

# O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática

*The use of cactus mucilage in gypsum plaster: effects in water absorption and static flexion strength*

Ana Cristina Tinôco Verçosa de Magalhães  
Jaime Gonçalves de Almeida

## Resumo

A utilização de painéis de gesso acartonado na construção civil tem aumentado por diversos fatores, entre eles a facilidade e a rapidez na instalação por ser um processo de construção a seco. No Brasil, a maior parte da produção do gesso é destinada à produção desses painéis. O gesso possui um tempo de pega rápido, sendo necessária a incorporação de aditivos para estender esse tempo. Os aditivos permitem modificar ou acrescentar alguma propriedade ao material. Eles são, na maioria, sintéticos e custam caro, aumentando o preço final do produto. Neste trabalho, foi pesquisado um aditivo natural, a mucilagem dos cactos *Nopalea cochenillifera* e *Opuntia ficus-indica*, adicionado em forma de pó e de gel em pastas de gesso. Constatou-se que as mucilagens de ambos os cactos possuem propriedades aditivas, pois permitiram a redução do consumo de água das pastas de gesso e modificaram a taxa de absorção de água e a resistência à flexão nos corpos de prova moldados.

**Palavras-chave:** Aditivo. Cacto. Gesso. Impermeabilizante. Mucilagem.

## Abstract

*The use of gypsum plasterboards in construction projects has increased due to several factors, including the ease and speed of installation since it is a dry construction method. In Brazil, most gypsum production is destined to making these panels. Gypsum plaster has a fast setting time and thus requires inclusion of admixtures to extend it. Such admixtures allow the modification or addition of properties to the material. Most of them are synthetic and expensive, increasing the cost of the final product. This study investigated a natural admixture, the mucilage extracted from cactus *Nopalea cochenillifera* and from *Opuntia ficus-indica*, added to gypsum plaster paste in powder and gel. The mucilage of both cacti proved to have additive properties, reducing of water consumption by the paste, and changing the rate of water absorption and flexural strength in the specimens molded.*

**Keywords:** Durability. Additive. Cactus. Gypsum. Waterproofing. Mucilage.

Ana Cristina Tinôco Verçosa  
de Magalhães  
Faculdade de Arquitetura e  
Urbanismo  
Universidade de Brasília  
Campus Universitário - ICC Norte  
Térreo, Asa Norte  
Brasília - DF - Brasil  
Caixa-Postal: 04431  
CEP: 70910-970  
Tel.: (61) 3307-2454  
E-mail: anacristvm@unb.br

Jaime Gonçalves de Almeida  
Faculdade de Arquitetura e  
Urbanismo  
Universidade de Brasília  
E-mail: cpab@unb.br

Recebido em 19/10/09  
Aceito em 21/01/10

## Introdução<sup>1</sup>

Os profissionais de arquitetura e da construção civil estão cada vez mais preocupados com a utilização de materiais menos agressivos ao meio ambiente. Para a aceitação desses materiais, além dos aspectos ambientais, é necessário existirem vantagens econômicas, devido à competitividade do setor, além de atender aos requisitos exigidos para o desempenho a que foram propostos.

O gesso acartonado tem se destacado por ser um produto leve e de rápida instalação, atendendo à atual demanda de racionalizar a construção, evitando desperdícios e otimizando etapas. A calcinação e a desidratação da gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), matéria-prima do gesso, ocorrem em temperaturas baixas ( $140^\circ\text{C}$ - $160^\circ\text{C}$ ), liberando água na atmosfera, ao contrário às do cimento, que ocorrem em altas temperaturas, liberando gás carbônico.

Segundo a Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) (CONSELHO..., 2002), os resíduos do gesso estão classificados como Classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação. O gesso pode provocar dois tipos de contaminação, devido ao sulfato presente na gipsita. A aderência do gesso em alvenarias e concretos dificulta sua separação e pode contaminar os agregados reciclados, se em porcentagem elevada. E a deposição errada do gesso, em aterros ou lixões, pode provocar a formação do gás sulfídrico, tóxico e inflamável. O gesso acartonado novamente se destaca como produto pela facilidade em sua remoção, pois sua instalação é por acoplamento, e posteriormente em sua reciclagem, viabilidade constatada por Nita *et al.* (2004), John e Cincotto (2003) e Placo (2009), primeira empresa do setor de construção a seco a possuir uma unidade de reciclagem.

Entretanto, o gesso utilizado no gesso acartonado é um material bastante solúvel e de pega muito rápida, necessitando a adição de produtos hidrofugantes em sua composição e de aditivos para retardar seu endurecimento, acarretando aumento de preço do produto.

Por outro lado, o interesse do homem pelos cactos data de mais de mil anos e sua história está relacionada com a civilização mesoamericana, em especial a asteca (SÁENZ *et al.*, 2006), onde nos

templos foi utilizada sua mucilagem (LEGEN, 2004). Na América Latina, a mucilagem foi utilizada como estabilizante de terra crua em monumentos e, também, como material colante para restauração, como utilizado nas ruínas de Chan-Chan, no Peru, consideradas patrimônio da humanidade (HOYLE, 1990 *apud* OLIVEIRA; SAWITZKI; FONSECA, 2005). No Brasil, a mucilagem é utilizada como agente fixador da cal e, no Nordeste do país, o cultivo do cacto serve para o alimento dos gados bovino e caprino.

Na bibliografia consultada, verificou-se que a mucilagem do cacto *Opuntia*, adicionada em pastas e argamassas, de gesso, cimento ou cal, aumentou a resistência desses materiais, em função de suas propriedades aditivas (diminuição da absorção de água e aumento da resistência mecânica), com exceção do trabalho de Cárdenas, Arguelles e Goycoolea (1998). Cabe ressaltar que os referidos autores utilizaram, proporcionalmente, maior quantidade de mucilagem liofilizada<sup>1</sup> em relação aos demais.

A mucilagem de cacto é um gel encontrado abaixo da superfície externa do cacto e contém polissacarídeos de pentoses, hexoses e açúcares livres (MASTER, 1958), e também proteínas (CHANDRA; EKLUND; VILLAREAL, 1998).

Nos estudos mais recentes, utilizando a mucilagem, verificou-se que sua adição aos materiais poderia ser de duas maneiras, em gel ou em pó, não havendo uma comparação entre ambas. A mucilagem pode ser extraída, em forma de gel, através da cocção dos cladódios (ramos ou caule dos cactos) picados e cozidos por 30 min em água ou através da diluição da mucilagem em água natural, permanecendo os pedaços de cacto em repouso por 2 dias. A mucilagem em forma de pó pode ser obtida mediante a liofilização ou desidratação dos cladódios. As formas de obtenção da mucilagem, em gel ou em pó, foram descritas por Chandra, Eklund e Villareal (1998), Cárdenas, Arguelles e Goycoolea (1998), Hernandez Zaragoza (2000), Noriega Montes, Hernandez Zaragoza e Jiménez Robles (2005), Oliveira, Sawitzki e Fonseca (2005) e Torres-Acosta e Cano-Barrita (2007).

Pode-se também constatar nos trabalhos citados que a adição de mucilagem em forma de gel ou liofilizada permitiu o aumento da trabalhabilidade de pastas e argamassas. Não há, porém, consenso sobre o que ocorre se a mucilagem adicionada for desidratada. Noriega Montes, Hernandez Zaragoza e Jiménez Robles (2005) referem o aumento da trabalhabilidade, enquanto Torres-Acosta e Cano-Barrita (2007) a sua diminuição. Segundo Torres-Acosta (2007), a diminuição desta trabalhabilidade

<sup>1</sup> Obs.: Trata-se de um trabalho baseado na dissertação de mestrado submetida pela autora ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB, em 2009. Nessa dissertação foram estudadas, além da adição da mucilagem de cacto em pastas de gesso, fibras naturais, como as fibras de bambu, de sisal e de coco.

está relacionada com a presença de fibras, que também são desidratadas, exigindo maior quantidade de água na mistura.

O objetivo do trabalho consiste no desenvolvimento de material construtivo elaborado com matéria-prima de reduzido impacto ambiental, orgânico e de baixo custo, com o uso de mucilagem de cacto em pasta de gesso, tornando-o resistente à água e aos esforços de flexão, visando à sustentabilidade em arquitetura e engenharia civil, entre outras aplicações.

Foram comparadas as formas de extração e obtenção da mucilagem dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, em forma de gel e pó, e os resultados dos corpos de prova (CPs) moldados com adição dessas mucilagens nos ensaios de absorção de água e de flexão estática. Foram também comparados os resultados dos CPs das pastas de gesso controle (somente água), das pastas de gesso com adição de impermeabilizante ou superplastificante e a quantidade de água necessária (relação água/gesso) para moldagem dos CPs.

Este trabalho está organizado em quatro partes. A primeira parte descreve os materiais e método

utilizados na pesquisa, como os procedimentos para obtenção da mucilagem, as dimensões dos CPs, normas pertinentes aos ensaios, a proporção dos produtos adicionados às pastas e a quantidade de material utilizada em cada mistura. Na segunda parte constam os resultados obtidos nos ensaios realizados e os resultados dos testes estatísticos ANOVA e SNK. Na terceira parte, a análise dos resultados; e, na quarta parte, as conclusões do trabalho.

## Materiais e método

Na pesquisa, foram estudados os cactos *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (Figura 1) e *Nopalea cochenillifera* (L.) Lyons (Figura 2). A *Opuntia* é um cacto facilmente encontrado na região do semiárido, no Nordeste brasileiro, utilizada para alimentação do gado; e a *Nopalea* é outro cacto facilmente encontrado na região da pesquisa, em Brasília, e se assemelha ao cacto *Opuntia*, possuindo mucilagem na parte interna dos cladódios. Ambos os cactos pertencem à família *Cactaceae* e subfamília *Opuntioideae* K. SCH. (BALLESTER OLMOS, 1995; LORENZI; SOUZA, 2001).



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 1 - Plantação de cacto *Opuntia ficus-indica*, em João Pessoa, para alimentação do gado



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 2 - Cacto *Nopalea cochenillifera* na Universidade de Brasília

## Mucilagem de Cacto

Para extração da mucilagem em gel, foram coletados 2.000 g de cladódios do cacto *Opuntia ficus-indica* e 2.000 g de cladódios do cacto *Nopalea cochenillifera*, cortados em pequenos pedaços e colocados separadamente em recipientes com água, na proporção de 1:3, cacto:água, permanecendo em repouso, em temperatura ambiente, por 2 dias (Figura 3). A mesma quantidade de cada tipo de cacto (2.000 g) foi cortada em pequenos pedaços e colocada, separadamente, em água, na mesma proporção (1:3), e levada ao fogo até sua fervura, permanecendo por 30 min (Figura 4), conforme descrito por Chandra, Eklund e Villareal (1998) e Torres-Acosta e Cano-Barrita (2007). Após cada processo, a mucilagem foi coada em peneira de malha de 20 mm para posterior utilização<sup>2</sup>. Foram denominados *Opuntia* Água Natural – OAN e *Nopalea* Água Natural – NAN, para a mucilagem extraída em água natural, pelo repouso; e *Opuntia* Água Quente – OAQ e *Nopalea* Água Quente – NAQ, para a mucilagem extraída pela cocção.

Verificou-se que, após 2 dias de repouso dos cactos em água natural e em temperatura ambiente, para extração da mucilagem em gel, os pedaços de cacto ainda apresentavam grande quantidade de mucilagem. Dessa forma, foram novamente colocados os pedaços do cacto *Nopalea*, coados, em novo recipiente com água, respeitando-se a proporção de cacto/água, e deixados de repouso, em temperatura ambiente, por 4 dias. Após esse período, a mucilagem extraída foi coada em peneira de malha de 20 mm para posterior utilização. Foi denominada *Nopalea* Água Natural Segunda Extração – NAN 2.

Para a obtenção da mucilagem em pó, foram coletados cladódios de ambos os cactos, pesados, cortados em pedaços e colocados em estufa a 100 °C durante 36 h – período suficiente para a completa secagem deles (Figura 5). Após esse período, os pedaços secos foram triturados e passados em peneira de malha de 10 mm, separadamente. Foi verificado que a planta do cacto *Nopalea* apresentava cladódios secos naturalmente, que são descartados no solo, e supõe-se que esses cladódios são uma forma de defesa e economia dessa planta para suportar o

período de estiagem. Sendo assim, foram também triturados esses cladódios e passados em peneira de malha de 10 mm. Após esse processo, o pó resultante de cada um dos cactos foi armazenado para posterior utilização<sup>3</sup>. Foram denominados *Opuntia* Pó – OP e *Nopalea* Pó – NP, a mucilagem obtida através da desidratação dos cactos em estufa; e *Nopalea* Pó Natural – NPN, a mucilagem obtida pela desidratação natural do cacto *Nopalea*.

Após a extração da mucilagem em gel, foram medidas as massas dos cactos retidos em peneira, referentes a cada processo (Tabela 1), e, também, as massas dos cactos verdes colocados para a secagem em estufa e dos cactos secos, depois de triturados e peneirados (Tabela 2).

## Pastas de Gesso

Para a preparação das pastas, foi utilizado gesso calcinado ou gesso de estucador ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), material empregado na reparação de paredes de gesso, execução de forros e outros elementos decorativos. O gesso foi adquirido em lojas de materiais de construção, em Brasília, vendido em sacos com 40 kg e proveniente do estado de Pernambuco. A massa unitária do gesso utilizado foi medida (744,72 kg/m<sup>3</sup>), estando dentro dos parâmetros definidos pela NBR 12127 (ABNT, 1991) – Gesso para Construção – Determinação das Propriedades Físicas do Pó e pela NBR 13207 (ABNT, 1994) – Gesso para Construção – Especificações.

As pastas de gesso com mucilagem, em forma de gel, foram preparadas com duas diferentes proporções, 50% e 100% de substituição da água de amassamento, conforme Chandra, Eklund e Villareal (1998). As pastas de gesso com mucilagem, em forma de pó, também foram preparadas com duas diferentes proporções, 0,35% e 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso, conforme Noriega Montes, Hernandez Zaragoza e Jiménez Robles (2005) e Torres-Acosta e Cano-Barrita (2007).

<sup>2222</sup> A liofilização consiste primeiramente na extração da mucilagem em gel, por diluição, através do repouso de pedaços de cactos em água por 2 dias ou pela simples maceração dos pedaços sem adição de água. Essa mucilagem em gel é colocada em liofilizadora, sob pressão de 0,001 mbar (ou 0,1 Pa) e temperatura de 50 °C negativos, e centrifugada por 24 h. O objetivo desse processo é separar a água da mucilagem, obtendo, dessa forma, mucilagem em pó liofilizada. Esse processo exige aparelho específico e tem um custo maior para a obtenção dessa mucilagem, não sendo utilizado neste trabalho.

<sup>3</sup>Foram utilizadas balança digital Western BC-03, com capacidade de 3.000 g e precisão de 1 g, tarada anteriormente para a pesquisa, e proveta com capacidade de 1.000 mL e precisão de 10 mL.



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 3 - Recipiente contendo pedaços de cacto em água natural, após 2 dias de repouso



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 4 - Mucilagem extraída após 30 min de fervura dos pedaços de cacto em água



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 5 - Cactos secos em estufa, após 36 h a 100 °C

Tipos	Massa inicial (g)	Massa final retida em peneira (g)	Varição da massa (g)
<i>Opuntia</i> Água Quente - OAQ	2.000	1.408	-592
<i>Nopalea</i> Água Quente - NAQ	2.000	1.990	-10
<i>Opuntia</i> Água Natural - OAN	2.000	2.232	+232
<i>Nopalea</i> Água Natural - NAN	2.000	2.398	+398

Tabela 1 - Massa resultante dos cactos *Opuntia* e *Nopalea* coados após 30 min de fervura e após 2 dias de repouso em água natural - primeira extração

Tipos	Massa inicial Cacto verde (g)	Massa final Cacto seco (g)	Cacto seco/ Cacto verde (%)
<i>Opuntia</i> (estufa)	1.887	114,10	6,04
<i>Nopalea</i> (estufa)	1.236	109,30	8,84

Tabela 2 - Massa inicial e final dos cactos colocados em estufa, durante 36 h a 100 °C

Além disso, prepararam-se as seguintes pastas: pasta de gesso controle (somente água); pasta de gesso com impermeabilizante Chapix Ar, sendo um terço da água de amassamento de impermeabilizante e o restante, dois terços, de água, conforme recomendação do fabricante Anchortec (2007); e pasta de gesso com superplastificante Glenium 51, sendo 0,5% de superplastificante em relação à massa de gesso, dentro dos parâmetros sugeridos pelo fabricante Basf S.A. – The Chemical Company (2009).

Todas as misturas foram realizadas diretamente com espátulas de plástico, para evitar oxidação com o gesso. Os materiais foram colocados em uma bandeja de mistura, sendo primeiramente colocada a água, em seguida, quando fosse o caso, impermeabilizante, superplastificante ou mucilagem em gel ou em pó, e, por último, adicionado o gesso.

Para cada tipo de pasta foram moldados três CPs nas dimensões definidas com base na NBR 14717 (ABNT, 2001) – Chapas de Gesso Acartonado – Dimensões das Características Físicas, sendo 300 mm x 300 mm x 15 mm (Figuras 6 e 7).

As quantidades dos materiais utilizados nas pastas são apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5. Houve variação da quantidade de gesso em algumas

misturas (parte sombreada), e cabe aqui ressaltar que a relação água e mucilagem/gesso foi definida plasticamente. Em todas as pastas procurou-se obter uma mistura homogênea, de fácil manipulação, que permitisse a moldagem dos CPs propostos. Não foram realizados ensaios de trabalhabilidade ou consistência.

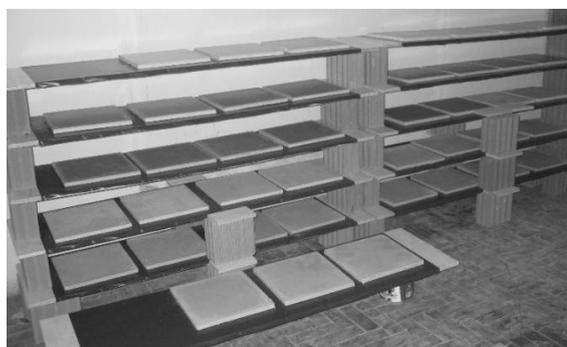
Conforme a Tabela 3, na pasta de gesso com mucilagem em gel, OAQ 50, houve a necessidade de reduzir a quantidade de gesso. A pasta com relação água e mucilagem/gesso de 0,50 apresentou excesso de água após a moldagem dos CPs, verificado por uma lâmina de água. Por essa razão e em função da mucilagem restante, a quantidade de gesso foi menor, sendo possível moldar apenas dois CPs. Devido a essa observação, as demais pastas de gesso com mucilagem foram preparadas com menor relação de água e mucilagem/gesso.

Nas pastas de gesso com mucilagem em gel obtida pelo repouso, foi possível reduzir para 0,40 a relação água e mucilagem/gesso. Nas pastas de gesso NAN 50, NAN 100, NAN 2 50 e NAN 2 100, a quantidade de gesso foi aumentada para que houvesse pasta suficiente para a moldagem dos CPs, respeitando-se a proporção definida.



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 6 - Molde para a confecção dos CPs: compensado, plástico e madeira envernizada



Fonte: Magalhães (2009)

Figura 7 - Prateleiras revestidas por plástico onde foram colocados os CPs, diariamente virados para cura homogênea

Tipos	Relação (am/g)	Gesso (g)	Água (mL)	Mucilagem gel (mL)
OAQ 50	0,50	6.000	1.500	1.500
OAQ 50 (*1)	0,45	4.500	1.012,5	1.012,5
OAQ 100	0,45	6.000	---	2.700
NAQ 50	0,45	6.000	1.350	1.350
NAQ 100	0,45	6.000	---	2.700
OAN 50	0,40	6.000	1.200	1.200
OAN 100	0,40	6.000	---	2.400
NAN 50	0,40	6.500	1.300	1.300
NAN 100	0,40	6.500	---	2600
NAN 2 50	0,40	6.500	1300	1.300
NAN 2 100	0,40	6.500	---	2600

Legenda:

am/g - Relação água e mucilagem/gesso.

(\*1) - Redução da relação am/g. Foi possível moldar dois CPs em função da quantidade de mucilagem restante.

OAQ - *Opuntia* em Água Quente. NAQ - *Nopalea* em Água Quente. OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN - *Nopalea* em Água Natural.

NAN 2 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração.

50 - 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem. 100 - 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Tabela 3 - Quantidade de material utilizado nas pastas contendo mucilagem em gel

Tipos	Relação (a/g)	Gesso (g)	Água (mL)	Cacto em pó (g)
OP 0,35	0,60	6.000	3.600	21,0 g
OP 0,35(*1)	0,40	2.000	800	7,0 g
OP 1,0	0,50	6.000	3.000	60,0 g
OP 1,0 (*1)	0,40	2.000	800	20,0 g
NP 0,35	0,40	6.000	2.400	21,0 g
NP 1,0	0,40	6.000	2.400	60,0 g
NPN 0,35	0,50	6.500	3.250	22,7 g
NPN 1,0	0,55	6.500	3.575	65,0 g

Legenda:

a/g - Relação água/gesso.

(\*1) - Redução da relação a/g. Foi possível moldar um CP para cada mistura em função da quantidade de pó restante.

OP - *Opuntia* em Pó (estufa). NP - *Nopalea* em Pó (estufa). NPN - *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 - 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso. 1,0 - 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

Tabela 4 - Quantidade de material utilizado nas pastas contendo cacto em pó

Tipos	Relação (a/g)	Gesso (g)	Água (mL)	Impermeab. (mL)	Superplastif. (mL)
GC	0,60	6.000	3.600	---	---
GI 1/3	0,60 (*2)	6.000	2.400	1.200	---
GP	0,50 (*3)	6.000	2.970	---	30

Legenda:

a/g - Relação água/gesso.

(\*2) - Quantidade de água e impermeabilizante somados.

(\*3) - Quantidade de água e superplastificante somados. Foi possível reduzir a quantidade de água em função do superplastificante.

GC - Gesso controle. GI 1/3 - Gesso com 1/3 de impermeabilizante. GP - Gesso com superplastificante.

Tabela 5 - Quantidade de material utilizado nas pastas de gesso controle, gesso com impermeabilizante e gesso com superplastificante

Segundo a Tabela 4, nas pastas de gesso com mucilagem em pó, OP 0,35 e OP 1,0, houve a necessidade de reduzir a quantidade de gesso. As pastas com as relações água/gesso de 0,60 e 0,50 apresentaram excesso de água após a moldagem

dos CPs, verificado, novamente, pela lâmina de água formada. Por essa razão e em função da quantidade de pó de cacto restante, a quantidade de gesso foi menor, sendo possível moldar um CP para cada mistura.

Nas pastas de gesso com mucilagem em pó do cacto desidratado naturalmente, NPN 0,35 e NPN 1,0, a quantidade de gesso foi aumentada para que houvesse pasta suficiente para moldagem dos CPs, pois se esperava que a relação água/gesso 0,40 fosse a ideal. Porém, verificou-se a necessidade de aumentar essa relação, o que será abordado posteriormente.

## Ensaio de Absorção de Água e de Flexão Estática

O ensaio de absorção de água<sup>4</sup> foi realizado nos CPs após 14 dias de moldagem deles. Um dia antes do ensaio, os CPs foram colocados em câmara climatizada com temperatura média de 22 °C e umidade relativa do ar de 60%. Segundo a NBR 14717 (ABNT, 2001), que estabelece parâmetros para o ensaio de absorção de água nos CPs retirados de placas de gesso acartonado resistente à umidade, o ensaio consiste em determinar a massa inicial do CP e, em seguida, submergi-lo em um tanque com água durante 120 min. Após esse período, o CP é retirado do tanque, enxugado com um pano úmido e determinada sua massa final. A porcentagem de absorção de água é definida pela equação 1:

$$A = \{(mf - m_i) / m_i\} \times 100 \quad (1)$$

sendo A a taxa de absorção (%); mf a massa final, após ensaio (g); e m<sub>i</sub> a massa inicial, antes do ensaio (g).

O ensaio de flexão estática foi realizado nos mesmos CPs utilizados no ensaio de absorção de água, porém com 90 dias de moldagem, tempo suficiente para que eles estivessem secos novamente. Sendo assim, cabe ressaltar que a resistência obtida em cada CP pode não significar sua máxima resistência, visto já ter sido submerso em água em ensaio anterior. Com base novamente na NBR 14717 (ABNT, 2001), os CPs foram colocados sobre dois apoios cilíndricos de 15 mm de diâmetro, e comprimento de 250 mm, espaçados entre si em 250 mm.

Uma carga progressiva foi aplicada no meio do vão por um rolo cilíndrico de igual diâmetro dos apoios, e comprimento de 350 mm, com uma velocidade de 250 ± 50 N/min. A resistência à flexão foi calculada a partir da equação 2:

$$f_f = 3/2(P \times l / b \times h^2) \quad (2)$$

sendo f<sub>f</sub> a força de flexão (MPa); P a carga de ruptura (N); l a espaçamento entre os apoios (mm); b a base do CP (mm); e h altura do CP (mm).

Foram comparados os resultados dos ensaios de absorção de água e de resistência à flexão estática dos CPs das pastas de gesso com adição de mucilagem em forma de gel a partir da diluição da mucilagem em água quente, pela cocção dos cladódios, e em água natural, pelo repouso (temperatura ambiente – primeira e segunda extrações); das pastas de gesso com mucilagem em forma de pó através da desidratação dos cladódios em estufa e naturalmente (espécie *Nopalea*); da pasta de gesso controle (somente água); da pasta de gesso com impermeabilizante; e da pasta de gesso com superplastificante.

Foram também submetidos aos ensaios de absorção de água e de flexão estática três CPs retirados de um painel de gesso acartonado resistente à umidade (RU), que apresentavam dimensões de 300 mm x 300 mm x 12,5 mm, para comparação com os resultados dos CPs moldados.

Em todos os resultados, foram utilizados os testes estatísticos Análise de Variância (ANOVA) e Student-Newman-Keuls (SNK). O teste ANOVA visa identificar se existe diferença significativa entre as médias dos resultados e qual a probabilidade de erro envolvida em aceitar o resultado como válido. Resultados com nível-p de 0,001 são considerados “altamente” significativos, devido à menor probabilidade de erro, de 0,1%. O teste SNK visa identificar quais resultados são estatisticamente semelhantes ou não, comparando as médias duas a duas.

## Resultados

Os resultados dos ensaios de absorção de água e de flexão estática dos CPs, valores médios e desvio padrão são apresentados na Tabela 6. As menores taxas de absorção e maiores resistências são destacadas na parte sombreada.

A taxa de absorção média dos CPs retirados da placa de gesso acartonado RU é de 4,35%, entretanto não é conhecida sua composição, nem a quantidade dos materiais hidrofugantes utilizados, e, por isso, não foram incluídos nos resultados estatísticos. A resistência à flexão dos CPs do gesso acartonado são de 2,21 MPa para a resistência transversal e de 4,95 MPa para a resistência longitudinal.

Segundo o teste estatístico ANOVA, foram verificadas diferenças altamente significativas na comparação dos resultados dos ensaios de absorção de água (F=857,734 e nível-p<0,001) e

<sup>4</sup> O ensaio de absorção foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB/MMA), em Brasília.

de resistência à flexão estática dos CPs ( $F=27,997$  e nível- $p<0,001$ ).

Segundo o teste estatístico SNK, foram verificadas as diferenças ou semelhanças entre os resultados dos ensaios de absorção de água e de resistência à

flexão estática, a partir do nível de significância (Tabelas 7 e 8). As menores taxas de absorção e maiores resistências são destacadas na parte sombreada.

	Tipo	Relação (am/g)	Absorção média (%)	Desvio padrão	Flexão média (MPa)	Desvio padrão
Água Quente	OAQ 50	0,45	17,13	0,288	3,53	0,628
	OAQ 100	0,45	17,14	0,372	2,00	0,295
	NAQ 50	0,45	17,52	0,415	1,79	0,072
	NAQ 100	0,45	16,66	0,088	1,99	0,435
Água Natural	OAN 50	0,40	14,33	0,091	4,62	0,592
	OAN 100	0,40	13,77	0,180	4,46	0,415
	NAN 50	0,40	14,02	0,227	4,49	0,319
	NAN 100	0,40	13,14	0,111	3,70	0,238
	NAN 2 50	0,40	15,21	0,162	4,69	0,380
	NAN 2 100	0,40	14,66	0,094	4,31	0,435
	Tipo	Relação (a/g)	Absorção média (%)	Desvio padrão	Flexão média (MPa)	Desvio padrão
<i>Opuntia</i> Pó	OP 0,35	0,40	13,30	Nc	4,69	Nc
	OP 1,0	0,40	12,10	Nc	2,75	Nc
	NP 0,35	0,40	13,50	0,174	3,66	0,243
<i>Nopalea</i> Pó	NP 1,0	0,40	12,59	0,166	2,28	0,033
	NPN 0,35	0,50	19,91	0,287	2,98	0,023
	NPN 1,0	0,55	20,64	0,200	1,21	0,151
Controle	GC	0,60	27,64	0,056	2,37	0,156
	GI 1/3	0,60	20,75	0,472	3,73	0,428
	GP	0,50	23,38	0,271	3,66	0,355

Nc - Não calculado devido à moldagem de apenas um CP, conforme descrito anteriormente

Tabela 6 - Média da absorção de água dos CPs com 14 dias de moldagem e média da resistência à flexão estática dos CPs com 90 dias de moldagem

Tipo	Relação	Teste Student-Newman-Keuls												
		Subset for alpha = 0,05												
NP 1,0	0,40	12,59												
NAN 100	0,40		13,14											
NP 0,35	0,40		13,50	13,50										
OAN 100	0,40			13,77	13,77									
NAN 50	0,40				14,02	14,02								
OAN 50	0,40					14,33	14,33							
NAN 2 100	0,40						14,66							
NAN 2 50	0,40							15,21						
NAQ 100	0,45								16,66					
OAQ 50	0,45								17,13	17,13				
OAQ 100	0,45								17,14	17,14				
NAQ 50	0,45									17,52				
NPN 0,35	0,50										19,91			
NPN 1,0	0,55											20,64		
GI 1/3	0,60												20,75	
GP	0,50													23,38
GC	0,60													27,64
	Sig.	1,0	,084	,196	,225	,130	,111	1,0	,060	,148	1,0	,565	1,0	1,0

Tabela 7 - Resultado estatístico SNK da absorção de água (%) dos CPs moldados com pasta de gesso

Tipo	Relação	Teste Student-Newman-Keuls						
		Subset for alpha = 0,05						
NPN 1,0	0,55	1,21						
NAQ 50	0,45	1,79	1,79					
NAQ 100	0,45	1,99	1,99					
OAQ 100	0,45	2,00	2,00					
NP 1,0	0,40		2,28	2,28				
GC	0,60		2,37	2,37				
NPN 0,35	0,50			2,98	2,98			
OAQ 50	0,45				3,53	3,53		
GP	0,50				3,66	3,66	3,66	
NP 0,35	0,40				3,66	3,66	3,66	
NAN 100	0,40				3,70	3,70	3,70	
GI 50	0,60				3,73	3,73	3,73	
NAN 2 100	0,40					4,31	4,31	4,31
OAN 100	0,40					4,46	4,46	4,46
NAN 50	0,40					4,49	4,49	4,49
OAN 50	0,40						4,62	4,62
NAN 2 50	0,40							4,69
	Sig.	,069	,351	,070	,176	,066	,066	,740

Tabela 8 - Resultado estatístico SNK da resistência à flexão (MPa) dos CPs moldados com pasta de gesso

## Análise dos resultados

Foram analisados, primeiramente, os resultados da extração da mucilagem; posteriormente, os resultados das pastas de gesso com mucilagem dos cactos *Opuntia* e *Nopalea* no ensaio de absorção de água, seguido do ensaio de flexão estática e, por último, os resultados das pastas controle, com impermeabilizante e com superplastificante, e do gesso acartonado.

### Extração da Mucilagem

Comparando entre si os processos de extração de mucilagem em gel (Tabela 1), foi possível identificar que, pela cocção, há maior variação de massa no cacto *Opuntia* e, pelo repouso, há maior variação de massa no cacto *Nopalea*. Esses dados encontrados talvez possam ser explicados pela espessura dos cactos. O cacto *Opuntia* apresenta maior espessura que o cacto *Nopalea* e, talvez, mais água nos cladódios, o que faz com que a perda de massa seja maior quando cozido, pois a fervura da água favorece a diluição da mucilagem. Por outro lado, os cactos, quando colocados de repouso em água natural, absorvem água ao mesmo tempo em que a mucilagem é diluída. A maior variação de massa do cacto *Nopalea* ocorre em função de sua menor espessura e maior absorção de água.

Novamente, a espessura dos cactos pode ter influenciado na proporção de mucilagem em pó obtida pela desidratação em estufa (Tabela 2). O cacto *Nopalea*, menos espesso, perde menor

quantidade de água que o cacto *Opuntia*; com isso, a relação cacto seco/cacto verde é maior.

### Pastas com Mucilagem no Ensaio de Absorção de Água

Foi analisado o resultado estatístico SNK da absorção de água das pastas de gesso com mucilagem em gel e, posteriormente, das pastas de gesso com mucilagem em pó (Tabela 7).

Não foram verificadas diferenças significativas entre os cactos *Opuntia* e *Nopalea* nos resultados das pastas de gesso com mucilagem extraída em gel (obtidas pelo repouso em água natural e pela cocção), exceto com a adição de 100% de mucilagem obtida pelo repouso, tendo a pasta com o cacto *Nopalea* (NAN 100) obtido melhor resultado que todas essas pastas.

Entre as pastas de gesso com mucilagem em gel, os melhores resultados foram os das pastas com mucilagem obtida pelo repouso, seguidas das pastas com mucilagem obtida através da segunda extração e, por último, das pastas com mucilagem obtida pela cocção, sendo estas últimas com maior relação água e mucilagem/gesso que as demais.

Os resultados das pastas de gesso com pó do cacto *Nopalea*, em estufa, foram estatisticamente os melhores em comparação com todos os resultados. Os resultados das pastas de gesso com pó do cacto *Opuntia*, em estufa, não foram incluídos nos resultados estatísticos, em função da moldagem de apenas um CP de cada proporção, conforme já descrito. Os resultados desses CPs foram

interessantes nos ensaios de absorção (Tabela 6), sendo necessárias novas pesquisas para sua repetição e confirmação.

As pastas de gesso com mucilagem em pó do cacto *Nopalea* obtida pela desidratação natural apresentaram os piores resultados no ensaio de absorção dos CPs das pastas com mucilagem. O aumento da proporção de pó desse cacto acarretou na necessidade do aumento da relação água/gesso, resultando em maiores taxas de absorção de água.

Segundo Torres-Acosta e Cano-Barrita (2007), o aumento do consumo de água nas pastas com mucilagem em pó se deve às fibras dos cactos que estão presentes. Entretanto, apesar de a mucilagem em pó obtida em estufa também possuir fibras, não foi necessário o aumento da água de amassamento; pelo contrário, houve diminuição. Dessa forma, fazem-se necessárias outras pesquisas para verificar a variação da quantidade de água nas pastas em função das diferentes formas de desidratação e obtenção desse pó, em estufa ou naturalmente.

Analisando o resultado estatístico SNK da absorção de água (Tabela 7), verifica-se que existe uma relação direta entre a relação água e mucilagem/gesso e a taxa de absorção de água. Com a adição de mucilagem nas pastas de gesso, foi possível reduzir o consumo de água das pastas, permitindo a redução dessa taxa. Conforme citado, não foram realizados testes de consistência ou trabalhabilidade, apenas a viabilidade de redução de água para moldagem dos três CPs propostos. Cabe ressaltar que mesmo nas pastas com mesma relação água e mucilagem/gesso de 0,40, verifica-se que o tipo de mucilagem adicionada influencia no resultado da taxa de absorção. Verificou-se também que o aumento da proporção de mucilagem em gel ou em pó permitiu menores taxas de absorção de água, com exceção das pastas com mucilagem em pó naturalmente desidratada.

### **Pastas com Mucilagem no Ensaio de Flexão Estática**

Analisou-se o resultado estatístico SNK de flexão estática das pastas de gesso com mucilagem em gel e, posteriormente, das pastas de gesso com mucilagem em pó (Tabela 8).

Não foram verificadas diferenças significativas entre os cactos *Opuntia* e *Nopalea* nos resultados das pastas de gesso com mucilagem extraída em gel (obtidas pelo repouso em água natural e pela cocção), exceto com a adição de 50% de mucilagem obtida pela cocção, tendo a pasta com o cacto *Opuntia* (OAQ 50) obtido resultado melhor.

Entre as pastas de gesso com mucilagem em gel, os melhores resultados foram os das pastas com mucilagem obtida pelo repouso através da primeira e segunda extrações, não havendo diferença significativa entre ambas. Esses resultados indicam que a mucilagem ainda está presente nos cactos coados, após a primeira extração, sendo necessário o aprimoramento desse processo.

Os resultados das pastas de gesso com pó do cacto *Nopalea* em estufa foram intermediários. Conforme já descrito, os resultados das pastas de gesso com pó do cacto *Opuntia* em estufa não foram incluídos nos resultados estatísticos, porém cabe ressaltar que a adição de 0,35% desse pó permitiu o melhor resultado no ensaio de flexão estática (Tabela 6), sendo necessárias novas pesquisas para sua repetição e confirmação.

O resultado da pasta de gesso com 0,35% de mucilagem em pó do cacto *Nopalea* obtida pela desidratação natural apresentou resultado intermediário e com adição de 1,0%, o pior resultado de todas as pastas elaboradas.

Analisando o resultado estatístico SNK de flexão estática (Tabela 7) dos CPs das pastas de gesso com mucilagem, verifica-se que existe uma relação indireta entre a relação água e mucilagem/gesso e a resistência à flexão. Com a adição de mucilagem nas pastas de gesso foi possível reduzir o consumo de água das pastas, permitindo o aumento da resistência à flexão estática. Verificou-se, também, que o aumento da proporção de mucilagem em gel ou em pó resultou na diminuição dessa resistência.

### **Pastas Controle, com Impermeabilizante e com Superplastificante e Gesso Acartonado**

A pasta de gesso controle, pasta de gesso com impermeabilizante e a pasta de gesso com superplastificante apresentaram os piores resultados no ensaio de absorção (Tabela 7), em comparação com todos os CPs moldados. O pior resultado foi o da pasta de gesso controle.

A adição do impermeabilizante na pasta de gesso possibilitou a redução da taxa de absorção em quase 7% em relação à pasta controle, ambos com o mesmo consumo de água.

A pasta de gesso com superplastificante, apesar de ter sido moldado com relação água/gesso de 0,50, apresentou resultado inferior às pastas de gesso com 0,35% e 1,0% de pó de cacto *Nopalea*, seco naturalmente, e relação água/gesso de 0,50 e 0,55 respectivamente. Esse aspecto pode indicar que não foi apenas a redução do consumo de água, possível com adição de mucilagem, que favoreceu

taxas reduzidas de absorção; há componentes na mucilagem que favorecem tal redução.

A pasta de gesso controle no ensaio de flexão estática (Tabela 8) apresentou resultado intermediário, obtendo resultado semelhante a algumas pastas de gesso com mucilagem, apesar de menor relação água e mucilagem/gesso.

A adição do impermeabilizante favoreceu o aumento da resistência, se comparada com a pasta controle. Não houve diferença significativa entre os resultados das pastas com impermeabilizante e superplastificante, apesar de esta última ter menor relação água/gesso.

A taxa de absorção média dos CPs retirados do painel de gesso acartonado no ensaio de absorção de água está dentro dos parâmetros exigidos pela norma NBR 14715 (ABNT, 2001) (máximo de 5%). Entretanto, não é conhecida sua composição, nem a quantidade dos materiais hidrofugantes utilizados. A adição de mucilagem em pastas de gesso juntamente com outros aditivos usualmente empregados poderão permitir a redução dos custos do gesso acartonado, tornando-o mais competitivo no mercado.

As resistências longitudinal e transversal dos CPs do painel de gesso acartonado também estão dentro dos parâmetros exigidos pela norma NBR 14715:2001 (4,40 MPa e 1,68 MPa respectivamente, em função das dimensões dos CPs). Verificou-se que as pastas de gesso com mucilagem NAN 2 50, OAN 50, NAN 50, OAN 100 apresentaram resistências acima da resistência longitudinal exigida para os CPs do gesso acartonado, apesar de não possuírem papel *Kraft* em seu revestimento, o qual confere maior reforço e estabilidade.

## Conclusões

No trabalho realizado, foi possível constatar a importância do gesso para a elaboração de materiais de construção sustentável, permitindo a prática de uma arquitetura com menos impacto ambiental. O gesso acartonado permite melhor separação do gesso em demolições, evitando a contaminação de agregados reciclados e de lixões, além de facilitar sua reciclagem.

Verificou-se que existe uma relação direta entre o consumo de água e a taxa de absorção de água, e uma relação indireta entre esse consumo e a resistência à flexão estática. A adição de mucilagem de cacto permitiu a redução do consumo de água em pastas de gesso, possibilitando menores taxas de absorção de água e maiores resistências à flexão estática. O tipo de

mucilagem, em gel e em pó, e a quantidade adicionada, em pastas de gesso, influenciaram os resultados dos CPs moldados. O aumento da quantidade de mucilagem em pastas de gesso resultou na diminuição da taxa de absorção de água dos CPs e, também, na diminuição da resistência à flexão. Em menores quantidades, favoreceu o aumento dessa resistência. Provavelmente a quantidade de mucilagem explique o resultado negativo encontrado por Cárdenas, Arguelles e Goycoolea (1998) nas pastas de cal.

Entre os cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, não foram verificadas diferenças significativas nos resultados analisados das pastas de gesso com mucilagem, e pode-se concluir que a mucilagem de ambos os cactos possuem características de aditivo. Cabe salientar que este é um trabalho experimental, sendo necessárias mais pesquisas sobre a mucilagem de cacto e seus efeitos no consumo de água e na microestrutura de pastas de gesso.

Foi constatado que a forma de extração da mucilagem em água precisa ser melhorada, tendo em vista os resultados obtidos no ensaio de absorção e, principalmente, no ensaio de flexão.

Foi possível com a adição de mucilagem, a elaboração de uma pasta consistente, desde a mistura dos materiais. Nas pastas de gesso sem aditivos, o que geralmente ocorre é a mistura do gesso com uma proporção maior de água, para que, após alguns minutos, a pasta rala se torne uma pasta com consistência adequada para sua utilização, em virtude do rápido tempo de pega do gesso. Nesta pesquisa não foram medidos os tempos de pega das misturas, medição que deve ser realizada futuramente, apenas a constatação da possibilidade de redução do consumo de água e, ainda assim, a moldagem dos CPs propostos.

## Referências bibliográficas

ANCHORTEC. **Produtos:** chapix ar. Boletim Técnico. Janeiro 2007. Disponível em: <<http://www.fosrocreax.com.br/produtostotal.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127:** gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207:** gesso para construção: especificações. Rio de Janeiro, 1994.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715**: chapas de gesso acartonado: requisitos. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14717**: chapas de gesso acartonado: determinação das características físicas. Rio de Janeiro, 2001.
- BALLESTER OLMOS, J. F. **Cactus y Plantas Suculentas**. Espanha: Floraprint, 1995. 144 p.
- BASF S.A. **Produtos**: aditivos: Glenium 51. Disponível em: <[http://www.basfcc.com.br/novo/produtos-detalhes.asp?Id\\_Produto=9](http://www.basfcc.com.br/novo/produtos-detalhes.asp?Id_Produto=9)>. Acesso em: 23 mar. 2009.
- CÁRDENAS, A.; ARGUELLES, W. M.; GOYCOOLEA, F. M. On the Possible Role of *Opuntia ficus-indica* Mucilage in Lime Mortar Performance in the Protection of Historical Buildings. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, Évora, v. 3, 1998.
- CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. R. Use of Cactus in Mortars and Concrete. **Cement and Concrete Research**, Gutemburgo, v. 28, n. 1, p. 41-51, 1998.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 23 mar. 2009.
- HERNANDEZ ZARAGOZA, J. B. Uso de Concretos y Morteros Fibrados en la Industria de la Construcción. **Cuaderno de Trabajo: sistema de investigación Miguel Hidalgo**. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2000. p. 28-37.
- JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso**. Contribuição para Reformulação da Resolução CONAMA 307. São Paulo, 2003. 9 p.
- LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2004.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas Ornamentais no Brasil**: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3. ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2001.
- MAGALHÃES, A. C. T. V. de. **Estudo de Fibras Vegetais, Mucilagem de Cacto e Gesso em Componentes Construtivos**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- MASTER, R. W. P. Studies in *Nopalea Cochinelifera*. **Journal Naturwissenschaften**, v. 45, n. 23, p. 574-575, 1958.
- NITA, C. *et al.* Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004. 1 CD-ROM.
- NORIEGA MONTES, J.; HERNANDEZ ZARAGOZA, J. B.; JIMÉNEZ ROBLES, H. Aprovechamiento Total del Nopal en Cemento Pórtland. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA, 1., 2005, México. **Anais...** México: Universidad de Querétaro, 2005.
- OLIVEIRA, M. M.; SAWITZKI, R. L.; FONSECA, T. C. C. S. A Seiva de Cactos com Aditivo de Argamassas Antigas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., Florianópolis, 2005. **Anais...** SBTA: Florianópolis, 2005. p. 296-306.
- PLACO. **A placo**. Disponível em: <<http://www.placo.com.br/a-placo-drywall/a-placo-drywall.asp>>. Acesso em: 10 out. 2009.
- SÁENZ, C. *et al.* **Utilización Agroindustrial del Nopal**. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: 2006. 182 p. (Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, n. 162).
- TORRES-ACOSTA, A. A. **Nopal**. [Mensagem de correio eletrônico]. Acesso em: 12 out. 2007.
- TORRES-ACOSTA, A. A.; CANO BARRITA, P. F. J. Las Bondades del Nopal. **Revista Construcción y Tecnología**, México, out. 2007. 5 p.