



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

APLICAÇÃO E ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO RESÍDUO DE GARRAFAS PET TRITURADAS NA CONFORMAÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO: CLASSIFICAÇÃO

**Camila de Carvalho Sousa¹; Aguinaldo Lenine Alves²; Antonio Aparecido
Zanfolim³; Fernanda Gabriele Nascimento Gotardi⁴**

UEMS – ENGENHARIA AMBIENTAL, C.Postal 351, 79804 – 970 Dourados – MS, E-mail:
carvalhoeng.amb@hotmail.com ¹Bolsista de Iniciação Científica PIBIC-UEMS/Fundec/CNPq. ²Professor
Dr. da UEMS – Orientador. ³Professor Dr. da UEMS – Coorientador. ⁴Bolsista UEMS/CNPq.

RESUMO

O aumento da geração de resíduos sólidos em todo o mundo tem sido intensificado pelo crescimento populacional e tecnológico e consequente melhoria da qualidade de vida das populações. No Brasil estima-se a geração de 0,5 a 1,0 kg/hab/dia de resíduos sólidos. Dentre os vários resíduos gerados diariamente, as garrafas descartáveis de bebidas carbonatadas se destacam pelo grande volume consumido anualmente. Cerca de 4,7 bilhões de unidades/ano de garrafas PET são descartados no meio ambiente, a disposição incorreta desse resíduo tem como consequência um grande passivo ambiental, contribuindo para a poluição de leitos d'água e terrenos baldios, ocasionando entupimento de bueiros e decorrentes enchentes, além de, contribuir com o esgotamento precoce dos aterros sanitários, devido ao grande volume por elas ocupado. Diante desse cenário o presente trabalho apresenta como alternativa para minimizar os impactos ambientais e dar destino final correto viável para as garrafas PET pós consumo, a produção de blocos vazados de concreto para alvenaria, confeccionados a partir da introdução de 15% de PET moído – mesh 10 – em substituição parcial ao agregado miúdo (areia). As análises física e mecânica desenvolvidas no laboratório de caracterização mecânica da UEMS revelaram que os blocos de concreto com PET, apresentaram redução na absorção de água, maior massa específica aparente e aumento na resistência à compressão, indicando um material mais compactado e mais resistente a impactos. Podendo ser utilizados na construção civil em obras de pequeno a grande porte e em processos individuais e em série.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos, Garrafas PET, Bloco de Concreto, Meio Ambiente

INTRODUÇÃO

A intensificação da urbanização nos últimos, alavancada pelo crescimento populacional e pelo êxodo rural, tem provocado alterações nos processos de produção do setor industrial. A cada ano as indústrias passam a produzir mais, uma vez que, o crescimento populacional trata-se de um evento contínuo e ilimitado.

Em conjunto com o crescimento populacional está o desenvolvimento tecnológico, já que, este visa à melhoria da qualidade de vida dessa nova sociedade, que tem como característica o consumismo, ação essa, que têm ocasionado grandes mudanças no meio ambiente, mediante ao aumento do consumo dos recursos naturais e da consequente geração de diversos tipos de resíduos.

No Brasil estima-se a geração de 0,5 a 1,0 kg/hab/dia de resíduos sólidos, a quantidade e origem desses resíduos variam de acordo com fatores como, renda, época do ano, períodos comemorativos, população flutuante, modo de vida e principalmente métodos de acondicionamento das mercadorias adquiridas (CUNHA, 2002 apud CAXIETA FILHO, 1999).

De fato a indústria de embalagens está amplamente associada à crescente geração de resíduos sólidos. As embalagens tem sido indispensáveis para o acondicionamento e transporte de vários tipos de produtos, exercendo um papel importante para as empresas fabricantes, atribuindo rótulos que se comunicam com os consumidores, agregando praticidade e conveniência ao produto e reduzindo perdas durante o transporte e armazenamento dos mesmos (FABI et al., 2005).

No decorrer dos anos as indústrias de bebidas têm optado pelo uso de vasilhames descartáveis em substituição aos vasilhames retornáveis (garrafas de vidro), um exemplo notório é o uso de garrafas PET. O Politereftalato de Etileno é o mais importante membro da família dos poliésteres, grupo de polímeros termoplásticos, que tem como característica a baixa permeabilidade ao oxigênio e ao dióxido de carbono, sendo por isso o plástico mais adequado para o acondicionamento de bebidas carbonatadas.

Outras características como leveza, transparência e por ser inerte ao líquido, torna as garrafas PET a melhor opção atualmente para o acondicionamento e transporte de bebidas, substituindo o vidro, material relativamente barato, com alto potencial de reciclagem, porém, quase 20 vezes mais pesado que o plástico e extremamente sensível a impactos (CALLISTER et al., 2013).

Dados da ABIPET (2011) mostram que no Brasil, a maioria dos fabricantes de bebidas carbonatadas utiliza embalagens descartáveis, deste total, 80,2% são embalagens PET, correspondendo a aproximadamente 250 bilhões de unidades por ano, que representa a geração de cerca de 10 mil toneladas de resíduos, cerca de 4,7 bilhões de unidades (CHIDIAC & MIHALJEVIC, 2010).

Com base no atual incentivo das políticas públicas brasileiras em prol do desenvolvimento sustentável, tecnologias estão sendo estudadas, buscando o aumento da vida útil dos materiais, seja por meio de métodos de reciclagem ou técnicas de reutilização, visando à redução do consumo dos recursos naturais para a produção de novos materiais e a proteção do meio ambiente por meio da destinação correta dos resíduos sólidos gerados.

Em conjunto á essa problemática vivenciada pelos produtores e consumidores de garrafas PET, temos o setor da construção civil. A construção civil assim como o setor de embalagens teve aumento significativo na sua produção, tanto de materiais como de edificações, devido ao crescimento populacional e intensificação do processo de urbanização. A crescente valorização do solo urbano e do custo da mão de obra estimulou o processo de verticalização, obrigando as construtoras a buscarem formas mais racionais, industriais e tecnológicas para os sistemas construtivos (BARBOSA, 2006).

Neste contexto o presente trabalho apresenta os resultados obtidos a partir da produção e análise comparativa e normativa de blocos de concreto confeccionados com e sem a introdução de 15% de PET moído - mesh 10 - em substituição ao agregado miúdo (areia). E a eventual classificação dos mesmos, de acordo, com a resistência média atribuída ao produto final.

1. GARRAFAS PET – POLITEREFTALATO DE ETILENO

Os polímeros (plástico poliéster), assim como, o metal (alumínio) e a cerâmica (vidro) são indicados para serem utilizados como matéria prima para a produção de recipientes de bebidas carbonatadas. Estes materiais promovem uma barreira que impede a passagem do gás carbônico, que está sobre pressão no interior do recipiente, são atóxicos, ou seja, não reagem com as bebidas e são considerados recicláveis (CALLISTER, 2010).

Dentre os materiais mencionados os polímeros atualmente estão cada vez mais inseridos nas prateleiras e freezers dos mercados, mercearias, restaurantes etc. Apesar

de apresentarem menor impermeabilidade ao gás carbônico quando comparado ao alumínio e ao vidro, as garrafas plásticas de Politereftalato de Etileno apresentam maior resistência a impactos, podem ser fabricadas opticamente transparentes com tamanhos e formatos variados, são leves e relativamente baratas, podendo ser recicladas e reutilizadas (FABI et al., 2005).

Outra questão que faz das garrafas PET (Politereftalato de Etileno) o recipiente mais usado pelas indústrias de bebidas carbonatadas é o aumento das vendas ocasionadas pelo tamanho das garrafas, principalmente pelas de dois litros (MATHIAS,1997).

Atualmente o PET é o único plástico adequado para ser usado como recipiente para refrigerantes (FABI et al., 2005). O Politereftalato de Etileno é o mais importante membro da família dos poliésteres, grupo de polímeros descoberto na década de 30 e patenteado em 1941 pelos ingleses Whinfield e Dickson. A Dupont (empresa americana, segunda maior empresa química do mundo) em 1973 introduziu o PET na aplicação como garrafas e em 1977 começaram a ser produzida nos Estados Unidos, dando início à revolução do mercado de bebidas e impulsionando a utilização desse polímero.

1.1. BLOCOS DE CONCRETO VAZADO

1.1.1. COMPOSIÇÃO E PREPARO

Os blocos de concreto são obtidos a partir de um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerado hidráulico (cimento portland ou outro tipo de cimento) com outros materiais inertes (agregados graúdos e agregados miúdos) e água. Após obtenção da mistura, a mesma deve ser inserida nas fôrmas e adensada corretamente (SILVA, 2011).

Os agregados representam $\frac{3}{4}$ do volume final do concreto, logo, a qualidade dos mesmos é decisiva para a obtenção de um concreto de qualidade, exercendo nítida influência na resistência à compressão, na durabilidade e no desempenho estrutural. Oliveira (2012) define os agregados como, material granular, inerte, com dimensões e propriedades adequadas e isento de impurezas prejudiciais à saúde.

A mistura entre os elementos constituintes do concreto podem ser determinadas da seguinte maneira (Apostila de Tecnologia do Concreto):

- ✓ Pasta = cimento + água (A/C);
- ✓ Argamassa = pasta + agregado miúdo;
- ✓ Concreto = argamassa + agregado graúdo;

- ✓ Concreto armado = concreto + armadura passiva;
- ✓ Concreto protendido = concreto + armaduras passivas e ativas.

A relação água/cimento (A/C) é um fator de extrema importância para a obtenção de um concreto de qualidade. Esta relação influencia diretamente nas propriedades do concreto (Trabalhabilidade; Porosidade; Permeabilidade, Resistência à compressão e Durabilidade), pois desempenha funções importantíssimas, em estado fresco, a relação água cimento também denominada pasta tem a função de envolver os agregados, preencher os vazios entre os agregados e comunicar certa mobilidade ou fluidez à mistura, em estado endurecido, tem a função de aglutinar os agregados, conferindo impermeabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland a resistência da pasta é o principal fator de influência na resistência à compressão. Quanto menor a relação água/cimento, mais duráveis serão as estruturas.

Outros fatores como a qualidade dos materiais utilizados, a uniformidade, adensamento e a hidratação (cura do concreto) são decisivos para obter estruturas com as qualidades essenciais do concreto, como, facilidade de emprego quando fresco, resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade, constância de volume depois de endurecido e o fator econômico.

1.1.2. CLASSIFICAÇÃO E DESIGNAÇÃO

Os Blocos de Concreto são componentes modulares de alvenaria divididos em famílias, conjunto de componentes que interagem entre si e com outros elementos construtivos. Os blocos devem ter dimensões coordenadas para a execução de alvenarias modulares. Em geral apresenta excelente resistência a compressão e de acordo com sua classe podem ser utilizados na construção de edifícios verticais de até 20 pavimentos (SILVA, 2011).

A função dos Blocos de concreto é determinada de acordo com os valores de resistência à compressão aparente dos blocos de concreto. A Tabela 01 apresenta as classes de resistência determinadas pela ABNT NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria.

Tabela 01 – Classificação dos Blocos de concreto quanto à resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Função
A	≥ 6	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo
B	≥ 4	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo
C	≥ 3	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo
D	≥ 2	Sem função estrutural, para uso em vedação de alvenaria acima do nível do solo

Fonte: Adaptação ABNT NBR 6136:2010

Na Tabela 02 estão expressas as designações, que representam as dimensões modulares dos blocos, são diretamente relacionadas à largura do bloco (Tabela 02). O conjunto de componentes de alvenaria é denominado família de blocos, em geral é composto por: Bloco Inteiro (bloco predominante), meio bloco, blocos de amarração (L e T), blocos compensadores e blocos tipo canaleta.

Tabela 02 – Designação dos Blocos de concreto e suas respectivas dimensões

Designação do Bloco	Dimensão (cm)		
	Largura (L)	Altura (h)	Comprimento (C)
M - 20	19	19	39
M - 15	14	19	39
M - 12,5	11,5	19	39
M - 10	09	19	30
M - 7,5	6,5	19	39

Fonte: Adaptação ABNT NBR 6136:2010

Para o uso dos blocos de concreto não existe limitações, eles são indicados para todos os tipos de construções, principalmente para aquelas que requerem maior resistência estrutural, além de instituírem a obra maior economia de material e tempo, produtividade e sustentabilidade no processo produtivo (SANTOS et al., 2006).

Os blocos de concreto de alvenaria com função estrutural quando usado nas construções representa uma economia de até 30% no custo final da obra, pois, dispensa a utilização de vigas e pilares aceleram a construção e conseqüentemente diminui o custo de mão-de-obra, a única desvantagem desse material, está associada à

impossibilidade de remoção de paredes aleatórias do empreendimento, dificultando a adaptação da estrutura para um novo uso (SILVA, 2011).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo trata-se de uma pesquisa aplicada baseada em experimentos laboratoriais e normas técnicas brasileiras (ABNT). Os blocos de concreto foram confeccionados em uma Indústria de Blocos de Concreto para vedação e alvenaria estrutural, localizada no município de Dourados – MS. As análises físicas e mecânica dos mesmos foram realizadas no Laboratório de Caracterização Mecânica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –UEMS.

2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Tabela 03 – Materiais, máquinas e equipamentos utilizados

Materiais	Quantidade
Areia Grossa	Picador
Pedrisco	Moinho de Facas
Pó de Pedra	Betoneira
PET Triturado (Mesh 10)	Forma vazada (39x19x14)
Água	Vibro-prensadora

Fonte: Autoria própria

Os materiais utilizados, assim como, a betoneira, a forma vazada (39x19x14 cm) e a vibro-prensadora apresentados na Tabela 03, foram fornecidos pela empresa produtora de blocos de concreto, localizada no município de Dourados – MS. Os materiais utilizados foram devidamente separados e medidos antes do preparo da mistura.

Para a obtenção do volume (09 L) utilizado de PET moído mesh 10, em substituição parcial ao agregado miúdo, foram utilizadas uma média de 80 garrafas PET de 2 L.

2.1. CONFORMAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram desenvolvidos dois traços de concreto, estes, foram desenvolvidos após pesquisas bibliográficas e comerciais, logo, os traços desenvolvidos são similares ao traço utilizado pelas indústrias da região produtoras de bloco de concreto. O traço BC trata-se dos corpos-de-prova controle, também denominados padrão, estes foram produzidos sem alterações, seguindo a literatura e as indicações comerciais de produção de blocos de concreto. Já o traço BP sofreu alterações na quantidade de areia, ou seja, a mesma teve 15% do seu total substituído por 15% de PET moído mesh 10 (Tabela 02).

Tabela 04 – Composição dos Traços BP e BC

Quantidade (L)	Traço BP	Quantidade (L)	Traço BP
48	Areia Grossa	57	Areia Grossa
40	Pedrisco	40	Pedrisco
20	Pó de Pedra	20	Pó de Pedra
09	PET Triturado (Mesh 10)	00	PET Triturado (Mesh 10)
05	Água	05	Água

Fonte: Autoria própria

A conformação dos corpos-de-prova BP e BC foram realizadas a partir de técnicas comerciais, os materiais mencionados na Tabela 02, foram misturados em betoneira elétrica com capacidade de 400 L e em seguida levados a vibro-prensadora com forma vazada acoplada de dimensões 39x19x14 cm como pode ser visto na figura 01.

Ao total foram confeccionados 30 blocos de concreto, sendo, 15 com a adição de 15% de PET moído (BP) e os outros 15 sem a adição de PET moído (BC). Os corpos-de-prova BP e BC foram encaminhados para um galpão e lá permaneceram por 3 (três) dias, sendo esse, o período de cura úmida, este processo ocorreu por aspersão. Com o termino da cura úmida deu-se inicio a cura seca ao ar, onde as amostras ficaram em repouso por 28 dias.



Figura 01 – Processo de conformação das amostras BP e BC

2.2. ANÁLISE FÍSICA

- ✓ Analise Dimensional (C x h x L cm) e espessura;
- ✓ Determinação da área bruta e área líquida (A.líq %);
- ✓ Percentual de Umidade (u%);
- ✓ Massa Específica Aparente (MEA);
- ✓ Absorção de água (A%);
- ✓ Porosidade aparente (PA %).

Todas as análises listadas foram realizadas no laboratório de Caracterização Mecânica do CEPEMAT localizado na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS. Seguindo as normas técnicas estabelecidas pela ABNT NBR 12118/2010.

Para a realização da análise física dos corpos-de-prova foram separados 08 corpos-de-prova sendo 04 BP e 04 BC. A Figura 02 apresenta os blocos de concreto em utilizados na analise física em cura úmida de 24 horas, para obtenção das massas saturadas e imersas, essenciais para analise da porosidade, absorção de água e umidade do material.



Figura 02 – Imagens do processo de cura úmida - 24 horas

2.3. ANÁLISE MECÂNICA

- ✓ Resistência à compressão

Esta analise foi realizada no laboratório de concretos de uma empresa privada produtora de concreto usinado, localizada no Município de Dourados – MS. O procedimento de medição da resistência à compressão dos blocos de concreto, BP e BC seguiu as recomendações da ABNT NBR 12118:2010.

A figura 03 apresenta o método de rompimento aplicado aos blocos de concreto. Foi rompido um total de 12 corpos-de-prova, sendo 06 unidades do BP e 06 unidades do BC.



Figura 03 – Imagens do rompimento dos corpos-de-prova BP e BC

2.4. METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Para classificação dos corpos-de-prova quanto à classe de resistência aparente, valores de absorção de água (AA%), umidade (u%) e percentual de área líquida e análise de conformidades, a metodologia de avaliação utilizada foi a aplicada pelo Inmetro (2002), seguindo os valores normativos indicados pela ABNT NBR 7173:1982 e NBR 6136:2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados pela análise dimensional dos corpos-de-prova BP e BC mostraram que o processo mecânico/industrial de produção dos blocos de concreto podem apresentar variações nas dimensões finais do produto. De acordo com as normas técnicas da Associação Brasileira, os Blocos vazados de concreto de dimensões (39x19x14 cm) devem apresentar área bruta de 546 cm² e aproximadamente 306,63 cm² de área líquida.

Como pode ser observado na Figura 04 ambos os traços analisados apresentaram variações nas áreas médias obtidas. A área bruta média do BP está 0,10 cm² acima do normatizado e o BC está 3,17 cm². Este fato ocorre geralmente devido ao desalinhamento provocado ao aclopar à fôrma na máquina vibro-prensadora.

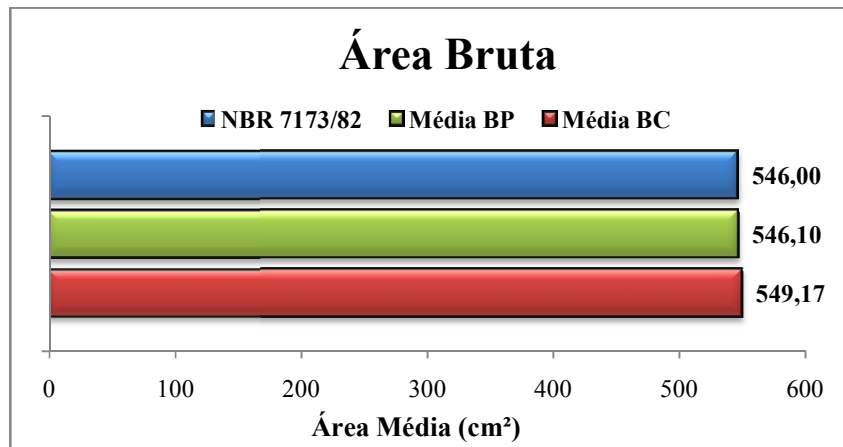


Figura 04 – Gráfico representativo da Área Bruta média dos corpos-de-prova BP (15% de PET moído) e BC (sem PET moído)

A área líquida dos corpos-de-prova (BP e BC) variaram de acordo com suas respectivas áreas brutas. Os corpos-de-prova BC apresentaram maior percentual de área líquida, possuindo um resultado médio 13,26% maior que área líquida média dos corpos-de-prova BP que é de 59,72% (Figura 05).

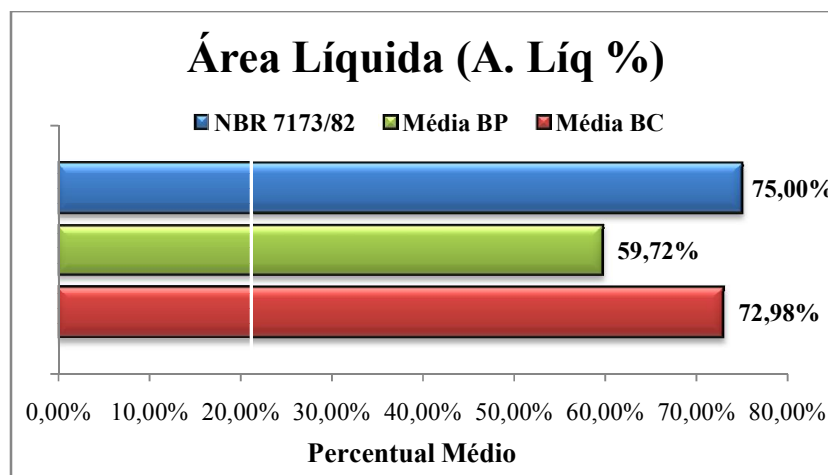


Figura 05 – Gráfico representativo da Área Líquida média dos corpos-de-prova BP (15% de PET moído) e BC (sem PET moído).

Analisando os resultados encontrados para os corpos-de-prova BP e BC com relação à área líquida média dos mesmos, ambos estão em conformidade com a NBR 7173:1982, pois possuem A. Líq % \leq 75%.

A Figura 06 apresenta o percentual de umidade (u%) dos corpos-de-prova. O BP apresentou maior percentual médio de umidade, ultrapassando cerca de 0,96% do valor indicado pela norma NBR 7173:1982 enquanto que o BC está 8,76% abaixo do valor máximo normativo, indicando melhores condições de umidade.

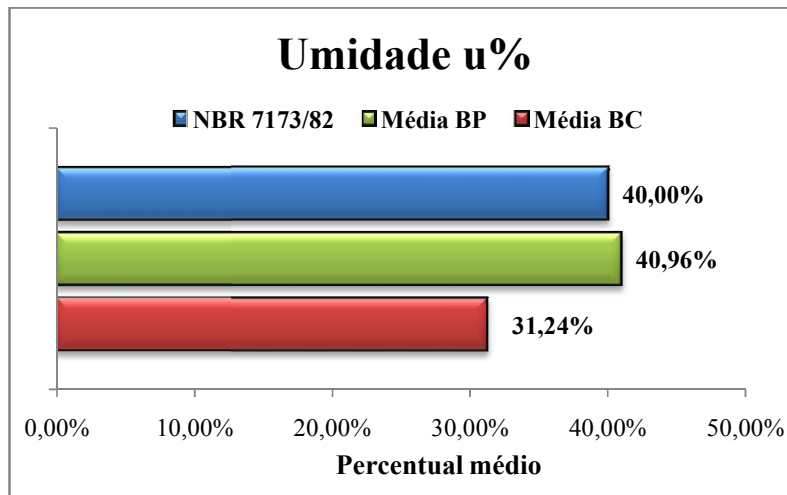


Figura 06 – Gráfico representativo do percentual médio de umidade dos corpos-de-prova BP (15% de PET moído) e BC (sem PET moído)

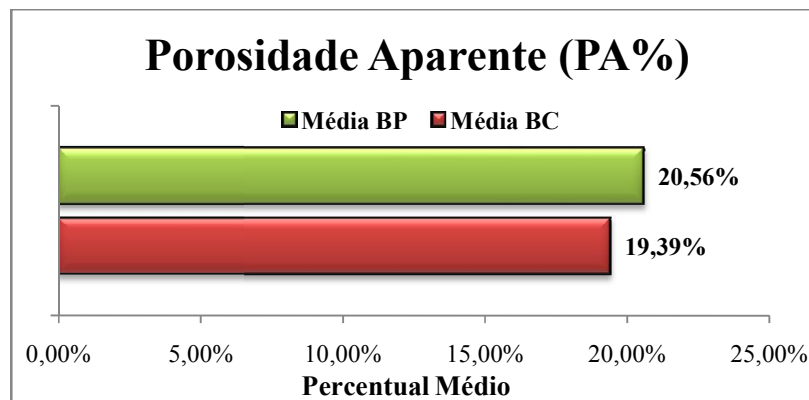


Figura 07 – Gráfico representativo do percentual médio de PA% dos corpos-de-prova BP (15% de PET moído) e BC (sem PET moído).

A umidade (Figura 06) e porosidade (Figura 07) dos corpos-de-prova BC indicaram resultados médios melhores do que os obtidos para os corpos-de-prova BP. Porém para a absorção de água fator extremamente importante para avaliação da qualidade dos blocos de concreto, os corpos-de-prova BP indicaram melhor percentual de absorção de água 10,63% estando apenas 0,63% acima do valor máximo tolerado pela NBR 7173:1982, enquanto o BC ultrapassa 2,30% (Figura 08). Esta característica pode estar atrelada ao tipo de poro, tamanho e permeabilidade do material, indicando que os corpos-de-prova BP apresentam menor permeabilidade quando comparados ao BC.

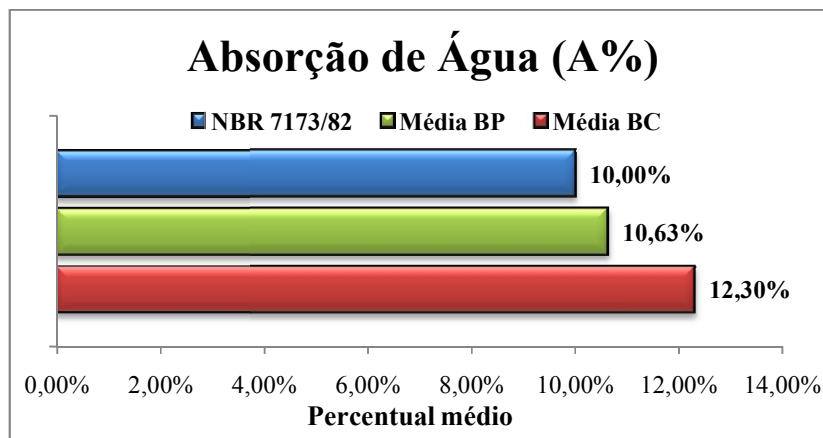


Figura 08 – Gráfico representativo do percentual médio de A% dos corpos-de-prova BP (15% de PET moído) e BC (sem PET moído)

A Figura 09 apresenta os resultados para a massa específica aparente (MEA) dos corpos-de-prova analisados (BP e BC). Por meio da MEA pode-se observar as indicações antes mencionadas, já que, está análise física trata-se da relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis. Logo, pode-se considerar que os materiais que compõe os blocos de concreto denominados BP possuem menor índice de poros permeáveis, indicando tratar-se de um material mais compactado, composto por uma mistura uniforme.

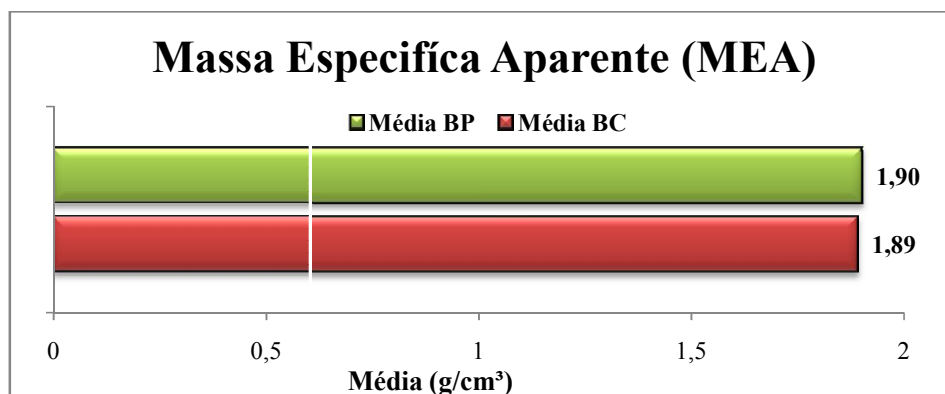


Figura 09 – Gráfico representativo da Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova BP (15% de PET moído) e BC (sem PET moído)

As análises de resistência à compressão foram aplicadas em relação à área líquida dos corpos-de-prova (BP e BC). Os corpos-de-prova BP indicaram maior índice de resistência à compressão, tendo um valor médio de 3,9 MPa, 1,4 MPa acima dos valores expressos pela NBR 7173:82 e 6136:10 para blocos de vedação sem função estrutural e 2,19 MPa acima do valor médio atribuído a resistência á compressão dos