

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

FELIPE PEREIRA DE ALBUQUERQUE

**CONFECÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS COM INCORPORAÇÃO DE
BIOMASSA CONTAMINADA POR COBRE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2012

FELIPE PEREIRA DE ALBUQUERQUE

**CONFECÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS COM INCORPORAÇÃO DE
BIOMASSA CONTAMINADA POR COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Coordenação de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Orientadora: Prof. Dr. Sônia Barbosa de Lima

Co-orientadora: Prof. Dr. Débora Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2012



TERMO DE APROVAÇÃO

CONFECÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS COM INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA CONTAMINADA POR COBRE

por

FELIPE PEREIRA DE ALBUQUERQUE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 17 de abril de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Sônia Barbosa de Lima
Orientadora

Prof. Dr. Débora Cristina de Souza
Co-orientadora

Prof. Dr. Eudes José Arantes
Membro titular

Prof. Dr. Karina Querne de Carvalho Passig
Membro titular

Dedico este trabalho aos meus pais,
grandes responsáveis por cada uma de
minhas vitórias.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente não só quero, mas preciso agradecer aos meus pais – Hélio de Albuquerque e Maria Aparecida P. Passarinho de Albuquerque – que em nenhum momento duvidaram da minha capacidade e jamais deixaram de me apoiar e de ser uma fonte inesgotável de carinho e compreensão. Devo a eles cada uma de minhas vitórias.

A toda a minha família, sempre presente em minha vida e onde eu posso encontrar apoio nos percalços do caminho. Agradeço, em especial, aos meus avós – Benedita Pereira de Oliveira (*in memoriam*) e Oscar de Oliveira Passarinho (*in memoriam*) – que, mesmo muitas vezes sem compreender, nunca deixaram de me apoiar e de ser um porto seguro para mim.

A minha orientadora, Prof. Dr. Sônia Barbosa de Lima, que com muita paciência e compreensão me apoiou e me guiou ao longo de mais de dois anos de iniciação científica, fundamentais para a realização do presente trabalho.

A minha co-orientadora, Prof. Débora Cristina de Souza, que nunca hesitou em sanar uma dúvida ou de colaborar para o bom andamento dos trabalhos que realizamos.

A todos os professores da coordenação de Engenharia Ambiental, que, claramente, empenham-se de coração para que o nosso curso seja a cada dia melhor.

Ao técnico do laboratório de estruturas, Maiko Cristian Sedoski, que ao longo de todos os trabalhos que desenvolvi durante a iniciação científica e o TCC me apoiou e, além disso, buscou meios para que os trabalhos fossem realizados da melhor maneira possível, empenhando-se além do esperado.

Ofereço, também, um agradecimento especial a todos os meus amigos, aos que estavam perto e àqueles que não estavam tão perto assim, aos companheiros de república e todos aqueles com quem convivi ao longo dessa jornada. Sem vocês a travessia teria sido muito mais árdua, senão impossível. Esses anos certamente permanecerão para sempre nas minhas melhores memórias.

Enfim, obrigado a todos que fazem parte da minha vida e, que de uma forma, ou outra, são também responsáveis por cada uma das minhas conquistas.

RESUMO

ALBUQUERQUE, Felipe P. **Confecção de blocos cerâmicos com incorporação de biomassa contaminada por cobre**. 2012. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.

A fitorremediação por macrófitas aquáticas, em especial para a remoção de metais pesados de águas residuárias, é uma técnica que vem sendo largamente estudada e que tem mostrado resultados bastante satisfatórios. Este processo gera, entretanto, grande quantidade de biomassa devido à rápida reprodução e desenvolvimento das plantas utilizadas no tratamento. Este resíduo, quando contaminado por metais pesados, bioacumulativos e tóxicos, não pode ser descartado no meio ou reaproveitado para a produção de ração animal. Assim, este trabalho objetiva estudar o potencial de remoção desempenhado por *Pontederia parviflora* Alexander de uma solução concentrada de cobre e analisar a viabilidade de reaproveitamento de sua biomassa vegetal na confecção de blocos cerâmicos. Para tanto, uma solução com concentração inicial de cerca de 1000 mg/L de cobre dissolvido foi tratada por *P. parviflora* por um período de 5 dias. Os valores iniciais e finais da concentração de cobre na solução foram determinados laboratorialmente. Corpos de prova confeccionados com adição de 5% e de 10% de biomassa vegetal contaminada à massa argilosa, assim como corpos de prova testemunho, foram confeccionados e analisados conforme os principais testes de qualidade descritos pela literatura. O índice de remoção de cobre da solução, ao final do experimento, foi superior a 96% e o aumento da concentração deste metal na biomassa vegetal superou os 1200%. Os resultados experimentais dos parâmetros: retração linear após secagem, retração linear de queima e resistência à compressão foram plenamente satisfeitos para todos os corpos de prova testados, de acordo com valores recomendados pelo IPT (1985) e pela NBR 7170 (ABNT, 1983) e, os resultados dos testes de perda ao fogo, de acordo com o preconizado pelo IPT (1985), e de absorção de água, segundo a NBR 7171 (ABNT, 1992), foram satisfatórios para o testemunho e para os corpos de prova com incremento de 5% de biomassa vegetal. Assim, afirma-se que o fitotratamento de efluentes contaminados com cobre por *P. parviflora* e o reaproveitamento de sua biomassa na confecção de blocos cerâmicos são viáveis.

Palavras-chave: Fitotratamento. *Pontederia parviflora* Alexander. Cobre. Blocos cerâmicos.

ABSTRACT

ALBUQUERQUE, Felipe P. **Confection of ceramic bricks with incorporation of vegetal biomass contaminated by copper**. 2012. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Federal Technology University - Paraná. Campo Mourão, 2012.

The phytoremediation with aquatic macrophytes, in special to the removal of heavy metals from wastewaters is a technique that has been wisely studied and is showing satisfactory results. Although this process can generate great amount of biomass due the macrophytes fast reproduction and development. This waste, when contaminated with heavy metals, bioaccumulatives and toxic, can't be discarded in the environment or used in the animal feed production. Therefore, this work aims to study the *Pontederia parviflora* Alexander copper removal potential from a concentrated copper solution and to analyse the viability of reuse of its vegetal biomass in ceramic bricks confection. Thus a solution with initial concentration of 1000 mg/L of dissolved copper was treated by *P. parviflora* during a period of 5 days. The initial and final copper concentrations were laboratorial determinates. Specimens assembled with 5% and 10% of this waste to the clay masses, besides of specimens with no load of waste were done and analyzed according to the mainly quality tests described by the literature. The copper removal index in the end of the experiment was superior to the 96% and its increase in the vegetal biomass was higher than 1200%. The experimental results of the tests: linear retraction after drying, linear retraction of burn and compression resistance were fully satisfied to all specimens tested according to the recommended values by IPT (1985) and NBR 7170 (ABNT,1983) and the results to the tests: loss to the fire, according to the IPT (1985), and water absorption, according to the NBR 7170 (ABNT,1992), were satisfied to the specimens with no load of biomass and to the ones with load of 5% of this waste. Thus the phytotreatment of wastewaters contaminated with copper by *P. parviflora* and the reuse of its biomass in the production of ceramic bricks are viable.

Keywords: Phytotreatment. *Pontederia parviflora* Alexander. Copper. Ceramic bricks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Prensa hidráulica preparada para confecção dos corpos de prova	15
Figura 2 – Corpo de prova recém-prensado.....	15
Figura 3 – Recipiente preenchido com a solução de cobre e com <i>P. Parviflora</i> que mostra manchas escuras em suas folhas.	18
Figura 4- Gráfico de plasticidade.....	28
Gráfico 1 - Retração linear após secagem do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca.	19
Gráfico 2– Retração linear de queima do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca.	20
Gráfico 3 – Perda ao fogo do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca.	21
Gráfico 4 – Absorção de água do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca.	22
Gráfico 5 – Massa específica aparente do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca.	24
Gráfico 6 - Resistência à compressão do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca.	25
Gráfico 7 – Limite de liquidez do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de biomassa seca.	26
Gráfico 8 – Limite de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de biomassa seca.	26
Gráfico 9 – Índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de biomassa seca.	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO GERAL.....	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 FITOTRATAMENTO – REMOÇÃO DE COBRE	13
3.2 REAPROVEITAMENTO DA BIOMASSA VEGETAL NA CONFECÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	31
ANEXO A – Relatório de ensaio de resistência à compressão do testemunho.	37
ANEXO B – Relatório de ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com incremento de 5% de biomassa vegetal à massa argilosa.....	39
ANEXO C – Relatório de ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com incremento de 10% de biomassa vegetal à massa argilosa.....	41

1. INTRODUÇÃO

O crescimento de problemas ambientais no Brasil é relacionado com o processo de industrialização iniciado na década de 1950, o modelo de monocultura e exportação instituído a partir da década de 1970, a aceleração da urbanização e a desigualdade socioeconômica (LAMEGO; VIDAL, 2007). Neste contexto as atividades industriais figuram como as principais causadoras da poluição por metais nos solos e nos recursos hídricos, causando grandes problemas, principalmente no metabolismo dos ecossistemas (COBBET; GOLDSBROUGH, 2002).

A descarga de efluentes líquidos pode causar variações nas características físico-químicas dos corpos hídricos tais como pH, temperatura, composição e concentração de cada um dos componentes químicos, como nutrientes e metais pesados, por exemplo, trazendo drásticas consequências para os seres vivos que dependem direta ou indiretamente do corpo de água (BRAGA et al., 2002). Contaminação por metais pesados representam um grande problema entre vários poluentes que são descarregados no ambiente aquático uma vez que estes não são biodegradáveis e são cumulativos nas cadeias alimentares.

As plantas possuem diferentes capacidades de suportar esse excesso de metais e utilizam mecanismos celulares para reduzir seus efeitos. Dentre esses, pode-se destacar a atuação de enzimas celulares inibidoras de substâncias como a histidina (NAKAZAWA et al., 2004), quelação dos íons metálicos pela ação de fitoquelatinas (RAUSER, 1995), aminoácidos (KRÄMER et al., 1996) e organoácidos (LEE et al., 1977).

Plantas com capacidade de acumular e suportar grandes concentrações de metais em suas raízes são chamadas de hiperacumuladores. Estas plantas são capazes de acumular nos tecidos concentrações de cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb) ou níquel (Ni) por até 0,1% de massa seca, enquanto que zinco (Zn) ou manganês (Mn) alcançam até 1% (BAKER; BROOKS, 1989).

O cobre (Cu), entretanto, é, dentre estes poluentes, um micronutriente essencial para muitas atividades metabólicas, mas que se torna extremamente tóxico em altas concentrações (BALASSA et al., 2010).

A fitorremediação torna-se uma potencial ferramenta para a descontaminação ambiental. Segundo Salt et al. (1998), fitorremediação é uma

técnica de descontaminação que se utiliza de plantas para remover poluentes do ambiente ou para transformá-los em formas menos perigosas para os seres vivos. A aplicação desta técnica tem menor impacto ambiental e menores custos de instalação e manutenção quando comparados com métodos físico-químicos. Esta técnica pode ser utilizada no solo e em águas contaminadas com metais, componentes orgânicos, elementos químicos radioativos, petróleo, hidrocarbonetos, pesticidas, explosivos e subprodutos industriais tóxicos (CUNNINGHAM et al., 1996).

Algumas espécies de plantas aquáticas são conhecidas por sua alta capacidade de absorção de metais e de compostos orgânicos, destacando-se *Eichhornia crassipes*, *Salvinia herzogii* e *Pistia stratiotes*. As reações que estes metais provocam no organismo da planta são variadas e podem resultar em níveis distintos de inibição de crescimento e produção de biomassa (ODJEGBA; FASIDI, 2004). A capacidade de resistir e absorver os metais é diferente para cada espécie e para cada tipo de metal ou grupo de metais. Em sistemas de fitotratamento operantes, após a estabilidade, entretanto, se produz grande quantidade de biomassa, que deve ser retirada mediante cortes periódicos para que o sistema seja capaz de seguir absorvendo os nutrientes (BEASCOECHEA et al., 2005), resultando, assim, um resíduo sólido que pode ser aproveitado com técnicas alternativas (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006).

No caso específico de efluentes contendo metais, após as plantas acumularem estes em seus tecidos, devem ser incinerados ou depositados em aterros adequados, causando impacto ambiental negativo. Alternativamente as fibras podem ser utilizadas na produção de fibras e móveis ou aplicadas na construção civil, na produção de blocos cerâmicos e argamassa (TAVARES, 2009; BALASSA et al., 2010).

Atualmente existe um grande interesse mercadológico na área de reciclagem, pois praticamente todo tipo de processo gera algum tipo de resíduo, conseqüentemente novos processos de tratamento, incorporação e inertização desses resíduos (BALATON et al., 2002).

De acordo com Oliveira et al. (2007), o setor de construção civil é excelente para incorporar resíduos, pois pode aceitar grandes quantidades de materiais, sendo a técnica de encapsulamento de resíduos em artefatos de construção civil uma das mais promissoras. A utilização de resíduos na fabricação de cerâmica faz com que

ocorra uma redução no consumo de matérias primas naturais (TALLINI Jr. et al., 2007).

O reaproveitamento de resíduos sólidos através de sua incorporação em formulações cerâmicas para obtenção de tijolos, revestimentos e porcelanas, vem ganhando mais destaque devido à possibilidade de aproveitamento de grandes quantidades de resíduos e pelos excelentes resultados técnicos que vêm sendo apresentados na literatura (MENEZES et al., 2007).

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos no sentido de se avaliar a viabilidade de incorporação dos mais diversos resíduos na fabricação de blocos cerâmicos. Entre eles, resíduos de estações de tratamento de água e esgoto (OLIVEIRA et al., 2006; ARAÚJO, 2008) e de biomassa proveniente de processos de fitotratamento (ALBUQUERQUE et al., 2011b), todos mostraram-se adequados a este fim.

Sabendo-se que metais pesados são bioacumulativos, que efluentes que os contêm podem trazer malefícios a toda a cadeia trófica, assim como que macrófitas aquáticas, em especial *Pontederia parviflora* Alexander, tem boa capacidade de acumulação de tais metais e que a indústria cerâmica tem grande potencial para incorporação e inertização dos mais variados resíduos, o presente trabalho tem por objetivo a apresentação de uma alternativa de tratamento para efluentes contaminados por cobre com a utilização da macrófita aquática *P. parviflora* e reaproveitamento de sua biomassa na confecção de blocos cerâmicos.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de remoção de cobre através de processos de fitotratamento utilizando-se *Pontederia parviflora* Alexander e a viabilidade da incorporação de sua biomassa seca em blocos cerâmicos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se atingir este objetivo, são propostas as seguintes metas:

- Analisar a concentração de cobre no tecido vegetal e na solução para verificar a eficiência do tratamento;
- Confeccionar, além do testemunho, corpos de prova com o incremento de 5% e de 10 % de biomassa vegetal de *P. parviflora*;
- Determinar o limite de liquidez da cerâmica utilizada e das massas argilosas formuladas com incremento de 5% e de 10% de biomassa vegetal de *P. parviflora*, segundo a Norma Brasileira (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 6459:1984;
- Determinar o limite e o índice de plasticidade da cerâmica utilizada e das massas argilosas formuladas com incremento de 5% e de 10% de biomassa vegetal de *P. parviflora*, segundo a norma técnica NBR 7180 (ABNT,1984);
- Determinar a massa específica aparente, a retração linear após secagem, a perda ao fogo e a retração linear de queima dos corpos de prova produzidos com *P. parviflora* e do testemunho;
- Determinar a absorção de água e a resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com *P. parviflora* e do testemunho, segundo a norma técnica NBR 15270-3 (ABNT, 2005);

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em duas partes. Na primeira, montou-se um experimento para que se pudesse avaliar a capacidade de remoção de cobre de uma solução por *P. parviflora* e, na segunda, corpos de prova fabricados a partir de massas argilosas, que continham diferentes porcentagens de biomassa seca dessa macrófita em sua composição, foram confeccionados.

3.1 FITOTRATAMENTO – REMOÇÃO DE COBRE

Os indivíduos de *P. parviflora* foram coletados na região do município de Campo Mourão (PR) e transportados para a UTFPR, câmpus Campo Mourão, onde, utilizando-se parte do substrato presente em suas raízes, cerca de 30 indivíduos foram plantados em recipientes com cerca de 200L de capacidade, no qual foi adicionado cerca de 40L de uma solução com concentração de sulfato de cobre de aproximadamente 1.000mg/L. O procedimento acima descrito foi realizado em duplicata e o tempo de detenção foi de 5 dias, baseado nos dados apresentados por Souza et al. (2009).

Para avaliar a capacidade de fitorremediação de *P. parviflora*, amostras da solução e das plantas foram coletadas e enviadas para um laboratório especializado que procedeu com as análises de concentração de cobre total presente na solução e nas plantas antes e após o período de tratamento. As amostras foram analisadas conforme metodologia descrita pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON et al., 2005).

3.2 REAPROVEITAMENTO DA BIOMASSA VEGETAL NA CONFECÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

A argila utilizada foi doada por uma indústria cerâmica do município de Cândido de Abreu (PR) e coletada na etapa imediatamente anterior à extrusão

(processo no qual a argila é forçada através de uma matriz, adquirindo forma pré-determinada).

Todos os indivíduos utilizados na absorção de metais foram secos em estufa de circulação de ar à temperatura de 60°C durante 24h. Após a secagem processou-se a moagem em moinho de facas e, então, o material obtido foi levado a uma peneira granulométrica de 100 *mesh* (com abertura de 0,150mm).

A argila foi seca de forma análoga e, então, moída em moinho para solos. O produto desta etapa também foi peneirado em peneira granulométrica com abertura de 100 *mesh*.

Para a confecção dos corpos de prova, foram preparadas, além do testemunho, massas argilosas com adição de 5% e 10% de biomassa seca. Seis corpos de prova foram preparados para cada uma das massas argilosas. O testemunho é um corpo de prova sem nenhuma adição de biomassa vegetal.

Todas as massas argilosas, assim como o testemunho, foram preparadas com a adição correspondente de biomassa vegetal e argila seca, e, em seguida, para que a consistência da massa argilosa fosse passível de ser manipulada, 16% de umidade foi adicionada em todas as massas argilosas com o auxílio de um borrifador. A umidade utilizada foi calculada pela Equação 1, baseado no trabalho desenvolvido por Camargo et al. (2009).

$$M_{\text{amostra}} \times 16\% \text{ de água} / 100\% \text{ (Kg)}$$

Eq. 1

Em que: M_{amostra} corresponde à massa de material seca (Kg).

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos afim de não perder a umidade durante o procedimento experimental. Os corpos de prova foram confeccionados adicionando-se cerca de 20g de amostra em um molde metálico cilíndrico com diâmetro interno de 20mm e, então, submetidos a uma força de compressão de aproximadamente 2500N, aplicada por uma prensa hidráulica EMIC DL30000F (figura 1). Como produto final, obtiveram-se corpos de prova com o diâmetro do molde e com cerca de 40 mm de comprimento (figura 2).



Figura 1– Prensa hidráulica preparada para confecção dos corpos de prova
Fonte: Autoria própria.



Figura 2 – Corpo de prova recém-prensado
Fonte: Autoria própria.

Os corpos de prova recém-prensados foram pesados e medidos e, então, postos para secar, primeiramente ao ar livre por 24h e, posteriormente, em estufa de circulação de ar a temperatura de 110°C por mais 24h. Suas medidas de peso e massa foram novamente aferidas.

Na sequência os corpos de prova foram queimados em forno elétrico de laboratório a temperatura de 750°C com taxa de aquecimento de 4°C/min, tempo de patamar de 3h e resfriamento realizado por convecção natural.

Após este processo, uma vez mais os corpos de prova foram pesados e medidos. Desta forma foi possível determinar as propriedades físicas: massa específica aparente, retração linear após secagem, perda ao fogo e retração linear de queima pelas equações 2, 3, 4 e 5, respectivamente. O teste para a determinação da absorção de água e para a determinação da resistividade a compressão dos blocos cerâmicos foram realizados conforme as determinações da norma técnica NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

As medidas dos corpos de prova cerâmicos foram realizadas antes e após a sinterização (processo através do qual, após tratamento térmico, cria-se uma alteração na estrutura microscópica do elemento, obtendo uma peça sólida coerente) com o auxílio de um paquímetro e uma balança analítica com precisão de 2 casas decimais.

$$\rho = Mqs / \left(\frac{Dq^2 \cdot \pi \cdot Cq}{4} \right) (g/cm^3) \quad \text{Eq. 2}$$

$$RL_{seca} = [(Cv - Cs) / Cs] \times 100 (\%) \quad \text{Eq. 3}$$

$$PF = [(Ms - Mqs) / Mqs] \times 100 (\%) \quad \text{Eq. 4}$$

$$RL = [(Cv - Cq) / Cq] \times 100 (\%) \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

- *Ms*: massa do corpo de prova seco – pós-estufa (g)
- *Mqs*: massa do corpo de prova pós-queima em forno elétrico (g)
- *Dq*: diâmetro do corpo de prova pós-queima (mm)
- *Cv*: comprimento do corpo de prova verde (mm)
- *Cs*: comprimento do corpo de prova seco – pós-estufa (mm)
- *Cq*: comprimento do corpo de prova pós-queima (mm)

A determinação do limite de liquidez seguiu os procedimentos descritos pela norma técnica NBR 6459 (ABNT, 1984), já o limite e o índice de plasticidade foram obtidos conforme instruções da NBR 7180 (ABNT, 1984). Complementarmente fez-

se uso da norma técnica NBR 6457 (ABNT, 1986) para preparação do material a ser caracterizado.

Os resultados obtidos foram analisados com auxílio do programa *BioEstat 5.0* para se determinar se a média dos valores encontrados nos corpos de prova com incremento de biomassa vegetal eram estatisticamente diferentes daquela encontrada no testemunho. De acordo com a distribuição dos dados foi utilizado o teste t, quando estes eram paramétricos, e o teste de Mann-Whitney, para aqueles que apresentavam distribuição não paramétrica. O nível de decisão alfa para todos os teste foi de 0,05. Os testes estatísticos seguiram as premissas de acordo com Ayres et al. (2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A redução da concentração de Cobre Total (Cu) na solução ao término do experimento (5º dia) e sua acumulação no tecido vegetal foi bastante considerável (de 1029mg/L para 38,80mg/L), representando uma redução superior a 96%, enquanto o aumento da concentração do metal no tecido vegetal das macrófitas superou os 1.200% (de 38,04mg/Kg para 484,80 mg/KG), indicando o alto grau de acumulação desempenhado por *P. parviflora*.

Os resultados obtidos confirmam os encontrados por Souza et al. (2009) e por Balassa et al. (2010), que também analisaram o potencial de acumulação de cobre por *P. parviflora* e classificaram a macrófitas como hiperacumuladora devido à sua propriedade de sobreviver e acumular em seus tecidos altas concentrações de cobre.

Ao longo do período experimental observou-se, ainda, que manchas escuras apareciam nas folhas das plantas (figura 3). Tal alteração na coloração das folhas é sinal de redução da capacidade de absorção de outros nutrientes, sendo que a persistência do tempo de exposição ao metal poderia levar à morte dos indivíduos (SOUZA et al., 2009). Metais pesados causam estresse, provocando alterações fisiológicas nas plantas e até mesmo reduções extremas de seu vigor (MAZEN, 2004).

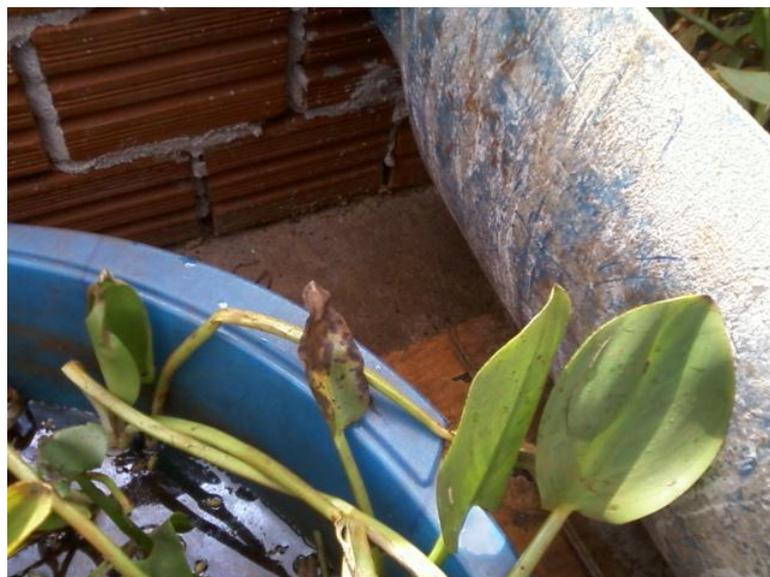


Figura 3– Recipiente preenchido com a solução de cobre e com *P. Parviflora*, que mostra manchas escuras em suas folhas.

Fonte: Autoria própria.

Essas alterações estão associadas aos mecanismos celulares para defesa do organismo como: exclusão celular dos metais, absorção dos metais em estruturas celulares específicas, como vacúolos, síntese dos metais por enzimas que causam estresse da planta devido ao consumo de energia com produção de substâncias muitas vezes inúteis ou até mesmo tóxicas (LOLKEMA et al., 1986; TURNER et al., 1972; COX et al., 2006).

Com relação aos corpos de prova, o teste da retração linear após secagem para todos os espécimes testadas, independentemente da incorporação ou não de biomassa seca em sua formulação, manteve-se inferior a 1% (gráfico 1). O p-valor bilateral encontrado através do teste t para os dados obtidos para o testemunho e os corpos de prova (CP) sinterizados com 5% de resíduo foi de 0,3998 e o valor de t foi de 0,8794; ou seja, a retração linear nos blocos com 5% de *P. parviflora* não é, estatisticamente, alterada quando incorporamos esta quantidade de biomassa seca à massa argilosa para fabricação dos corpos de prova.

Quando os dados analisados foram do testemunho e dos CP que continham 10% de resíduo, o p-valor bilateral encontrado através do teste de Mann-Whitney foi de 0,4712 e o valor de U foi de 13,50; comprovando, como no caso anterior, que a retração linear após secagem, também não é estatisticamente afetada pela adição desta quantidade de resíduo nos CP.

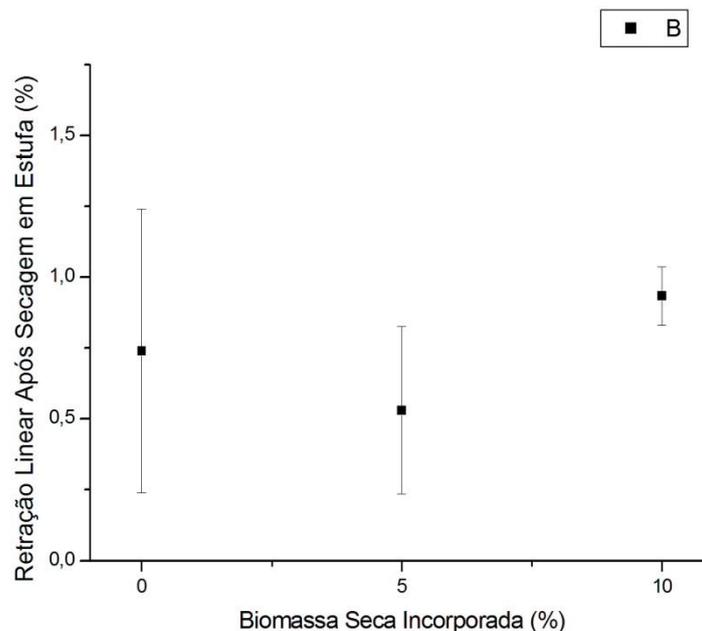


Gráfico 1 - Retração linear após secagem do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores médios de retração linear após secagem e seus respectivos desvios padrões (n=6)

Fonte: Autoria própria.

Holanda et al. (2002) recomendam que o valor da retração linear após secagem para cerâmica vermelha não ultrapasse o patamar de 7,96%. Desta forma, todos os CP testados atenderam a esta recomendação.

Quando o parâmetro analisado foi a retração linear de queima, não foi possível observar qualquer tendência ao acréscimo ou decréscimo com a incorporação de biomassa seca nos corpos de prova (gráfico 2). O p-valor bilateral apresentado pelo teste t no comparativo entre o testemunho e os corpos de prova acrescidos de 5% de biomassa vegetal seca em sua composição foi de 0,2828, enquanto o valor de t foi de 1,1350, e o mesmo parâmetro apresentado pelo teste de Mann-Whitney no comparativo entre o testemunho e os blocos cerâmicos com adição de 10% de resíduo foi de 0,0782, com U igual a 7,00. Tais valores, estatisticamente, não nos permitem afirmar que há diferença nos valores de retração linear observados nos blocos com ou sem adição de biomassa vegetal em sua composição.

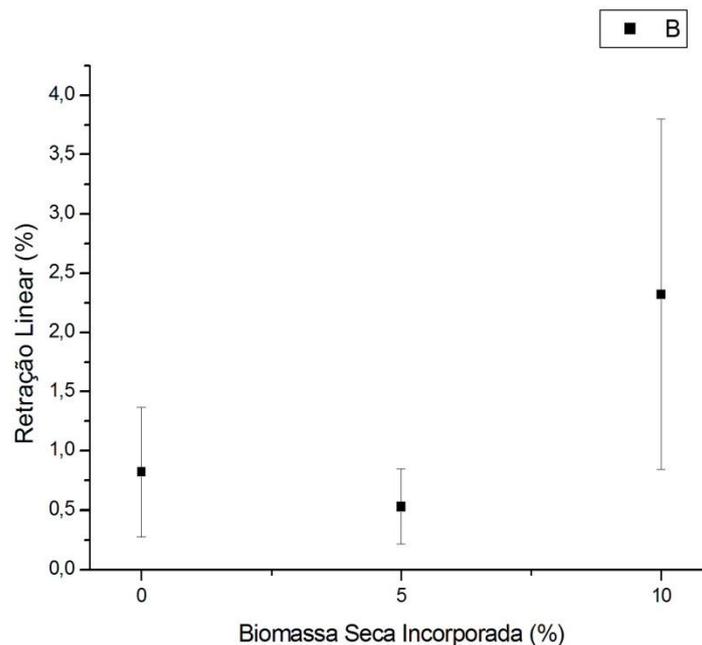


Gráfico 2– Retração linear de queima do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores médios de retração linear de queima e seus respectivos desvios padrões (n=6)
Fonte: Autoria própria.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (1985) a faixa de contração dos blocos cerâmicos deve ser inferior a 6%. Nos testes realizados todos os corpos de prova testados mostraram conformidade com estes valores.

A perda ao fogo dos corpos de prova mostrou tendência clara para o aumento conforme se aumentava a quantidade de biomassa vegetal incorporada em suas formulações (gráfico 3). Aplicando-se o teste t no comparativo entre o testemunho e os blocos com incremento de 5% de biomassa seca, assim como com incremento de 10% desde resíduo, encontramos, em ambos, p-valor bilateral inferior a 0,0001; o valor de t, para o primeiro caso é de -61,1846 e, para o segundo caso, de -97,6369, o que comprova, estatisticamente, que a perda ao fogo é maior nos blocos cerâmicos com incorporação de biomassa vegetal.

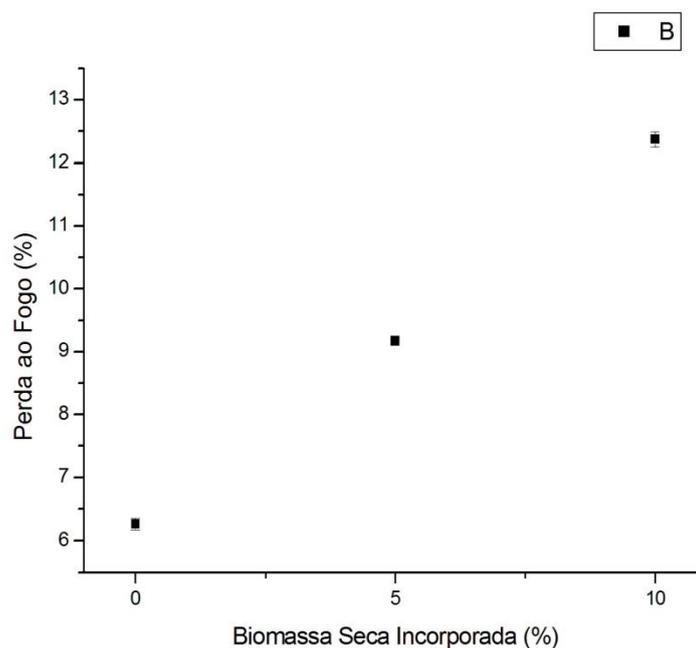


Gráfico 3 – Perda ao fogo do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores médios de perda ao fogo e seus respectivos desvios padrões (n=6)
Fonte: A autoria própria.

O comportamento observado já era esperado devido ao fato de haver uma maior quantidade de matéria orgânica nos corpos de prova com incorporação de biomassa vegetal, que é volatilizada durante a queima.

O IPT (1985) recomenda que a perda ao fogo para blocos cerâmicos deve ser de, no máximo, 10%; assim somente os corpos de prova sinterizados com 10% de resíduo não atenderam a este critério. Nota-se, ainda, que este é um parâmetro importante para verificar a qualidade de um bloco cerâmico quanto ao grau de sinterização atingido pelo material durante a incineração.

A absorção de água reflete o grau de sinterização alcançado pelo material durante a incineração. Este fator é outro parâmetro muito importante para que possamos determinar se o bloco cerâmico é de boa qualidade, pois está relacionado com a resistência que estes terão frente a ataques químicos e físicos do ambiente.

Notou-se que a absorção de água é tanto maior quanto maior o incremento de biomassa seca incorporado à massa cerâmica (gráfico 4). Isto se deve, muito provavelmente, pela formação de vazios que são gerados quando da eliminação da matéria orgânica durante a incineração dos blocos. Esta teoria é corroborada pelo fato de que a perda ao fogo também foi tanto maior quanto maior o incremento de biomassa.

O teste estatístico de Mann-Whitney para ambas as comparações do testemunho com os corpos de prova acrescidos de 5% e 10% de biomassa vegetal apresentaram p-valor bilateral de 0,0020; já o valor de U, também para ambos, foi nulo, o que mostra, estatisticamente, que há diferença na absorção de água do testemunho com relação aos corpos de prova acrescidos do resíduo.

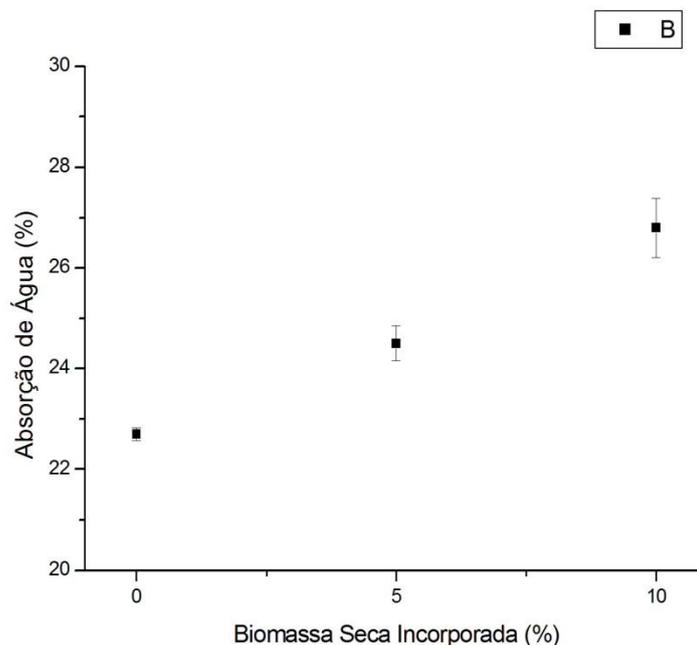


Gráfico 4 – Absorção de água do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores médios de massa específica aparente e seus respectivos desvios padrões (n=6)
Fonte: Autoria própria.

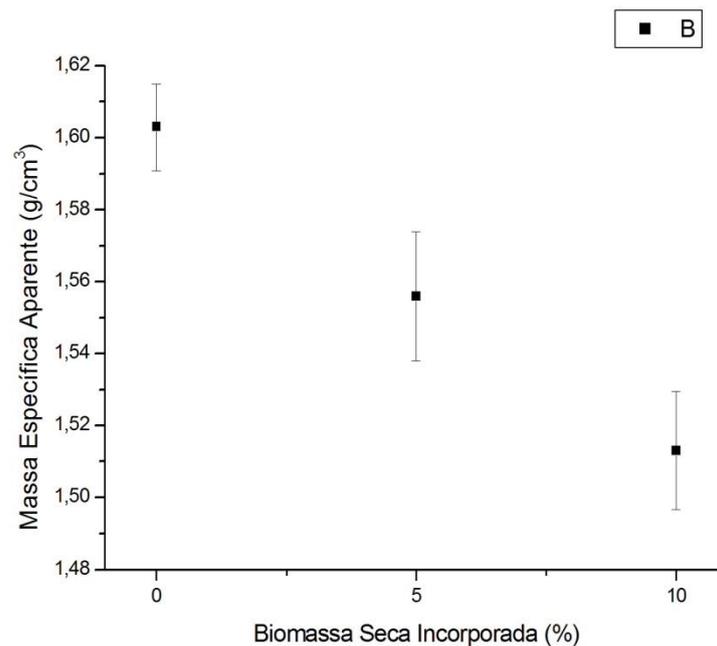
A ABNT (2005) considera que para a fabricação de tijolos e blocos cerâmicos maciços a absorção de água deve estar em um patamar entre 8 e 22%.

Nenhum dos CP testados satisfaz a este parâmetro. Entretanto, para tijolos furados, a NBR 7171 (ABNT, 1992), estipula que a absorção de água pode atingir até os 25%, desta forma estariam conforme, além do testemunho, os corpos de prova com adição de 5% de biomassa vegetal.

Os valores encontrados, entretanto, não desclassificam a utilização de nenhuma porcentagem de incorporação de biomassa vegetal na produção dos blocos cerâmicos, pois os valores de absorção de água são diminuídos quando se aumenta a temperatura de queima dos blocos cerâmicos (MENEZES et al., 2002; SOUZA, 2003). Desta forma, novos testes haveriam de ser realizados para que se pudesse avaliar, em temperaturas de queima superiores, se os blocos cerâmicos satisfariam a este importante teste de qualidade.

Observa-se, ainda, que em outros estudos realizados por Albuquerque et al. (2011b), que avaliaram a incorporação de biomassa vegetal em massas argilosas para produção dos blocos cerâmicos prismáticos, os valores de absorção de água para todos os corpos de prova testados, inclusive para aqueles que continham 10% de resíduo em sua composição, mantiveram-se inferiores a 22%, sendo que a temperatura de queima dos CP foi a mesma utilizada no presente trabalho. Isto pode indicar que formatos diferentes e o modo de fabricação dos blocos cerâmicos podem interferir neste parâmetro.

Para a massa específica aparente, temos que seus valores acompanham as propriedades de absorção de água e porosidade, uma vez que, com a adição do resíduo, há aumento da porosidade, da absorção e, conseqüentemente, queda da massa específica aparente (MELLO, 2006). Tal comportamento pode ser nitidamente observado com o decaimento no valor da massa específica aparente em razão da maior quantidade de resíduo incorporado aos corpos de prova (gráfico 5).



**Gráfico 5 – Massa específica aparente do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores médios de massa específica aparente e seus respectivos desvios padrões (n=6)
Fonte: Autoria própria.**

Em termos estatísticos, o p-valor encontrado através do teste t para a comparação do testemunho com os corpos de prova com 5% e 10% de biomassa vegetal é de, respectivamente, 0,0003 ($t = 5,3904$) e inferior a 0,0001 ($t = 11,0892$); o que comprova que a massa específica aparente é alterada com a adição do resíduo.

Quanto a resistência à compressão, a NBR 7170 (ABNT, 1983), diz que, para um tijolo maciço para alvenaria, esta deve ser superior a 1,5MPa para que este seja classificado na categoria A, para a categoria B, a exigência de resistividade à compressão é de 2,5MPa e, para a categoria C, de 4,0MPa.

Assim, como demonstrado pelo gráfico 6, os valores de resistividade à compressão permitem que todos os corpos de prova testados, inclusive àqueles com 10% de adição de biomassa vegetal à sua massa argilosa, serem enquadrados na categoria C, a mais restritiva. Desta forma, todos os corpos de prova testados atenderam ao preconizado na norma técnica.

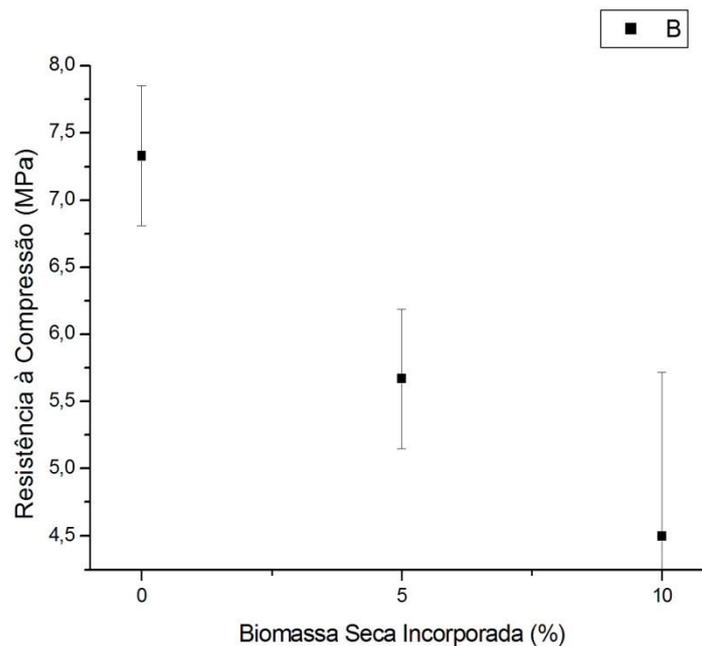
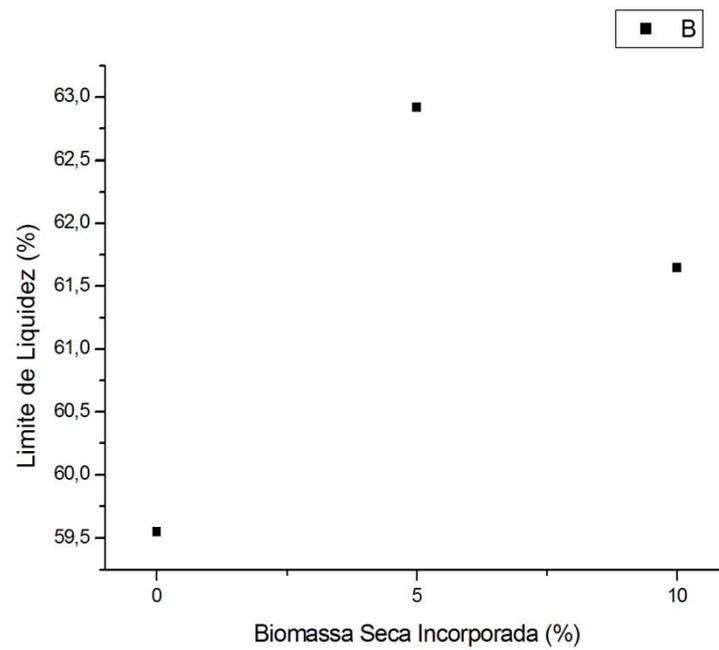


Gráfico 6 - Resistência à compressão do testemunho e dos corpos de prova sinterizados em 5% e 10% de biomassa seca. B = Resistência à compressão média e seus respectivos desvios padrões (n=6).

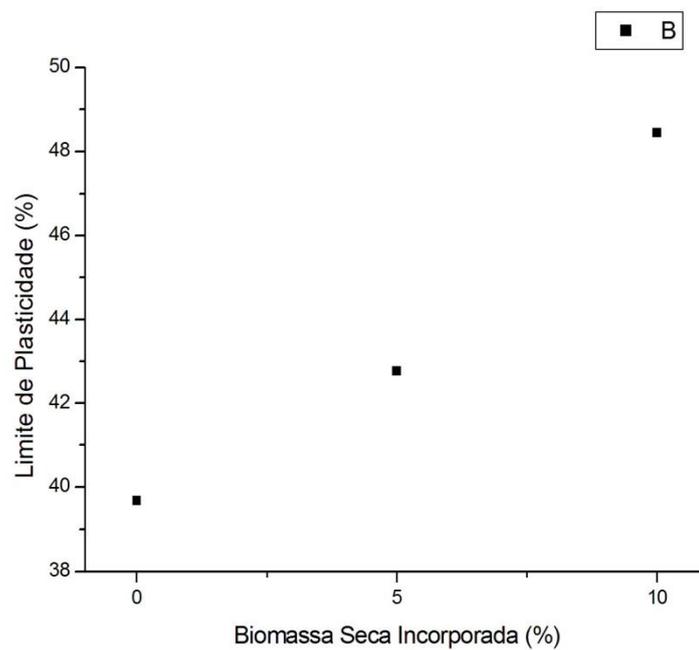
Fonte: Autoria própria.

Estatisticamente, o p-valor bilateral encontrado através do teste t na comparação entre o testemunho e os blocos sinterizados com 5% de biomassa vegetal foi de 0,0002 ($t = 5,5902$); enquanto que este parâmetro no comparativo do testemunho com os blocos sinterizados com 10% de biomassa vegetal é de 0,0004 ($t = 5,2215$). Tais valores nos permitem afirmar que, estatisticamente, a resistência à compressão dos blocos cerâmicos é alterada quando se incorpora à massa argilosa, biomassa vegetal, e esta se torna tanto menor, quanto maior a porcentagem de biomassa incrementada.

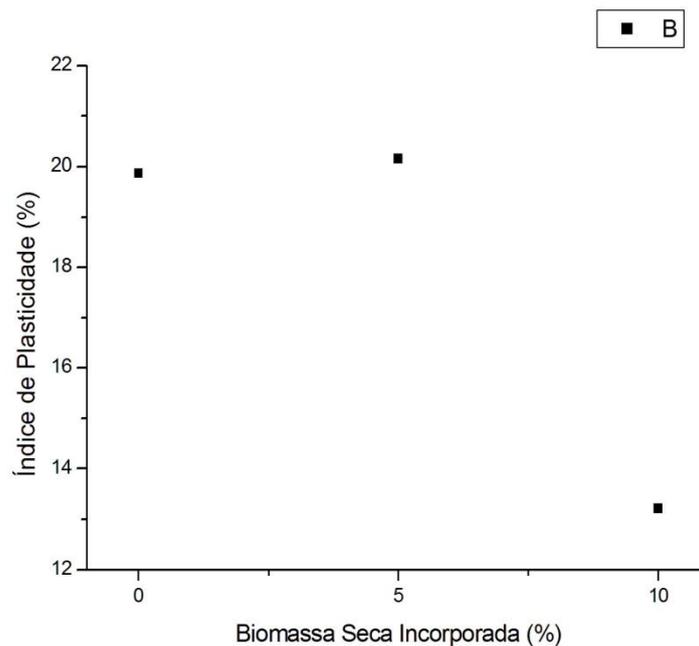
Os gráficos 7, 8 e 9 apresentam, respectivamente, o limite de liquidez, de plasticidade e o índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas que continham 5% e 10% de biomassa vegetal em sua formulação. Os testes realizados não puderam mostrar tendência de diminuição da plasticidade ou de aumento da plasticidade nos ensaios realizados com a adição da biomassa seca, pois o resultado mostrado pela massa argilosa que continha 5% de resíduo foi contrário ao da massa argilosa contendo 10% deste.



**Gráfico 7 – Limite de liquidez do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores de limite de liquidez (n=1).
Fonte: Autoria própria.**



**Gráfico 8 – Limite de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores de limite de plasticidade (n=1).
Fonte: Autoria própria.**



**Gráfico 9 – Índice de plasticidade do testemunho e das massas argilosas formuladas com adição de 5% e 10% de biomassa seca. B = Valores de índice de plasticidade (n=1).
Fonte: Autoria própria.**

O aumento da plasticidade na massa argilosa contendo 5% de biomassa vegetal em sua formulação e a diminuição desta propriedade na massa cerâmica composta em 10% por biomassa seca, foi também observada por Albuquerque et al. (2011b), que estudaram como a adição de biomassa de *Commelina nudiflora* L. influenciava na plasticidade de massas argilosas.

Estes fatores evidenciam que há certa quantidade de biomassa vegetal limite, que aumenta a plasticidade das massas argilosas e que, após atingir este limite de saturação, a plasticidade começa a decair. Este limite está compreendido entre 5% e 10% de biomassa vegetal incorporada à massa argilosa.

Na figura 4 é possível observar a classificação de um solo de acordo com suas propriedades plásticas e, segundo este, todas as composições das massas argilosas, assim como o testemunho, podem ser classificadas como argilas orgânicas ou siltes inorgânicos de alta compressibilidade. Classifica-se, ainda, o testemunho e a massa argilosa contendo 5% de biomassa vegetal como altamente plásticos, por apresentarem índice de plasticidade superior a 15%. A massa argilosa composta em 10% por biomassa vegetal foi classificada como medianamente plástica.

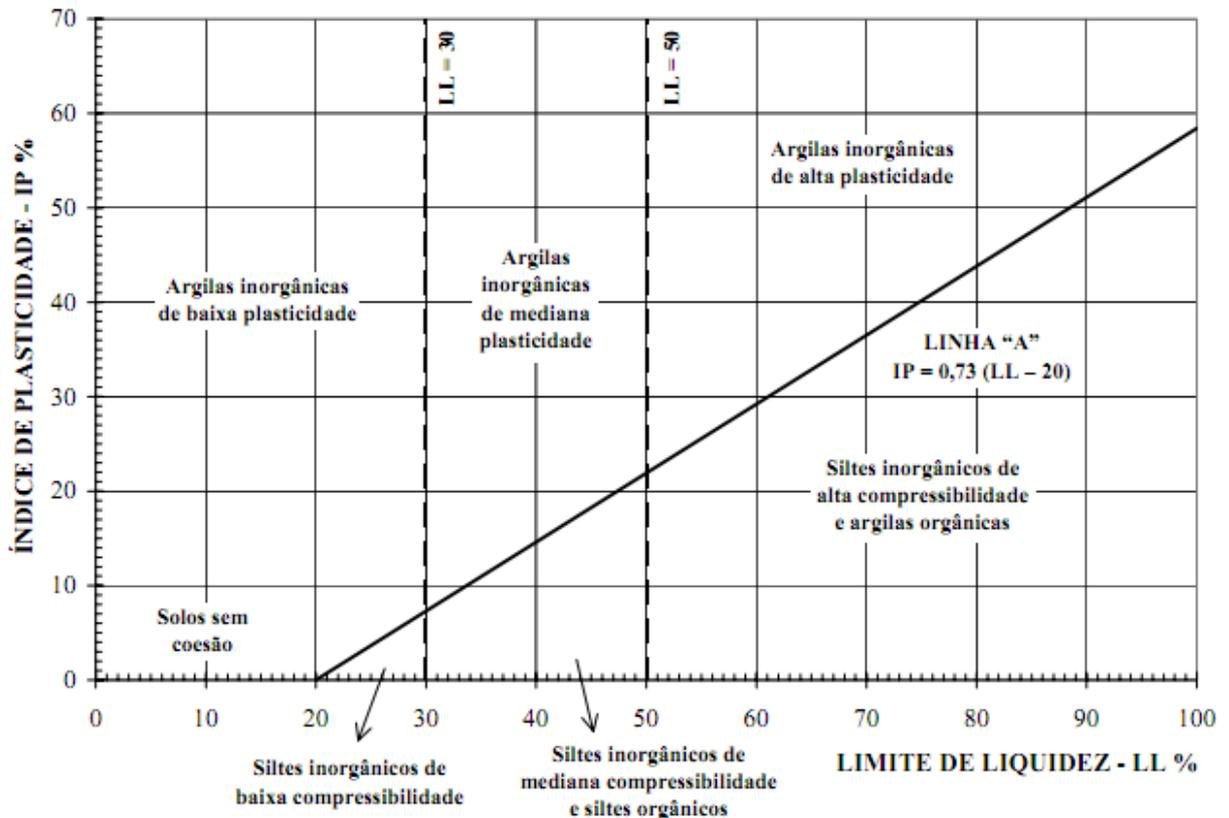


Figura 4- Gráfico de plasticidade
Fonte: PINHEIRO (2012)

Para Hasse et al. (2006), a característica fundamental da argila é a sua plasticidade, o que permite a elaboração de um elevado número de formas pela utilização de equipamentos com baixo grau de complexidade e sofisticação. Desta forma, em todos os ensaios realizados, afirmar-se que a massa cerâmica obtida é compatível para ser utilizada pela indústria no que tange o fator plasticidade.

Em termos econômicos, na construção de uma casa popular ordinária com 52 m^2 , onde cerca de 9 mil tijolos comuns (8 furos, 19 cm de altura, 9 cm de largura, 29 cm de profundidade e massa unitária de 3,3 Kg) seriam utilizados; teríamos como reaproveitar 2.970 Kg de biomassa vegetal seca se utilizássemos blocos cerâmicos com incremento de 10% deste material em sua formulação, ou 1.485 Kg se os blocos cerâmicos contivessem 5% de biomassa vegetal incorporada.

O tratamento que as macrófitas necessitariam receber para serem incorporados à massa argilosa que daria origem aos blocos cerâmicos, restringe-se a secagem e a moagem. Todas as olarias necessitam ter uma estufa, onde os tijolos são secos logo após sua extrusão para, então, seguirem para a queima. Nesta estufa as macrófitas podem ser secas, não havendo necessidade de a olaria realizar

investimento algum na aquisição de estufas especiais para proceder à secagem destas.

Assim, o investimento que uma indústria cerâmica, interessada em incorporar biomassa vegetal em seus blocos, se restringiria à compra de um equipamento para a moagem das macrófitas, que é encontrado no mercado por cerca de R\$ 2.000,00.

Uma vez que a biomassa vegetal substituirá a argila na produção dos blocos, a olaria que receber este resíduo do fitotratamento economizará 5% ou 10% de seus custos com aquisição de matéria-prima, conforme a percentagem de biomassa vegetal utilizada. Haverá, também, uma economia em termos de recuperação ambiental, já que uma menor área necessitará ser impactada para a obtenção da argila.

5 CONCLUSÃO

A literatura, conforme abordado no presente trabalho, relata diversos casos de sucesso no uso de macrófitas aquáticas para a remoção de cobre de efluentes contaminados.

O uso dessas plantas para a descontaminação de águas que apresentavam altas concentrações de cobre, assim como nos casos descritos pela literatura, também foi bem sucedido no experimento realizado com a *P. parviflora*.

A redução deste metal no presente trabalho foi superior a 96% na solução estudada, enquanto a concentração do mesmo componente passou de 38,04mg/Kg no tecido vegetal analisado antes do experimento para 484,80mg/Kg após o quinto dia de tratamento, representando um acréscimo superior a 1200%.

O Índice de Plasticidade teve comportamento análogo ao encontrado nos trabalhos realizados anteriormente e pede investigações futuras para estabelecer qual a porcentagem de biomassa ótima para o aumento deste parâmetro.

O potencial de remoção de cobre por *P. parviflora* em efluentes contaminados por este metal e a característica de hiperacumulação da macrófita estudada ficam, então, comprovados.

A incorporação da biomassa vegetal, oriunda dos processos de fitotratamento, em blocos cerâmicos, mostrou-se viável. Todos os testes de qualidade descritos pela literatura foram satisfeitos nos CP fabricados com incremento de 5% de biomassa seca e a maioria dos resultados foram satisfatórios para os CP que continham 10% de biomassa vegetal. Este é, portanto, um método bastante eficaz, econômico e ambientalmente correto de se inertizar o cobre removido das águas residuárias.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Felipe P.; LIMA, Sônia B.; SOUZA, Débora C. Qualidade de blocos cerâmicos produzidos com incremento de biomassa seca de *Commelina nudiflora*. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 16.; 2011a, Ponta Grossa. **Anais eletrônicos...** Ponta Grossa: UTFPR, 2011a. 1 CD ROM.

ALBUQUERQUE, Felipe P.; LIMA, Sônia B.; SOUZA, Débora C.; OLIVEIRA, Darlene L. A. Incorporação de Biomassa Vegetal na Produção de Blocos Cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011b, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ABES, 2011b. 1 PEN-DRIVE.

ARAÚJO, Franciulli S. D. **Influência do lodo de ETE na Massa para Fabricação de Cerâmica Vermelha**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado)-Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 15270-3**: componentes cerâmicos – parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 6459**: solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. **NBR 7170**: tijolo maciço para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7171**: bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7180**: solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984b.

AYRES, Manuel; AYRES Jr., Manuel; AYRES, Daniel L.; SANTOS, Alex A. S. **BioEstat Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Bio-Médicas**. 5 ed.

Belém, 2007. Disponível em: <<http://www.mamiraua.org.br/downloads/>> Acesso em 10 jan. 2012.

BAKER, Alan J. M.; BROOKS, Robert R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery**, Washington, v. 1, n. 1, p.81-126, 1989.

BALASSA, Graziela C.; SOUZA, Débora C.; LIMA, Sônia B. Evaluation of the potencial of *Pontederia parviflora* Alexander in the absorption of copper (Cu) and its effects on tissues. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 311-316, 2010.

BALATON, Vitor T.; GONÇALVES, Paulo S.; FERRER, Luciana M. Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 6, p. 42-44, 2002.

BIOESTAT. Versão 5.0. Brasil: Instituto Mamiraua, 2007. Disponível em: <<http://www.mamiraua.org.br/downloads/>> Acesso em: 10 jan. 2012.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. L.; BARROS, Marie T. L.; SPENCER, Milton; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CAMARGO, Priscila P.; SEDOSKI, Maiko C.; BRAGA, Sergio R. O. Q.; OLIVEIRA, Darlene L. A. Incremento de resíduos da indústria de açúcar e álcool em massas argilosas. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, v. 2, n. especial, p.66-89, 2009.

COBBETT, Christopher; GOLDSBROUGH, Peter. Phytochelatins and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 53, p.159-182, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] União**. Brasília, DF, 18 mar. 2005, Seção 1 p. 58-63.

COX, Ruth M.; THURMAN, David A.; BETT, Martin. Some properties of the soluble acid phosphatases of roots of zinc-tolerant and non-tolerant clones of *Anthoxanthum odoratum*. **New Phytologist**, Oak Ridge, v. 77, n. 3, p.547-552, 2006.

CUNNINGHAM, Scott D.; ANDERSON, Todd A.;SCHWAB, A. Paul.
Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 56, n. 4, p. 55-114, 1996.

EATON, Andrew D.; CLESCERI, Lenore S.; RICE, Eugene W.; GREENBERG, Arnold B. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2005.

GONZÁLEZ, Jesús F.; BEASCOECHEA, Eduardo M.; MUÑOZ, José M.; de la MORA, María Dolores C. F. **Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas em flotación**.1 ed. Madrid: Edita, 2005.

HASSE, Leandro A. **Avaliação da qualidade dos blocos cerâmicos comercializados em Curitiba**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento Acadêmico de Construção Civil – Tecnologia em Construção Civil – Concreto. Curitiba, 2006.

HENRY-SILVA, Gustavo G. e CAMARGO, Antônio F. M. Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n.1, p. 21-28, 2006.

HOLANDA, José N. F.; VIEIRA, Carlos M. F. Análise da situação Atual e Perspectivas de Crescimento do Setor de Cerâmica Vermelha Estrutural de Campos dos Goytacazes-RJ. **Mundo Cerâmico**, São Paulo, n. 82, p. 29-31, 2002

INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNICAS – IPT. **Ensaio de argila visando à utilização em cerâmica vermelha**. São Paulo: IPT, 1985.

KRÄMER, Ute, COTTER-HOWELLS, Janet T., CHARNOCK, John M., BARKER, Alan J. M., SMITH, J. Andrew C. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. **Nature**, Washington, n. 379, p. 635-638, 1996.

LAMEGO, Fabiane P.; VIDAL, Ribas A. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição? **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 9-18, 2007.

LEE, John; REEVES, Robert D.; BOOKS, Ronald; JAFFRE, Timothy. Isolation and identification of acitrate-complex of nickel-accumulating plants. **Phytochemistry**, London, n. 16, p. 1503-1505, 1977.

LOLKEMA, Peter C.; DOORNHOF, Matthew; ERNST, Willian H. O. Interaction between a copper tolerant and a sensitive population of *Silenecu cubalus*. **Physiologia Plantarum**, Helsinki, v. 67, n. 4, p. 654-658, 1986.

MAZEN, Abdel M. A. Accumulation of four metals in tissues of *Corchoru solitorius* and possible mechanisms of their tolerance. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 48, n. 2, p.267-272, 2004.

MELLO, Roberta M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha**. 2006, 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações Materiais) – Programa de Pós-graduação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, IPEN/USP – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-04062007-164950/publico/RobertaMMello.pdf>> Acesso em: 19 jan. 2012, 18:00 h.

MENEZES, Romualdo R. et al. Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. **Cerâmica**, São Paulo, v. 48, n. 306, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-9132002000200008&script=sci_arttext>. Acesso em 30 dez. 2011.

MENEZES, Romualdo R.; de ALMEIDA, Rafael R., SANTANA, Lisiane N. L., FERREIRA, Heber S., NEVES, Gelmires A. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. **Revista Matéria**, v. 12, n. 1, p. 226- 236, 2007.

NAKAZAWA, Riou; KAMEDA, Yuji; ITO, Tanaka; OGITA, Yumi; MICHIHATA, Ron; TAKENAGA, Hinako. Selection and characterization of nickel-tolerant tobacco cells. **Biologia Plantarum**, Praga, n. 48, v. 4, p.497-502, 2004.

ODJEGBA, Victor J.; FASIDI, Isola O. Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation. **Ecotoxicology**, v. 13, n. 7, p. 637-646, 2004.

OLIVEIRA, Eduardo M. S.; SAMPAIO, Valter. G.; HOLANDA, José N. F. Incorporação de Resíduo de ETAs em Cerâmica Vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu, 2006. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, Laura T.; SILVA, Jéssica B.; IDE, Carlos N. Avaliação das Propriedades Físicas de Corpos de Prova com a Adição de Lodo de Reciclo de Cromo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 51., 2007, Salvador, 2007. **Anais eletrônicos...** Salvador. 1 CD-ROM.

PINHEIRO, Rinaldo J. B. **Notas de aula da disciplina de mecânica dos solos do curso de engenharia civil da Universidade Federal de Santa Maria.** Santa Maria, 2012. Disponível em: <http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/TRP1003_mecanica_dos_solos/unidade_4.pdf> Acesso em 20 jan. 2012

RAUSER, Wilson E. Phytochelatins and related peptides: structure, biosynthesis and function. **Plant Physiology**, Stanford, v. 109, n. 4, p. 1141-1149, 1995.

SALT, Donald E.; SMITH, Robert D.; RASKIN Ilya. Phytoremediation, Annual Review of Plant Physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 49, n. 1, p. 643-668, 1998.

SCHULTZ, Davi R., PONTE, Maria José J. S., PONTE, Henrique A. Recuperação de chumbo, cobre e níquel de efluentes industriais utilizando reator de leito particulado. In: ECOTECNOLOGIA, 2003, 2003, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba, 2003. Disponível em: <<http://www.gea.ufpr.br/Trabalhos/Congressos/Ecotecnologica2003-SchultzPontePonte.pdf>> Acesso em 16 mar. 2012.

SOUZA, Débora C.; RIBEIRO, Rosana. LIMA, Sônia B.; CARVALHO, Karina Q.; SILVA, Jivan R. Tolerância e Hiperacumulação de Cobre em *Pontederia parviflora* Alexander. **OLAM – Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, v. 2, n. especial, p. 329-343, 2009.

SOUZA, Guilherme P. et al. Comportamento de sinterização de massas argilosas contendo resíduo proveniente do setor petrolífero. **Cerâmica**, São Paulo, v. 49, n. 311, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132003000300004&script=sci_arttext>. Acesso em 30 dez. 2011.

TALLINI Jr, Vitória M.; MYMRINE. Valdete; RIBEIRO Roberto A. C.; PONTE, Hélio A. Reciclagem de Resíduos Industriais em Materiais Cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 51., 2007, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador, 2007. 1 CD-ROM.

TAVARES, Silvio R. L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** 2009, 371f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-

graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.getres.ufrj.br/pdf/Tese%20Silvio%20Completa.pdf>> Acesso em: 15 mar. 2012, 15:20 h

TURNER, Robert G.; MARSHALL, Christian. The accumulation of zinc by subcellular fractions of roots of *Agrostis tenuis* Sibth. in relation to zinc tolerance. **New Phytologist**, Oak Ridge, v.71, n. 4, p. 671-676, 1972

ANEXO A – Relatório de ensaio de resistência à compressão do testemunho.

ANEXO B – Relatório de ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com incremento de 5% de biomassa vegetal à massa argilosa.

ANEXO C – Relatório de ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova com incremento de 10% de biomassa vegetal à massa argilosa.

