura com aspecto homogêneo, uniformidade e menor de número de vazios no corpo de prova, o que fez resultar uma maior resistência da mistura de papelão em relação aos outros materiais.

Palavras chave: Argamassa, Módulo de elasticidade, Ultrassom.

Development of Cement Mortar using solid waste: Determination of modulus of elasticity from the ultrasonic wave velocity test

Abstract: The objective of the research is to develop new products from solid waste that will be discarded and that can somehow implement, improve or add new distinctive features and applications to other products. In this context, this article presents the results obtained in the laboratory regarding the study of panels that will be part of the research housing focus. Cement mortar + water + residue were produced in the laboratory to determine the modulus of elasticity of each mixture in order to identify which one is most interesting to be used for the construction of panels that can be used in the fabrication of popular houses. The research method used was the experiment. The mixtures used were plastic, wood and cardboard waste. Five sets of three specimens measuring 4x4x16cm were built and subjected to the ultrasonic wave velocity test on day 14. For the preparation of this test, the ASTM C597-09 and ABNT NBR 8802: 2013 o standards were used. The non destructive test was used to know the dynamic modulus of elasticity of the mixture and its behavior. The results show that the cardboard waste mixture was the best, mainly because it had a mixture with homogeneous appearance, uniformity and smaller number of voids in the specimen, which resulted in a greater resistance of the cardboard mixture in relation to other materials.

Keywords: Mortar, Modulus of elasticity, Ultrasound

1. Introdução

Segundo Logarezzi (2003), define que lixo e resíduos são de certa forma distintos embora muitas vezes serem tratados da mesma forma. Primeiramente resíduos são restos ou sobras provenientes de atividades de pessoas que podem ser recicladas, já o vulgarmente nomeado lixo é o que mesmo após a reciclagem acaba sobrando e conseqüentemente é descartado sem nenhum uso. Acabamos associando o primeiro com valores sociais, econômicos e ambientais, no sentido que o segundo não tem seus potenciais aproveitados.

Os chamados Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs, de acordo com a norma NBR.10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT), popularmente chamado de lixo doméstico, são resultantes da atividade doméstica e comercial dos centros urbanos. A composição varia de população para população, dependendo da situação socioeconômica e das condições e hábitos de vida de cada um. Infelizmente no Brasil, a desigualdade social ainda é muito predominante perante a sociedade. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2017 cerca de 50 milhões de brasileiros, o equivalente a 25,4% da população, vivem na linha de pobreza e têm renda familiar equivalente a R\$ 387,07 – ou US\$ 5,5 por dia. Além disso inúmeros indicadores demonstram a profunda desigualdade que afeta o país em todos os níveis (cor, gênero, região, escolaridade, etc) mesmo quando comparado a outras nações da América Latina, região onde a desigualdade é ainda mais acentuada. Quando as oportunidades profissionais assalariadas são escassas, algumas famílias recorrem a coleta de resíduos sólidos como alumínio, papelão, plástico e outros materiais para o seu sustento, algumas pessoas trabalham individualmente e outras acabam se agrupando assim criando associações ou cooperativas de coleta seletiva. Em panorama geral, cooperativas são empresas formadas por trabalhadores (produtores ou consumidores) em favor dos diversos interesses econômicos e sociais dos trabalhadores. São empreendimentos econômicos sem fins lucrativos, que visam a satisfação das necessidades econômicas dos trabalhadores, produtores ou consumidores, que são seus cooperados. Ou seja, cooperativas de reciclagem desenvolvem o processo de tratamento dos materiais recicláveis e os enviam às empresas recicladoras buscando gerar renda para os catadores.

Segundo Chikarmane (2009), os coletores de resíduos recicláveis têm um papel importante nos países em desenvolvimento. Dentre os benefícios que resultam da coleta, separação e reciclagem dos resíduos, além da geração de renda e inclusão social dos trabalhadores envolvidos, pode-se citar: a contribuição à saúde pública e ao sistema de saneamento; o fornecimento de material reciclável de baixo custo à indústria; a redução nos gastos municipais e a contribuição à sustentabilidade do meio ambiente, tanto pela diminuição da matéria-prima primária utilizada, que conserva recursos e energia, tanto pela diminuição da necessidade de terrenos a serem utilizados como lixões e aterros sanitários. Nem sempre as cooperativas têm instruções de trabalho apropriadas, em certas ocasiões o ambiente de trabalho chega a ser insalubre e trazendo riscos à saúde do coletor, pois devido à falta de políticas públicas eficiente, os resíduos domésticos que chega até as cooperativas não é devidamente separado o que faz com que alguns trabalhadores entrem em contato com produtos perigosos e contaminantes.

O desenvolvimento sustentável e seus pilares é muito discutido no mundo atualmente, a preocupação com meio ambiente, a melhor utilização dos recursos e o não desperdício são

temas que exaustivamente são pregados a fim de que a sociedade como um todo repense a forma que vive para causar menor impacto possível. Por isso pesquisas e tecnologias referente a resíduos que seriam descartados são tão importantes, com isso o presente estudo desta pesquisa é se envolver diretamente com o desenvolvimento de produtos, compósitos ou quaisquer elementos oriundos de resíduos sólidos. Foi destinado um período de tempo as pesquisas científicas com o propósito de estabelecer métricas, embasamento teórico e criatividade. Ficou definido de que o produto a ser desenvolvido será um bloco de concreto ou placa cimentícia. Material que é constituído por água, aglomerante (cimento) e partículas aglutinadas (geralmente areia), no entanto a ideia primária é retirar o uso da areia e substituir por outro elemento como, por exemplo a serragem de madeira, plástico, papelão e papel. O intuito é criar painéis de cimento com custo reduzido, de fácil montagem, com atributos melhorados. O interesse é que os próprios catadores ou seletores desses materiais possam elaborar tais produtos para uso próprio até mesmo para possível venda, o que sem dúvidas incrementaria na renda financeira do mesmo. O compósito passará por alguns testes em laboratório para comprovar as suas propriedades e viabilidade, sendo que se dará uma maior atenção ao método de ensaio não destrutivo por ultrassom.

2. Revisão da literatura

No Brasil, 72,25% das florestas exóticas plantadas estão em regiões Sul e Sudeste. Há 6,66 milhões de hectares plantados no país, sendo 76,6% do Eucalipto e 23,4% de Pinus (ABRAF, 2013). O consumo de madeira serrada sofreu um aumento no Brasil nos últimos anos, atingindo 9,2 milhões de m³ em 2012, devido à elevação do consumo da matéria prima pelo mercado interno, impulsionado juntamente com a indústria da construção civil e de embalagens (ABRAF, 2013), o que provoca uma quantidade enorme de sobras como serragem, papel descartado e outros produtos provenientes da madeira. As espécies Pinus e Eucalipto são as espécies de arvores de corte mais abundantes na região sul e no território brasileiro como um todo. Essas duas espécies são de outras regiões do mundo, mas que se adaptaram bem ao clima e solo do brasileiro, sendo que são os principais tipos de árvore para a produção de madeira pois apresentam boas características e custo reduzido.

De acordo com Semple e Evans (2004) e Moslemi (1989; 1993), todos os elementos produzidos a partir de madeira e cimento demonstrou uma série de vantagens, entre elas: grande disponibilidade de estoque, de baixo peso específico, de baixa permeabilidade, capacidade de ser serrado, e adequabilidade para parafuso de fixação e acabamento exterior, tais como tintas, etc. Tais aspectos permitem seu uso na produção de painéis de vedação, em unidades de alvenarias, forro e outros. O principal obstáculo para a produção compósitos de madeira-cimento, é a incompatibilidade entre o cimento e a madeira, porque alguns produtos químicos solúveis de madeira são encontrados para impedir ou parar a hidratação do cimento quando eles são atacados pelo ambiente alcalino e difundem-se para o cimento colar, que resulta na menor resistência mecânica dos compósitos de madeira-cimento em comparação com o cimento puro (ZHENG TIAN e MOSLEMI, 1986; THOMAS e BIRCHALL, 1983). O uso de um tratamento simples e barato representa uma maneira de melhorar a compatibilidade do cimento quando espécies incompatíveis estão presentes, por isso se tem grande intuito a utilização de aditivos químicos para diminuir a quantidade água necessária para a produção de materiais com cimento e também para melhorar a compatibilidade entre concreto e materiais agregados como a serragem de madeira.

2.1. Cimento e concreto

Basicamente o cimento é formado por uma mistura de clínquer (elemento oriundo da calcinação de calcário, argila e componentes químicos), gesso e adições tendo como resultado um aglomerante hidráulico que quando em contato com o ar, endurece, possibilitando dessa forma, a estruturação de obras em geral. (ABCP, 2012). Existem no Brasil cerca de cinco tipos básicos de cimento e três especiais. Embora todos sejam indicados para uso geral na construção civil, há diferenças entre eles, com isso sempre é importante conhecer bem as características e propriedades, ligadas a cada tipo, para que seja usada o melhor tipo cimento para determinada aplicação.

O material mais usado na construção civil é o concreto, normalmente feito com a mistura de cimento Portland com areia, pedra e água (METHA & MONTEIRO, 1994). Podem-se listar vantagens do concreto em relação com outros materiais como resistência à água, a obtenção de diversas formas e tamanhos por elementos estruturais feitos de concreto e seu baixo custo podendo, inclusive, ser fabricado no local da obra. De fato, a dosagem dos elementos que compõem o concreto ou argamassa define a suas propriedades e aplicações, o que o mesmo nos permite ter uma infinidade combinações, proporções, permitindo o uso de materiais inovadores em certos momentos como o plástico e a madeira e diversos métodos para estudá-lo. Com o aumento da complexidade das construções, exige-se cada vez mais a qualidade dos materiais e sua composição, com ensaios e testes a fim de prevenir qualquer problema futuro e almejar sempre um produto mais rentável. O objetivo de conhecer as características dos materiais é que têm grande influência no processo de dosagem do concreto (HELENE e TERZIAN, 1993).

2.2. Poliestireno expandido (EPS) e Papelão

A espuma de poliestireno expandido possui estrutura obtida por meio da expansão do poliestireno (PS). No Brasil, o EPS é mais conhecido como Isopor®, marca registrada da empresa Knauf Isopor® Ltda. O EPS geralmente é utilizado como isolante térmico em edificações, permitindo a economia energética durante a vida útil do edifício, energia esta que pode ser centenas de vezes superiores à energia consumida durante o processo de fabricação. Esta economia de energia contribui para a preservação dos recursos energéticos, reduzindo a emissão dos gases poluentes e dos gases que contribuem para o efeito estufa sobre a atmosfera. (EPS Packaging Organization, 2008). A maioria dos produtos de consumo como eletrodomésticos e produtos eletrônicos não são projetados para resistir ao choque e vibrações produzidas durante o armazenamento, transporte e manuseio. Um dos materiais mais amplamente utilizados para a embalagem protetora destes bens é a espuma de poliestireno expandido (EPS). Sendo preferencialmente utilizado como embalagem, o EPS tem um ciclo de vida curto, pois como outros plásticos, o EPS não é biodegradável (EPS Packaging Organization, 2008). Já o papelão é um tipo mais grosso e resistente de papel, muito utilizado na fabricação de caixas para produtos, podendo ser liso ou enrugado. É produzido dos papéis compostos das fibras da celulose, que são virgens ou reciclados. Geralmente as caixas de ovos são feitas de papelão reciclável e no final do seu uso é descartada pois a sua reciclagem é limitada pelo fato de não ser um material virgem e já estar com as fibras celulósicas comprometidas assim impossibilitando sofrer mais um processo de reciclagem. De acordo com (FERGUNSON, 1992), o papel pode ser reciclado de seis a dez vezes, o que demonstra a capacidade do prolongamento do ciclo de vida deste produto.

2.3. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é um fator muito importante para métodos de ensaios e previsão do comportamento do concreto ou argamassa para aplicação em estruturas, projetos, casas ou até mesmo para estudo de comparações. Definir o módulo de elasticidade correto nos permite conhecer qual é a utilização de determinada quantidade da relação água/cimento, agregados e outros materiais que interferem nas características como resistência, rigidez e capilaridade. Segundo Neto (MELO NETO, 2002) a determinação do módulo de elasticidade do concreto é, de modo geral, mais complexa em relação à determinação da sua resistência à compressão pois grande parte dos projetos estruturais usa um valor de elasticidade encontrada em equações que muitas normas citam, tomando como variável a resistência à compressão. As deformações reversíveis ocorridas em corpo que sofre tensões são denominadas deformações plásticas, sendo que quando tensão finaliza o corpo em si retorna a sua forma inicial. É uma característica muito comum dos materiais sólidos. Considerando-se que a deformação seja proporcional à tensão aplicada (Lei de Hooke) a razão entre tensão e deformação é definida como módulo de elasticidade ou módulo de Young. O concreto e a argamassa apresentam um aspecto visco elástico devido principalmente aos seus constituintes, com isso com o comportamento não linear demonstra de forma distinta dos materiais homogêneos que não segue a lei de Hooke, ou seja, nem sempre apresenta proporcionalidade (não é linear) entre tensão aplicada e a deformação específica resultante.

Já que não é viável a aplicação da Lei de Hooke de forma direta para materiais com o comportamento não linear, temos a possibilidade para determinação experimental do módulo de Young por meio da realização de ensaios dinâmicos.

No caso do concreto ou argamassa, ambos sugerem diversas discussões em relação ao módulo de elasticidade, mas de forma geral por serem formados através de vários constituintes como cimento, agregados, água e outros acabam apresentando aspectos de um material heterogêneo com fração variada de seus componentes cada um de acordo com sua finalidade, assim como a massa específica, além disso outros fatores também interferem no módulo de elasticidade.

Devido à não linearidade da curva tensão-deformação do concreto, são definidos pelo menos três tipos de módulos de elasticidade, resumidos por Helene (1998) e Mehta e Monteiro (2014):

- a) Módulo de elasticidade tangente inicial: é o módulo de deformação, estático e instantâneo para uma linha tangente à curva tensão-deformação traçada a partir da origem. Corresponde ao módulo de elasticidade cordal entre $0,5 \text{ MPa}$ e $0,3f_c$ e ao módulo de elasticidade secante a $0,3 f_c$. É utilizado quando se requer caracterizar deformações do concreto submetido a tensões muito baixas.
- b) Módulo de elasticidade secante: é o módulo de deformação estático e instantâneo, dado pela declividade de uma linha traçada da origem até qualquer porcentagem de f_c . Geralmente recomenda-se trabalhar com o módulo de elasticidade secante a $0,4f_c$, que equivale ao módulo cordal entre $0,5 \text{ MPa}$ e $0,4f_c$.
- c) Módulo de elasticidade cordal: é o módulo de deformação, estático e instantâneo, dado pela inclinação de uma linha traçada em qualquer intervalo da curva tensão-deformação.

3. Métodos experimentais de elasticidade

Para definição do módulo de elasticidade temos dois métodos experimentais: o estático e o dinâmico, que são realizados por ensaios destrutivos ou não destrutivos. Ambos normalizados pela ABNT e também por normas provenientes de outros países.

A técnica de velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos através do material baseia-se na relação estabelecida por Rayleigh entre a velocidade de propagação do som em determinada amostra, sua massa específica e suas características elásticas (Malhotra e Sivasundaram, 1991). O método é amplamente utilizado para analisar o estado da estrutura de concretos, como pontes, barragens, túneis, etc., devido ao fato de ser uma técnica não destrutiva, que já vem sendo utilizada há mais de 40 anos nas investigações de materiais à base de cimento (MATUSINOVIC et al., 2004; YE et al., 2004).

De acordo ASTM C597-09 o método de ensaio de determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica em corpos de prova de concreto e argamassa é usado para analisar a uniformidade e a qualidade relativa do material e indicar a presença de vazios. As ondas longitudinais com frequências que variam de 20KHz a 150KHz. Apenas em setembro de 2008, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 15630, que estabelece os procedimentos de ensaios para determinação do módulo de elasticidade dinâmico por meio da propagação de onda ultrassônica para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Esta norma é muito parecida com a da norma britânica BS – 1881 parte 203 (1986), utilizando a equação 1:

$$E_d = \rho \cdot V^2 \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

ρ = densidade de massa no estado endurecido do concreto (kg/m^3);

V = velocidade que a propagação da onda (em km/s);

ν = coeficiente de Poisson. Esse coeficiente pode variar entre 0,10 a 0,20.

O ensaio não destrutivo é obtido através da equação 2:

$$\nu = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (\text{km} / \text{s}) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

Δs : É a altura de corpo do prova (em km);

Δt : O tempo que a onda se propaga (em s).

Com isso calcula-se a velocidade de propagação da onda ultrassônica obtida através do equipamento PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), que possui frequência de 54 khz (Figura 1).



Figura 1: Equipamento usado no método de ultrassom

No Brasil, ainda não existe norma para determinar o módulo de elasticidade dinâmico do concreto. Porém, a ABNT NBR 8802 (2013) estabelece o método de ensaio não destrutivo para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, contudo, algumas normas internacionais preescrevem tais procedimentos há um bom tempo.

Quadro 1: Procedimentos e normas para ensaio de ultra-som (Evangelista, 2002; Benetti, 2012).

Parâmetro	Normas			
	NM58/1996 ABNT NBR8802:2013	RILEM NDT1/1972	BS1881: Part 203:1986	ASTM C597/1983
Frequência de Ultrassom	Acima de 20KHz	20 a 200KHz	20 KHz a 150 KHz	10 KHz a 150 KHz
Superfície	Seca ao ar, limpa e plana	Plana	Seca ao ar, limpa e plana	Seca ao ar, limpa e plana
Área de ensaio para verificar elementos estruturais grandes	1m ²	-	-	-
Distância entre os transdutores	Precisão de + 1%	Precisão de + 1%	Precisão de + 1%	Precisão de + 0,5%
Medições de velocidade	Precisão de + 1%		Precisão de + 0,5%	Precisão de + 0,5%

4. Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado foi o experimental, através de ensaios laboratoriais com simulação das situações no qual o compósito seria usado de acordo com as normas estabelecidas. Além da busca na literatura de pesquisas já realizadas e suas aplicações. Cada etapa da Figura 2 revela os procedimentos definidos ao longo da pesquisa a fim de buscar o melhor resultado e sua validação.

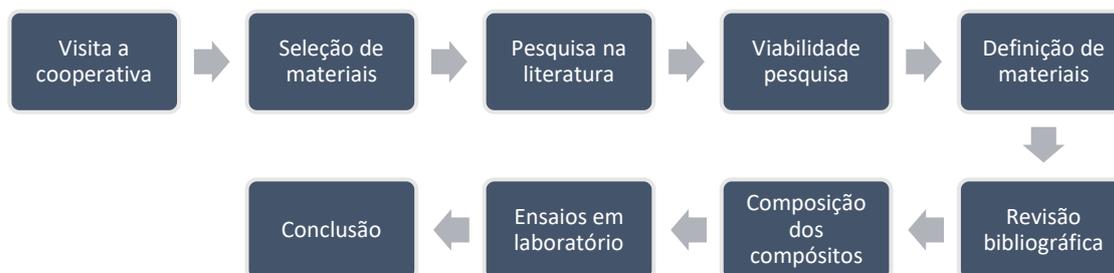


Figura 2: Fluxograma das etapas da pesquisa

4.1. Procedimento experimental

A fabricação e as análises dos materiais compósitos obtidos foram realizadas no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) localizado na Universidade Federal do Paraná, campus centro politécnico -Curitiba PR. Os materiais utilizados nos procedimentos foram o papelão (caixa de ovo), isopor e serragem de madeira. Os materiais foram coletados na cooperativa de recicláveis CATAMARE, sendo que a preparação deles para produção dos corpos de provas para os ensaios foram as seguintes: o papelão (caixa de ovo) foi recortado manualmente depois triturado na batedeira; o isopor foi colocado em um triturador até chegar nos menores pedaços do material e depois peneirado com uma peneira granulométrica de 2,45 mm; a serragem de madeira já foi coletado cortada. A quantidade de cimento e água seguiram o padrão de referência e apenas a quantidade dos agregados foram variando ao longo do experimento, foram preparadas as misturas em uma batedeira tradicional até apresentarem aspecto homogêneo. Os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de provas seguiram a NBR 5738: 2015, tais quantidade dos materiais para a elaboração dos corpos de provas podem ser verificadas no Quadro 2.

Após o tempo necessário de cura, os corpos de provas foram preparados para a realizados dos ensaios em laboratório. A determinação da resistência a compressão do concreto foi determinada de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). A velocidade de propagação da onda ultrassônica foi determinada nos corpos de prova prismáticos antes dos mesmos serem preparados para o ensaio de resistência à compressão. Para a determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica utilizou-se o Aparelho de Ultrassom Portátil Digital (PUNDIT LAB), com transdutores calibrados em 54 kHz e diâmetro de 50mm. O procedimento adotado foi o da ASTM C597-09 juntamente com NBR 8802 (ABNT, 2013), empregando a transmissão direta entre os transdutores. A calibração do equipamento foi realizada antes de cada ensaio empregando-se uma barra cilíndrica padrão (d=50mm e h=160mm).

RELAÇÃO DE MATERIAIS USADOS	
C1	Materiais : Cimento + areia + água
	Traço : 1:3:0,5
	Quantidade (g) : 600 g de cimento + 1800 g de areia + 300g de água
C2	Materiais : Cimento + isopor + areia + água
	Traço : 1:0,03:2,8:0,6
	Quantidade(g) : 500g de cimento + 15g de isopor + 1400g de areia + 300g de água
C3	Materiais : Cimento + pinus + plastificante + água
	Traço : 1000g de cimento + 280g de pinus + 6g de plastificante + 600g de água
	Quantidade (g) : 600 g de cimento + 1800 g de areia + 300g de água
C4	Materiais : Cimento + caixa de ovo + água
	Traço : 1:0,05:0,5
	Quantidade (g) : 1000g de cimento + 50g de caixa de ovo + 500g de água
C5	Materiais : Cimento + caixa de ovo + água
	Traço : 1:0,04:0,5
	Quantidade (g) :1000g de cimento + 40g de caixa de ovo + 500g de água

Quadro 2: proporções de materiais usadas no primeiro ensaio

5. Resultados e discussões

Para verificar qual o melhor material a ser estudado e dar prosseguimento aos ensaios e estudos, foi experimentalmente analisado os três materiais que seriam usados para a produção do compósito, sendo eles o papelão (ovo de ovo), serragem de madeira e isopor. O Quadro 3 apresenta os resultados e seu comportamento em relação aos ensaios:

Norma :		NBR 8802 / ASTM C597-09		(NBR 13279)					
tipo de ensaio :		ensaio não destrutivo		ensaio destrutivo					
				Tração		Compressão			
CP	Massa (g)	Ultrassom (us)	Ultrassom (m/s)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (MPa)	Força máxima (N)		Resistência à flexão (MPa)	
						L1	L2	L1	L2
C1	249,49	344	465	138	0,32	1335	1348	0,83	0,84
C3A	400,67	55,4	288	2043	4,79	28419	27885	17,76	17,43
C2	351,33	57,4	2787	811	1,9	8846	9532	5,53	5,96
C4	537,97	38,8	4124	2163	5,07	54019	54540	33,76	34,09
C3B	389,61	51,9	3083	1831	4,29	20757	20316	12,97	12,7

Quadro 3: resultados de acordo com cada ensaio

De acordo com os resultados e tendo C4 (corpo de prova tradicional) como referência, o corpo de prova que apresentou melhor comportamento foi o C3B que tinha como material em sua composição o agregado de papelão. O isopor (C2) apresentou e teve um resultado interessante, porém não superou o do papelão. Já o resultado do C1 que tinha como agregado a serragem de madeira foi o mais baixo, isso deve se deve principalmente porque não houve o pré tratamento inicial da serragem de madeira que é necessário, mas foi aplicado um aditivo químico (superplastificante) para verificar seu comportamento que aliás não teve um bom resultado. Muitos autores defendem que os agregados de madeira

Norma :		NBR 8802 / ASTM C597-09		(NBR 13279)					
tipo de ensaio :		ensaio não destrutivo		ensaio destrutivo					
				Tração		Compressão			
CP	Massa (g)	Ultrassom (us)	Ultrassom (m/s)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (MPa)	Força máxima (N)		Resistência à flexão (MPa)	
						L1	L2	L1	L2
CP1	431,44	52,4	3053	2204	5,17	39811	46395	24,88	29
CP2	420,68	60,7	2636	1969	4,62	47724	47524	29,83	29,7
CP3	427,89	71,4	2241	2478	5,81	42713	40515	26,7	25,32
CP4	418,92	56,4	2837	2851	6,68	40882	38652	25,55	24,16
CP5	400,66	69,1	2315	1657	3,88	19891	26919	12,43	16,82
CP6	431,34	58,5	2735	2771	6,49	47650	47624	29,78	29,77
CP7	328,25	172,3	929	1233	2,89	10021	9754	6,26	6,1
CP tradicional	537,97	38,8	4124	2163	5,07	54019	54540	33,76	34,09

*CP tradicional : Corpo de prova padrao usado como referência (cimento ,areia e água)

Quadro 5: resultados dos ensaios em um segundo momento

6. Conclusão

Podemos concluir que é possível usar os resíduos sólidos para elaboração de compósitos na área de construção civil. O compósito que teve em sua composição melhor resultado foi o papelão e mais satisfatório sendo que ficou evidente que a granulometria possui enorme influência nos resultados assim como a densidade e compactação do material. Pelo método não destrutivo por ultrassom o CP1 (50g de caixa de ovo) apresentou o melhor resultado, contudo é necessário estar ciente de outros resultados e ensaios. O papelão é proveniente da celulose que por si só possui características como a resistência e elasticidade diferenciada, tal aspecto pode ser utilizado na aplicação para a fabricação de compósitos de argamassas respeitando uma quantidade de 80g de papelão porque se usado além dos limites pode afetar outras propriedades, porém, vale ressaltar que bons resultados dependem de sua granulometria, homogeneidade e densidade. A quantidade de água também é crucial, por isso é indicado usar o valor padrão.

Um fato interessante é o custo, com a aplicação do papelão na argamassa no lugar da areia, se tem uma redução de valores bem significativa se compararmos a preço do m³ da areia no varejo (em torno de R\$ 125,00 em 2018) e a do papelão reciclado que é geralmente muito baixo. (em torno de R\$0,50).

Seria importante aprofundar ainda mais os estudos e aproveitar as características que cada material e elemento possa fornecer, pois a sociedade gera muitos resíduos e com desperdícios variáveis. Em um planeta que se é utilizada em demasia recursos naturais não renováveis o uso consciente e a logística reversa dos materiais é de grande importância.

Referências

Malhotra, V. M.; Carette, G. G.; Bilodeau, A.; Sivasundaram, V. (1991), Some Aspects of Durability of High – Volume ASTM Class F (low – calcium) Fly Ash Concrete, ACI Special Publication, (V. M. Malhotra, ed.) SP 126:65 – 82.

MATUSINOVIC, T.; KURAJICA, S.; SIPUSIC, J. The correlation between compressive strength and ultrasonic parameters of calcium aluminate cement materials. Cement and Concrete Research, v. 34, p. 1451–1457, 2004.

MELO NETO, Antonio A. de; HELENE, Paulo R. L. Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos. São Paulo: IBRACON, 2002.

- CALLISTER, Jr., W.D. Materials Science and Engineering. 7^ª ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrasônica. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro. 2013.
- TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, G.C. et al. Concreto: Ciência e Tecnologia 2.v. v.1 Cap. 12, p. 415-451. São Paulo: Ed. IBRACON, 2011.
- METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese de Indicadores Sociais. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/condicoes-de-vida-desigualdade-e-pobreza/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html?=&t=publicacoes>> Acesso em: 19 abril. 2018.
- CHIKARMANE, Poornima. Integrating Waste Pickers into Municipal Solid Waste Management in Pune, India. Políticas da WIEGO (Políticas Urbanas). No. 8. India, 2009.
- LOGAREZZI, A. Por uma terminologia consistente em resíduos. 2003. (Não publicado).
- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas- ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base de 2012. Brasília: 146p. 2013.
- Standard Test Method for Pulse Velocity Trough Concrete; designation: C597 - 09. ASTM International, 2000. 4 p.
- Evangelista, A.C.J. (2002), Avaliação da Resistência do Concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2002. 219p.
- Benetti, J. “Avaliação do Módulo de Elasticidade Dinâmico de Concreto Produzido com Agregado Graúdo Reciclado de Concreto”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil. 2012.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro. 2013.
- ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland. Tipos de cimento. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-de-cimento-portland/>> Acesso em 17 abril. 2018.
- POPOVICS, S. Effects of uneven moisture Distribution on the Strength of and Wave Velocity in Concrete. Ultrasonics, 2005, v. 43. p. 429-434.
- AGUILAR, M.T.P.; SILVA, A.P.; CORRÊA, E.C.S.; CETLIN, P.R. Análise da capacidade de deformação do concreto: módulo de young x módulo de deformação. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECIMAT, 2006, Foz do Iguaçu - Paraná. Anais..., 15 a 19 de novembro de 2006. p. 3672- 3684.
- ABO-QUDAIS, S.A. Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves. Construction and Building Materials, 2005, v. 19. p. 257-263