

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

JULIANE THAÍS GRASSI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMO-ACÚSTICAS DE  
BLOCOS DE GESSO RECICLADO FABRICADOS A PARTIR DE  
GESSO PÓS-CONSUMO - UMA REVISÃO DA LITERATURA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2018

JULIANE THAÍS GRASSI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMO-ACÚSTICAS DE  
BLOCOS DE GESSO RECICLADO FABRICADOS A PARTIR DE  
GESSO PÓS-CONSUMO – UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, do Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA - PR

2018



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMO-ACÚSTICA DE BLOCOS DE GESSO RECICLADO FABRICADOS A PARTIR DE GESSO PÓS-CONSUMO - UMA REVISÃO DA LITERATURA

Por

JULIANE THAÍS GRASSI

Esta monografia foi apresentada em 29 / 06 / 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. André Nagalli  
Orientador

---

Prof. M.Sc. Alexandre Erbs  
Membro Titular

---

Prof. Dr. José Alberto Cerri  
Membro Titular

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que norteia os meus caminhos e me indica os passos a seguir.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e me incentivaram.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Nagalli, pela disponibilidade e atenção, por contribuir prontamente nas soluções de dúvidas e direcionar com objetividade o desenvolvimento da pesquisa.

A todos os professores, funcionários e alunos do CECONS.

E a todos que direta ou indiretamente ajudaram nessa pesquisa.

## RESUMO

GRASSI, Juliane Thaís. Análise das propriedades termo-acústicas de blocos de gesso reciclado fabricados a partir de gesso pós-consumo – uma revisão da literatura. 2018. 60f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

A busca pela viabilidade técnica e econômica da reciclagem de resíduos na cadeia produtiva da construção civil vem atender às novas necessidades do setor de promover crescimento econômico integrado às necessidades sociais e ambientais. O crescente aumento do consumo de gesso carrega consigo o problema da geração de resíduo, onde a falta de pesquisas e o descarte incorreto acaba destinando o resíduo gerado, na maioria das vezes, para aterros ou bota-foras irregulares, sem controle ou estimativa de volume. No presente trabalho, por meio de revisões da literatura foi possível investigar as propriedades termo-acústicas do bloco de gesso reciclado fabricado a partir do gesso pós-consumo, e comparar aos materiais de vedação mais utilizados atualmente. A análise dos resultados mostrou que o material é uma boa opção, na classe de transmitância sonora o bloco de gesso reciclado é 50% melhor que a de bloco de concreto celular e 24% melhor que a de bloco cerâmico, atendendo assim às recomendações mínimas do IPT juntamente com a chapa dupla de gesso com enchimento em lã de vidro. Na análise térmica o material atendeu a todas as recomendações para parede leve, leve refletora e pesada. Isso mostra a viabilidade da reciclagem do gesso, que até então era considerado um material nocivo ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduos da construção civil. Reciclagem de gesso. Bloco de gesso reciclado.

## ABSTRACT

GRASSI, Juliane Thaís. Analysis of the thermo-acoustic properties of recycled gypsum blocks made from post-consumption gypsum - a review of the literature. 2018. 60 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

The quest for the technical and economic viability of waste recycling in the civil construction production chain addresses the new needs of the sector to promote economic growth integrated with social and environmental needs. The growing increase in the consumption of plaster carries with it the problem of waste generation, where the lack of research and the incorrect disposal ends up allocating the waste generated, in most cases, to landfills or irregular boot, without control or estimate of volume . In the present work, through literature reviews, it was possible to investigate the thermo-acoustic properties of the block of recycled gypsum made from post-consumption gypsum, and to compare the most commonly used sealing materials. The analysis of the results showed that the material is a good option. In the sonic transmittance class, the recycled gypsum block is 50% better than that of the cellular concrete block and 24% better than that of the ceramic block, thus meeting the minimum recommendations of the IPT together with the double plasterboard gypsum with glass wool filling. In the thermal analysis the material met all the recommendations for light, light reflective and heavy wall. This shows the feasibility of recycling gypsum, which until then was considered a harmful material to the environment.

**Keywords:** Waste from construction. Recycling of plaster. Block of recycled plaster.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Fluxograma do processo de reciclagem de gesso.....	27
Figura 02 - Reciclagem de gesso.....	28
Figura 03 - Caçamba de gesso chegando à empresa – REC gesso.....	33
Figura 04 - Processo de triagem – REC gesso.....	34
Figura 05 - Produto acabado – REC gesso.....	34
Figura 06 – Bloco de gesso reciclado.....	37
Figura 07 – Zonas Bioclimáticas brasileiras .....	42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Proporção de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) em Curitiba .....	23
Gráfico 02 – Propriedades acústicas dos componentes 2 .....	47
Gráfico 03 – Índice de capacidade de entendimento da voz .....	48
Gráfico 04 – Propriedades térmicas dos materiais x densidade de massa específica .....	48
Gráfico 05 – Análise das variáveis de paredes .....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Classificação dos resíduos da construção civil .....	16
Quadro 02 - Normas ABNT .....	18
Quadro 03 - Caracterização dos resíduos por etapa da obra e provável reaproveitamento .....	20
Quadro 04 - Geração de RCC por região do Brasil .....	21
Quadro 05 – Estratégias bioclimáticas .....	43
Quadro 06 - Recomendações construtivas para as zonas bioclimáticas brasileiras	44
Quadro 07 - Propriedades térmicas paredes e coberturas .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção nacional de gipsita durante o ano de 2009.....	25
Tabela 2 - Consumo setorial nacional da produção de gipsita durante o ano de 2009.....	25
Tabela 3 - Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção .....	38
Tabela 4 - Propriedades acústicas de diversos componentes de paredes .....	40
Tabela 5 - Influência da isolamento acústica – sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno .....	40
Tabela 6 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas.....	41
Tabela 7 - Propriedades térmicas dos materiais.....	42
Tabela 8 - Composições de paredes.....	45
Tabela 9 - Análise das variáveis de paredes .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FS – Fator Solar

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHEA – Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LABEEE – Laboratório de eficiência energética em edificações

MME – Ministério de Minas e Energia

MTR – Manifesto de transporte de resíduos

PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PIB – Produto Interno Bruto

PMC – Prefeitura Municipal de Curitiba

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCC – Resíduos da Construção Civil

RRR – Reduzir, Reutilizar e Reciclar

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SMMA – Secretária Municipal do Meio Ambiente

ZB – Zona Bioclimática

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS .....	11
1.1.1	Objetivo Geral .....	11
1.1.2	Objetivos específicos .....	11
1.2	JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1	LEIS E NORMAS AMBIENTAIS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS VIGENTES NO BRASIL.....	14
2.1.1	CONAMA.....	15
2.1.2	ABNT .....	17
2.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	18
2.3	3R – REDUZIR, REUTILIZAR, RECICLAR .....	20
2.3.1	Reciclagem de resíduos no Brasil.....	22
2.4	O GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	24
2.4.1	Reciclagem de gesso.....	26
2.4.2	Processo de reciclagem de gesso no Brasil.....	27
2.4.3	Pesquisas relacionadas à reciclagem de gesso.....	29
2.5	Blocos de gesso reciclado .....	31
2.5.1	JP Reciclagem de gesso.....	31
2.5.2	REC Gesso – Pinhais.....	33
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
3.1	RESISTÊNCIA DO BLOCO DE GESSO RECICLADO .....	36
3.2	ACÚSTICA .....	39
3.3	TÉRMICA .....	41
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é considerada um dos pilares estratégicos para o desenvolvimento da economia brasileira, sendo responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) do país, cerca de 11% (IBGE, 2016).

O setor da construção civil vem, ao longo do tempo, aprimorando as suas técnicas construtivas e caminhando com o avanço tecnológico que se espalha pelo mundo, porém, é o setor que mais gera resíduos e poluentes. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, cerca de 35% de todos os materiais extraídos da natureza anualmente.

Os resíduos de construção e demolição possuem características bem peculiares, podendo variar em função do local da geração, da tecnologia e do material aplicado na construção, da qualidade do projeto e da mão de obra utilizada. A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma fonte alternativa e sustentável seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos.

Entre os diferentes segmentos da construção civil, o gesso apresenta um grande potencial de contribuição para a sustentabilidade da indústria da construção, devido ao baixo consumo energético do processo de produção e da viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (PINHEIRO, 2011).

As características do resíduo de gesso exigem cuidados especiais na sua disposição final, devido ao seu potencial tóxico que leva a contaminação do solo e do lençol freático, bem como a liberação de gases inflamáveis. Estima-se uma perda de 45% do gesso, desde o transporte até a sua utilização na obra (JOHN, ÂNGULO, CINCOTTO, 2002; PINHEIRO, 2011).

A experiência internacional mostra que a reciclagem de gesso é viável, sendo adotada nos EUA e Europa. No Brasil, porém, ela é praticamente inexistente, algumas empresas e determinadas pesquisas científicas estão sendo precursoras nesse quesito e mostrando a viabilidade da técnica. A fabricação de blocos recicláveis feitos a partir do resíduo do gesso se mostra viável e extremamente

sustentável já que o resíduo não é jogado em locais irregulares, contribuindo para o ciclo de vida da edificação, pois o bloco pode ser novamente reciclado, evitando assim a contaminação do meio ambiente e a extração de recursos naturais para produção de novos blocos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar, por meio de pesquisas da literatura, as propriedades termo-acústicas de blocos de gesso reciclado fabricados a partir de gesso pós-consumo.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar a viabilidade do aproveitamento do resíduo de gesso como matéria prima para a fabricação de um bloco de gesso reciclado, em diferentes ciclos de reciclagem;
- Adquirir na literatura técnica as propriedades mecânicas do bloco de gesso reciclado em relação às normas técnicas vigentes para o gesso comercial;
- Verificar as propriedades termo-acústicas do bloco de gesso reciclado e comparar com os materiais de vedação mais utilizados no Brasil.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil é uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, porém, é responsável por diversos impactos ambientais (COPARI, 2016).

Segundo Ângulo (2015) para cada metro quadrado construído, em uma obra residencial ou comercial que utilize métodos convencionais de construção, é gerado, em média, entre 0,1 e 0,15 metros cúbicos de resíduos.

Destaca-se aqui a necessidade da reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 48% da massa dos resíduos sólidos urbanos em Curitiba (NAGALLI, 2014; SMMA, 2016).

O segmento gesseiro nacional encontra-se em expansão, o que se deve principalmente a disseminação de sistemas construtivos alternativos, ao baixo custo do gesso e ao alto teor de pureza das jazidas de gipsita nacional (PINHEIRO, 2011).

Segundo (PINHEIRO, 2011), o volume de resíduos de gesso gerado é tão grande que permite uma reciclagem em nível industrial e pode voltar a ser integrado na cadeia produtiva da construção. Se o resíduo for devidamente gerenciado, pode minimizar o consumo de gipsita em 32.700 toneladas por ano. Por isso a necessidade de uma ação urgente no gerenciamento do resíduo gerado no segmento gesseiro, quer pelo impacto ambiental causado diretamente ou pela necessidade de adaptação do setor ao modelo de desenvolvimento sustentável.

Paralelamente à elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos, é necessário o desenvolvimento de pesquisas que avaliem o resíduo e o material resultante dessa reciclagem, para aplicação na própria cadeia produtiva do gesso.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

O conceito de desenvolvimento sustentável pode ser definido como o desenvolvimento da humanidade em harmonia com as limitações ecológicas do planeta, de forma a preservar para as futuras gerações, ou seja, o desenvolvimento e a conservação devem caminhar juntos, alterando assim o padrão tradicional de crescimento econômico sem prejudicar o desenvolvimento e o meio ambiente. (ASSEMBLÉIA GERAL DAS NAÇÕES UNIDAS, 1992; DEGANI, 2003; SOUZA *et al.*, 2014).

Segundo o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica – IDHEA, para uma obra ser considerada sustentável, ela deve causar o menor impacto sobre o meio ambiente e a saúde de seus ocupantes. Atualmente vem-se buscando seguir as ideias do desenvolvimento sustentável nas construções, já que o setor é líder em questão de consumo de recursos naturais, individualmente consome de 15 a 50% de todos os recursos extraídos da natureza (JOHN; AGOPYAN, 2000).

As diversas etapas de uma construção, desde a extração da matéria-prima, produção de materiais, construção, utilização e demolição, interferem negativamente de alguma maneira no ambiente. Essa influência pode ser nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; na saúde, a segurança e o bem estar da população; nas atividades sociais e econômicas e na qualidade dos recursos naturais (JUNIOR *et al.*, 2013).

A partir da Agenda 21, em 1992, todos os países que participaram do acordo para o desenvolvimento sustentável assumiram o compromisso de elaborar e implementar sua própria Agenda Nacional. Assim, entre os anos de 1996 e 2002 o Ministério do Meio Ambiente, pela comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e pela Agenda 21 Nacional (CPDS) elaboraram a Agenda 21 brasileira. Esta agenda propõe a aplicação progressiva dos conhecimentos científicos e tecnológicos disponíveis a todos os agentes dos mais variados setores econômicos, em favor do desenvolvimento sustentável (MMA, 2000; DEGANI, 2003). A Agenda 21 foi elaborada na Eco-92 em consenso entre governos e instituições civis de 179 países, sendo composta por 48 capítulos, dentre esses 13 citam o setor da construção civil.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a Agenda 21 brasileira considera as seguintes ações como essenciais para a obtenção da construção sustentável: melhoria da qualidade do ar interno; avaliação ambiental de edifícios e de produtos com base em seu ciclo de vida; seleção de materiais ambientalmente saudáveis; redução de desperdício e gestão de resíduos; reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) e aumento do uso de reciclados como materiais de construção; uso racional da água; uso racional da energia e aumento da eficiência energética; demanda por tecnologias de conservação de energia; aumento da durabilidade e planejamento da manutenção; melhoria da qualidade da construção. COSTA (2009) afirma que é necessário reduzir o desperdício e aplicar uma gestão adequada dos resíduos que são produzidos, somente dessa forma, é possível atingir a sustentabilidade.

## 2.1 LEIS E NORMAS AMBIENTAIS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS VIGENTES NO BRASIL

No Brasil, a legislação ambiental começou a ter mais destaque no início da década de 1980, quando foi criada a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), por meio da Lei 6.938 de 1981. No Artigo 6º é constituído o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e, no Artigo 7º, é criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), sendo ambos regulamentados pelo decreto nº 99.274 de 6 de junho de 1990. Em 1992, criou-se o Ministério do Meio Ambiente, sendo este o órgão responsável pelo planejamento, coordenação, supervisão e controle das ações relativas ao meio ambiente e aos recursos hídricos, bem como a formulação e execução da Política Nacional do Meio Ambiente. Por meio da Resolução CONAMA, a área de resíduos de construção civil, através da Resolução 307 de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos. Após essa, através da Lei nº 12.305/2010, em agosto de 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que estabeleceu um novo marco regulatório para a sociedade brasileira ao definir um regime de responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos sobre o ciclo de vida de diversos produtos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2015), a PNRS contém ferramentas importantes para combater os problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. A PNRS prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, através da prática de hábitos de consumo sustentável, da reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos e da destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. Além disso, contribui para a eliminação dos lixões, impõe que sejam elaborados seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e inclui catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa quando na Coleta Seletiva.

### 2.1.1 CONAMA

Em 2002, foi homologada uma resolução de âmbito nacional que trata de maneira específica os RCC, a Resolução CONAMA Nº 307/02 de 5 de julho de 2002, elas estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, para que sejam disciplinadas as ações necessárias, de forma a minimizar os impactos ambientais. Posteriormente essa Resolução sofreu quatro alterações: Resolução nº 348/2004, nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), pela sua Resolução nº 307 e alterações posteriores, propõe a seguinte definição para resíduos de construção civil: “Art. 2º Inciso I: Resíduos Sólidos da Construção Civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”. Ainda segundo CONAMA, outra definição importante é de Agregado Reciclado conforme a mesma resolução: “Art. 2º Inciso IV – Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”.

### 2.1.1.1 Classificação dos resíduos

Em seu Art. 3º, e posteriormente alterado, o CONAMA propõe a classificação dos resíduos da construção civil conforme Quadro 01.

CLASSES	DESCRIÇÃO
A	a) São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio, etc.) produzidos nos canteiros de obras.
B	São resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens de tintas imobiliárias e gesso;
C	São resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais a saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

**Quadro 01 - Classificação dos resíduos da construção civil**

Fonte: CONAMA

No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulos de resíduos de tinta líquida, essas embalagens deveram ser submetidas ao sistema de logística reversa, que contemple a destinação ambientalmente adequada.

Entre as medidas dispostas na Resolução CONAMA pode-se destacar aquela que considera como responsabilidade do gerador a coleta, o transporte e a disposição final adequada dos RCC. Ainda segundo a Resolução, os resíduos de construção e demolição não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos ou em áreas protegidas por lei. Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não

geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. As diretrizes especificadas pela Resolução CONAMA N° 307/02, que torna obrigatória a elaboração de um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) para todos os Municípios e o Distrito Federal, estimularam o surgimento de Leis e Decretos Municipais, para que todas as exigências contidas na Resolução fossem cumpridas.

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as seguintes etapas: caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação. Após a triagem, os resíduos deverão ser destinados da seguinte forma: Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterros de resíduos classe A de preservação de material para usos futuros; Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas; Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Curitiba foi um dos primeiros municípios a implantarem o PGRCC e serviu de base para outros municípios, esse plano foi desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Curitiba em conjunto com os diferentes setores diretamente envolvidos com a questão dos RCC e entrou em vigor no início de 2005 (TOZZI, 2006).

De acordo com COSTA (2009), em algumas cidades os serviços da prefeitura responsabilizam-se pela coleta de até 50 kg, é o caso de Curitiba, onde a Prefeitura Municipal faz a coleta dos resíduos dos pequenos geradores, pessoas físicas ou jurídicas que geram a quantidade máxima de 2,5m<sup>3</sup> de RCC, num intervalo não inferior a dois meses. (CURITIBA, 2017).

### 2.1.2 ABNT

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) editou, em 2004, uma série de normas relativas aos resíduos da construção civil, que vem de encontro às

diretrizes propostas pela Resolução CONAMA. De maneira geral estas normas tratam da disposição dos RCC em áreas de transbordo, aterros, áreas de reciclagem e o seu uso como agregados reciclados na construção civil, conforme Quadro 02.

NORMAS	
<b>NBR 15.112/2004</b>	Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação (ABNT, 2004a).
<b>NBR 15.113/2004</b>	Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros – Diretrizes para projetos, implantação e operação (ABNT, 2004b).
<b>NBR 15.114/2004</b>	Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação (ABNT, 2004c).
<b>NBR 15.115/2004</b>	Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos (ABNT, 2004d).
<b>NBR 15.116/2004</b>	Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos (ABNT, 2004e).

**Quadro 02 - Normas ABNT**

Fonte: ABNT

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Grande parte dos resíduos é originada a partir da cadeia produtiva da construção civil. Dessa forma esses resíduos, muitas vezes, possuem um descarte inadequado, comprometendo a drenagem, o saneamento urbano e o tráfego nas vias, além de propiciar a multiplicação de vetores de doenças e degradação de áreas urbanas, o que afeta a qualidade de vida da sociedade como um todo. Nas cidades brasileiras de médio e grande porte, os resíduos advindos de construções e demolições representam de 40 a 70% do volume total dos resíduos sólidos urbanos (ALMEIDA *et al.*, 2015). Como forma de buscar uma resposta às novas leis ambientais, à maior exigência dos consumidores e à necessidade de se reduzir os custos, as empresas de construção estão sendo impulsionadas a se atentar mais a este processo em seus projetos (ALMEIDA *et al.*, 2015; CUNHA, 2012).

Segundo Luchezzi e Terence (2013), é de extrema importância que haja um planejamento sustentável da obra e da gestão de resíduos na construção que exista um uso racional dos materiais, assim como o incentivo para a separação dos resíduos. Segundo Porto e Silva (2010), os RCCs são gerados em três fases: fase de construção, fase de manutenção ou reforma e fase de demolição. Durante a etapa de construção, parte das perdas é absorvida nas construções sob a forma de outros componentes, virando resíduo propriamente dito (JOHN e AGOPYAN, 2000). É na fase de execução do projeto de construção que se geram grande parte dos resíduos. Na fase de acabamento que se observa uma maior diversidade de resíduos. No entanto, essa fase apresenta um menor volume em comparação com as demais etapas construtivas (DANTAS, 2011). No Quadro 03 é apresentada a caracterização dos resíduos por etapa da obra e o seu provável reaproveitamento.

A reutilização de materiais necessita estar presente no projeto de construção desde sua concepção, orientando o planejamento e posteriormente a obra. O reaproveitamento dos materiais restantes dentro do próprio canteiro de obras é a melhor maneira de fazer com que itens que sejam descartados, com um determinado custo financeiro e impacto ambiental, retornem em forma de insumos e sejam reinseridos na cadeia.

<b>FASES DA OBRA</b>	<b>TIPOS DE RESÍDUOS POSSIVELMENTE GERADOS</b>	<b>POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO NO CANTEIRO</b>	<b>POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO FORA DO CANTEIRO</b>
<b>Limpeza do terreno</b>	Solos	Reaterros	Aterros
	Rochas, vegetação, galhos	—	—
<b>Montagem do canteiro</b>	Blocos cerâmicos, concreto (areia; brita)	Base de piso (enchimentos)	Fabricação de agregados
	Madeiras	Formas/ Escoras/ Travamentos (gravatas)	Lenha
<b>Fundações</b>	Solos	Reaterros	Aterros
	Rochas	Jardinagem, muros de arrimo	—

	Concreto (areia, brita)	Base de piso (enchimentos)	Fabricação de agregados
<b>Superestrutura</b>	Madeira	Cercas, portões	Lenha
	Sucata de ferro, formas plásticas	Reforço para contrapiso	Reciclagem
<b>Alvenaria</b>	Blocos cerâmicos, blocos de concreto, argamassa	Base de piso, enchimento, argamassa	Fabricação de agregados
	Papel, plástico	—	Reciclagem
<b>Instalações Hidro-sanitárias</b>	Blocos cerâmicos	Base de piso (enchimentos)	Fabricação de agregados
	Pvc, ppr	—	Reciclagem
<b>Instalações Elétricas</b>	Blocos cerâmicos	Base de piso, enchimento	Fabricação de agregados
	Conduítes, mangueira, fio de cobre	—	Reciclagem
<b>Reboco interno/ externo</b>	Argamassa	Argamassa	Fabricação de agregados
<b>Revestimentos</b>	Pisos e azulejos cerâmicos	—	Fabricação de agregados
	Piso laminado de madeira, papel, papelão, plástico	—	Reciclagem
<b>Forro de gesso</b>	Placas de gesso acartonado	Readequação em áreas comuns	—
<b>Pinturas</b>	Tintas, seladoras, vernizes, texturas	—	Reciclagem
<b>Coberturas</b>	Madeiras	—	Lenha
	Cacos de telhas de fibrocimento	—	—

**Quadro 03 - Caracterização dos resíduos por etapa da obra e provável reaproveitamento**

Fonte: Lima 2009

### 2.3 3R – REDUZIR, REUTILIZAR, RECICLAR

Os aspectos ambientais referentes aos RCC tem gerado bastante interesse nos últimos anos, tanto no Brasil como no exterior. Mesmo sendo considerados inservíveis por grande parcela da sociedade, os resíduos possuem, aproximadamente, 40% de materiais recicláveis. Diversos estudos demonstram que

a massa de resíduos de construção gerada nas cidades é superior à massa de resíduos domiciliares. O surgimento de leis, normas, resoluções, decretos e planos tem como objetivo valorizar os RCC e incentivar o seu reaproveitamento (SOUZA *et al.*, 2014).

O Estatuto das Cidades determinou diretrizes para o desenvolvimento sustentável por meio de um sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (SMMA, 2017). Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo. Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.

O reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos da construção têm como objetivo reduzir os impactos ambientais causados por este tipo de resíduo. Da mesma forma, ações que tenham a finalidade de reduzir o volume de geração dos RCC no canteiro da obra, também devem contribuir para diminuir os riscos ao meio ambiente (SOUZA *et al.*, 2013). No Quadro 04 observamos que a região com mais RCC coletado é a região Sudeste, porém, o Centro Oeste é a região com maior índice por habitante.

<b>REGIÃO DO BRASIL</b>	<b>RCC COLETADO (t/dia)</b>	<b>ÍNDICE (kg/hab/dia)</b>
<b>Norte</b>	4.736	0,271
<b>Nordeste</b>	24.310	0,43
<b>Centro oeste</b>	13.916	0,901
<b>Sudeste</b>	64.097	0,748
<b>Sul</b>	16.662	0,57

**Quadro 04 - Geração de RCC por região do Brasil**

**Fonte: Adaptado de Abrelpe 2016 (2018)**

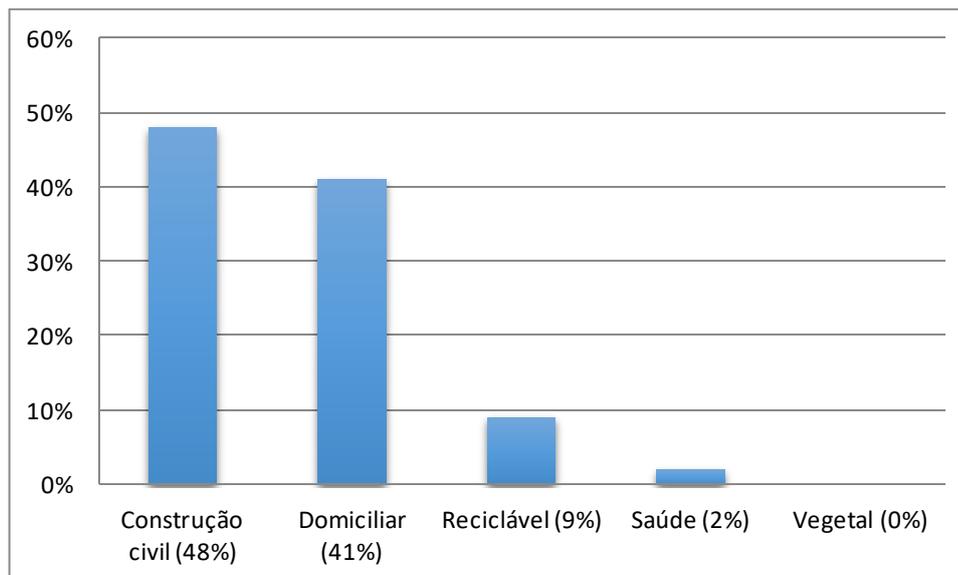
### 2.3.1 Reciclagem de resíduos no Brasil

A reciclagem de RCC, iniciada na Europa após a segunda guerra mundial, encontra-se no Brasil muito atrasada, apesar da escassez de agregados e área de aterros nas grandes regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90%, como é o caso da Holanda (ABRELPE, 2016). A variação da porcentagem da reciclagem dos RCC em diversos países é função da disponibilidade de recursos naturais, distância de transporte entre reciclados e materiais naturais, situação econômica e tecnológica do país e densidade populacional (ABRELPE, 2016). Embora já se observe no mercado brasileiro a movimentação de empresas interessadas em explorar o negócio de reciclagem de RCC e não apenas o negócio de transporte, as experiências brasileiras estão limitadas em ações dos municípios, que buscam reduzir os custos e o impacto ambiental negativo da deposição da enorme massa de entulho no meio urbano (ÂNGULO, 2015).

As soluções normalmente empregadas para esse problema foram os aterros ou os lixões, que possuem vários inconvenientes ambientais e se tornam cada vez mais caros pela escassez de espaço. Além disso, a simples disposição do entulho desperdiça um material que pode ter um destino mais nobre com sua reutilização e reciclagem (JOHN, 2000).

Sabe-se que na construção civil tradicional sobra muito entulho que é perdido devido ao sistema construtivo, grande parte desse material poderia ser reaproveitado naturalmente, porém não é o que acontece. Esta é uma característica da construção civil convencional que se utiliza de técnicas em geral muito antiquadas. Na construção convencional onde se constroem todos os elementos no local, desde fundações, pilares, vigas, lajes, paredes e revestimentos entre outros, o desperdício é maior, chegando em 30% do material bruto aplicado na obra e em revestimentos até 10%, o que são valores muito altos (BOURSCHEID, 2010).

Em Curitiba cerca de 48% dos resíduos sólidos são provenientes da construção civil, o que significa em torno de 3.000m<sup>2</sup>/dia (uma caçamba de entulho tem aproximadamente 5m<sup>3</sup>, portanto o equivalente a 600 caçambas/dia), dos quais, segundo a prefeitura, 60% são oriundos de obras informais (NAGALLI, 2014). Como pode ser observado no gráfico 01.



**Gráfico 01 – Proporção de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) em Curitiba**

Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente Curitiba (SMMA) 2016

A reciclagem pode transformar as montanhas desordenadas de resíduos da construção em matérias-primas, as quais poderão ser utilizadas em obras de edificações e obras de pavimentação, entre outros. As usinas de reciclagem surgem como uma ferramenta de gerenciamento para amenizar os diversos impactos ambientais negativos associados à disposição final dos RCC's (PEREIRA, 2012).

### **2.3.1.1 Processo de reciclagem**

O processamento dos resíduos de construção e demolição consiste nas seguintes etapas: seleção, pré-moagem, umidificação, moagem, peneiramento, lavagem, estocagem, dosagem, mistura, produção (BOURSCHEID, 2010).

Na etapa de seleção são retirados os materiais que não interessam a produção final como madeiras, papelões, aço, etc. ficando apenas os resíduos de tijolos, argamassa, cerâmicas e concreto. Na pré-moagem os resíduos são reduzidos a um tamanho que permita a trituração pelo moedor, este tamanho depende da capacidade e tipo do moedor disponível. Segue-se então a moagem propriamente dita e a seguir o peneiramento. Conforme a granulometria teremos diferentes utilizações. A umidificação dos resíduos é necessária para reduzir o pó proveniente da moagem, para que a atividade não se torne insalubre e para reduzir a liberação

de pó na estocagem e manuseio do agregado. A lavagem é opcional, mas se utilizada reduzirá significavelmente o teor de material pulverulento, e por consequência aumentara o rendimento da pasta e resistência mecânica final do produto. A estocagem deve ser protegida das intempéries para não haver absorção de água pelo agregado produzido. A dosagem devera ser feita considerando a absorção de água pelo agregado, que é alta. Para a produção de blocos a umidade da massa é um fator crítico, como a absorção varia muito, qualquer variação a mais torna a massa mais mole e fica difícil desenformar o bloco (BOURSCHEID, 2010).

Os materiais de RCC, são de composição muito heterogênea, como forma de melhorar o desempenho dos materiais produzidos pelos agregados recomenda-se a lavagem dos agregados destinados à produção de blocos, pois a redução do pó é significativa, e aumenta consideravelmente a resistência. De qualquer forma pode-se dizer que a seleção do material antes da moagem é o fator fundamental para a qualidade do produto final, evitando-se principalmente contaminantes e deixando o agregado o mais puro possível (BOURSCHEID, 2010).

## 2.4 O GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O uso do gesso na construção civil brasileira vem crescendo gradativamente ao longo dos últimos anos. Ganhou impulso a partir de meados da década de 1990, com a introdução de chapas de gesso acartonado nas vedações internas de todos os tipos de edificações no país (DRYWALL, 2017; DUARTE, 2014). Todas essas utilizações geram resíduos e a gestão destes, da mesma forma que ocorre com outros materiais empregados nos canteiros de obras, passou a demandar atenção cada vez maior dos construtores, em razão das rigorosas exigências da legislação ambiental brasileira (DRYWALL, 2017).

A grande quantidade de matéria-prima presente na natureza e suas características como isolante térmico e acústico fazem do gesso um material relativamente barato e com uso bastante difundido na indústria da construção civil. Entretanto, estima-se que o índice de desperdício seja equivalente a 45% de todo o gesso utilizado (SIKOSKI, 2013).

Em paralelo ao crescimento da produção e do uso do gesso na construção civil, o conceito do desenvolvimento sustentável tomou corpo e sabendo-se que, a construção civil é uma das atividades que mais causam impacto ao meio ambiente, acentuou-se a discussão sobre os aspectos sociais, econômicos e ambientais dos resíduos gerados nesta atividade. Essa geração de resíduo causa problemas econômicos e ambientais, pelo custo elevado para sua correta destinação (DUARTE, 2014).

Segundo Thiessen (2010), o mineral gipsita que dá origem ao gesso é um sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), geralmente é encontrado na forma de material compacto, de granulação fina ou média, sendo esta a variedade de maior importância econômica. Ocorre em diversas regiões pelo mundo, e possui um amplo e diversificado campo de utilizações. O interesse maior em sua utilização se deve ao fato de possuir como característica peculiar a facilidade de desidratação e re-hidratação.

De acordo com o Ministério de Minas de Energia as reservas de gipsita no Brasil se concentram na região nordeste, que fornece mais de 90% de todo o gesso produzido no país. Mais precisamente esse total é produzido pelo estado de Pernambuco sozinho, na região do chamado sertão do Araripe, a cerca de 680 quilômetros de distância de Recife, como ilustrado na Tabela 1 e 2.

**Tabela 1 - Produção nacional de gipsita durante o ano de 2009**

<b>Estado</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Produção (%)</b>
Pernambuco	2.178.095	92,75
Maranhão	142.639	6,08
Amazonas	27.656	1,18

**Fonte: MME – Ministério de Minas de Energia (2018)**

**Tabela 2 - Consumo setorial nacional da produção de gipsita durante o ano de 2009**

<b>Setor</b>	<b>Consumo (%)</b>
Calcinação - produção de gesso	58
Cimenteiro - produção de cimento	29
Agrícola	13

**Fonte: MME – Ministério de Minas e Energia (2018)**

Do mesmo modo, a deposição do resíduo em aterros sanitários comuns não é recomendada. Neste caso, além de tóxico, a dissolução dos componentes do gesso pode torná-lo inflamável e a incineração do gesso também pode produzir o dióxido de enxofre, um gás tóxico. As possibilidades de minimizar o impacto ambiental, portanto, são a redução da geração do resíduo, a reutilização e a reciclagem (PINHEIRO, 2011).

#### 2.4.1 Reciclagem de gesso

De acordo com Machado (2013) na Europa, a reciclagem de gesso começou na Dinamarca e rapidamente se espalhou pelo continente onde se tornou obrigatória. Lá a coleta do gesso conta com contêineres desenvolvidos especialmente para este tipo de material, contribuindo para a correta separação, esses containers são fornecidos pela própria empresa de reciclagem. Os resíduos são transportados até um local apropriado dentro dos polos produtores onde acontece uma nova triagem, depois de separados eles seguem até a usina de reciclagem. Um veículo contendo uma central automática de triagem faz a separação dos resíduos, a qualidade é tão grande que esse gesso pode ser 100% reciclado. O gesso reciclado tem um grau de pureza muito grande e pode ser introduzido na produção de um novo material sem alterar em nada suas propriedades físico-químicas (New West Gypsum Recycling).

Esse processo foi desenvolvido pela Dinamarca em 2001 e é amplamente utilizada no país. Desde 2003 toda a Escandinávia adotou o sistema, assim como em 2004 a Holanda. A partir de 2005, vários outros países adotaram esse sistema como Inglaterra, Irlanda e Estados Unidos.

No Brasil essa preocupação com a reciclagem do resíduo de gesso é mais recente, estudos provam que quanto menor o índice de contaminação, melhor o aproveitamento na reciclagem e o local de armazenamento dos resíduos de gesso na obra deve ser seco. Após sua separação de outros resíduos da construção civil, os resíduos do gesso após a reciclagem readquirem as características químicas similares a gipsita, minério do qual se extrai o gesso. Desse modo, o material limpo pode ser utilizado novamente na cadeia produtiva (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO

DRYWALL, 2017). A Figura 01 ilustra como é o processo de reciclagem de gesso para a indústria cimenteira, somente com moagem, sem calcinação.



**Figura 01 – Fluxograma do processo de reciclagem de gesso**

Fonte: Associação Brasileira do Drywall, 2017.

#### 2.4.2 Processo de reciclagem de gesso no Brasil

Para que o gesso volte ao seu formato comercial, a reciclagem deve ser feita a partir da moagem e calcinação. No processo de moagem o resíduo passa por um triturador para que o gesso fique de forma a atender à especificação granulométrica de gesso fino e posteriormente armazenado em recipientes fechados em ambiente de laboratório, aguardando a calcinação (PENSAMENTO VERDE, 2014). Como pode ser observado na Figura 02.



**Figura 02 - Reciclagem de gesso**

**Fonte: Sulgesso, 2017.**

Quando o material é submetido somente à moagem, ele pode ser utilizado como fertilizante e destinado para a agricultura, ele é utilizado como corretivo da acidez do solo, na melhoria das características deste e na indústria cimenteira, no qual o gesso é um ingrediente útil e necessário, que atua como retardante de pega do cimento. Quando submetido à calcinação, o material se transforma no gesso reciclado, e está pronto para retornar aos processos produtivos (MACHADO, 2013). Como visto na Figura 01.

Segundo Pinheiro (2011), no processo de calcinação, o resíduo de gesso moído é encaminhado para uma estufa de secagem, sem circulação de ar, com temperatura regulável de 50 °C a 350 °C, com dispositivo na parte superior para adaptação do termômetro digital, que permite a aferição da temperatura de calcinação. No processo é feita a distribuição do resíduo de gesso moído em bandejas metálicas, em camadas com espessura média de 1 cm e controle de massa. Após a calcinação o material é resfriado à temperatura ambiente, homogeneizado e armazenado em recipientes fechados.

A calcinação é a fase que fundamenta o termo (gesso sustentável), pois apresenta características que viabilizam o retorno do resíduo para o início da cadeia produtiva, minimizando a utilização do recurso natural não renovável no planeta (MACHADO, 2013).

A perda de trabalhabilidade do material relatado em algumas bibliografias está relacionada à distribuição do tamanho das partículas, refletida na redução da massa unitária gerada, neste sentido, é sugerida a inserção de uma etapa de fracionamento do resíduo moído, entre a moagem e a calcinação, que garanta a distribuição granulométrica ideal para a calcinação (PINHEIRO, 2011).

#### 2.4.3 Pesquisas relacionadas à reciclagem de gesso

No Brasil, os estudos relacionados aos processos de reciclagem dos resíduos de gesso encontram-se na fase inicial, com adoção de processos simples, constituídos das etapas de moagem e/ou moagem associada à calcinação, com caracterização e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos materiais reciclados (PINHEIRO, 2011).

Algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas nesta área desde 2003. Os resíduos em análise nessas pesquisas são provenientes de pastas de revestimento, placas de gesso e gesso acartonado (ERBS *et al.*) e elementos decorativos. Os processos adotados para a reciclagem, as propriedades analisadas e a aplicação do resíduo são específicas de cada estudo. Dessa forma, as propriedades do gesso reciclado são apresentadas considerando o resíduo analisado e as condições específicas de cada pesquisa.

Segundo Pinheiro (2011), o resíduo de gesso é constituído basicamente de gipsita e uma parcela de impureza. Esse é um fator limitante para a reciclagem do resíduo, o limite aceitável de contaminantes nos processos de reciclagem é de 3%. Quando controladas as impurezas e os contaminantes, é possível utilizar o resíduo de gesso de construção como matéria-prima (semelhante às gipsitas residuais) em processos de reciclagem simples, constituídos de etapas de moagem e/ou de moagem associada à calcinação (PINHEIRO, 2011).

De acordo com Apolinário (2015), o processo de reciclagem do gesso é mais complexo que o processo de produção a partir da gipsita, pois exige além de energia, mais mão de obra e é necessário um sistema de separação do resíduo de gesso. As temperaturas de calcinação mais elevadas e maiores tempos de permanência produzem gesso com maiores tempos de pega, que podem ser

elevadas ainda mais se o gesso sofrer uma segunda calcinação. A granulometria também influencia nos tempos de pega, serão menores para gessos com granulometria muito fina, em razão do aumento da superfície específica para hidratação.

Savi (2012) descreve que as pastas de gesso reciclado apresentam maior trabalhabilidade do que as pastas de gesso comercial. As misturas de água e gesso comercial apresentam um aspecto líquido, enquanto as misturas de água e gesso reciclado apresentam uma consistência pastosa. Os estudos realizados indicam que o gesso é tecnicamente reciclável e que é possível a utilização na produção de placas de forro. As placas produzidas com gesso reciclado apresentaram aspectos de cor e resistência física e mecânica compatível com a obtida com o gesso comercial. As características físicas e mecânicas do gesso reciclado, de forma geral, são compatíveis ou superiores às do gesso comercial.

A metodologia utilizada por Erbs (2015) para reciclagem do gesso confirmou que após a re-hidratação foi possível moldar corpos de prova sólidos somente utilizando resíduo de gesso, em todos os 5 ciclos de reciclagem. Assim, foi comprovada a reversibilidade das reações, sendo possível hidratar e calcinar o gesso por cinco ciclos. A utilização de misturas de gesso comum incrementou os valores de resistência à tração na flexão em todos os ciclos. Atribui-se o aumento de resistência ao melhor entrelaçamento dos cristais e a redução de vazios, uma vez que os cristais de gesso comum são mais alongados, enquanto os de gesso reciclado são ortorrômbicos e mais curtos, preenchendo assim os vazios.

Iwasaki e Camarini (2011) realizaram estudos com gesso reciclado e concluiu que as pastas com fator água/gesso de 0,70 e 0,80, quando comparadas com pastas produzidas com gesso comercial, apresentaram perdas de plasticidade, redução no tempo de pega, aumento de porosidade e permeabilidade e menor capacidade de adensamento, no entanto, apresentaram maiores valores de resistência à tração, compressão e dureza superficial. Para Melo (2016), a composição química do gesso obtido dos resíduos aproxima-se muito daquela do gesso vindo da calcinação da gipsita.

Segundo trabalho orientado pela professora Gladis Camarini em 2004, as propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado são similares às propriedades

do gesso comercial. Dos resultados obtidos observa-se que o desempenho do gesso reciclado superou o do gesso comercial em aproximadamente 10%. Assim, vislumbra-se o emprego do gesso reciclado nas obras, podendo ser aplicado nos mesmos moldes do gesso comercial.

## 2.5 BLOCOS DE GESSO RECICLADO

Em São Carlos-SP uma empresa recicla 70 toneladas de gesso por mês, mas tem a capacidade para trabalhar com até 500 toneladas, para isso são cobrados R\$80,00 por tonelada. O material advindo dessa reciclagem pode ser utilizado para a fabricação de blocos estruturais feitos 100% de gesso reciclável e utilizados na construção civil para construção de prédios de até quatro pavimentos.

Ainda em São Carlos-SP um novo bloco está sendo idealizado nos laboratórios do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFSC-USP), esse bloco é equivalente ao gesso mineral, encontrado na forma natural, em minas de gipsita. Ele será usado na substituição aos blocos convencionais de concreto e cerâmica. O novo bloco foi licenciado pela Agência USP de Inovação para três empresas - Inovamat e KAJ, de São Carlos, no interior paulista, e Mega Block, de Uberaba, em Minas Gerais -, que estão fazendo as adequações finais e o aperfeiçoamento necessário para colocá-lo no mercado.

Em Bauru-SP, alunos do curso técnico de edificações do SENAI criaram o bloco de gesso reciclado e isopor. Segundo pesquisas esse bloco é capaz de compor paredes resistentes, além disso, os tijolos não propagam chama, ajudam a equilibrar a temperatura ambiente e são mais leves do que os disponíveis no mercado.

### 2.5.1 JP Reciclagem de gesso

A JP reciclagem de gesso é uma empresa localizada em Ribeirão Preto – SP e é a única que possui a patente para a fabricação de blocos de gesso reciclado, maciços ou alveolares.

### **2.5.1.1 Trecho da patente obtida pela JP**

“BLOCO DE GESSO RECICLADO ECOLÓGICO PARA CONSTRUÇÃO DE PAREDES OU DIVISÓRIAS DESTINADAS A CONSTRUÇÃO CIVIL COMPOSTO DE GESSO RECICLADO PROVENIENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL”

A presente patente Nº BR 10 2012 de modelo de utilidade com inovação ecológica tem por objetivo um modelo de bloco de gesso reciclado ecológico para construção de paredes ou divisórias destinados a construção civil composto de gesso reciclado proveniente da construção civil, o bloco de gesso reciclado ecológico pode ser fabricado maciço ou vazado para ser utilizado na construção de paredes ou divisórias, tendo como característica o resíduo do gesso reciclado .

Diversos tipos de blocos são conhecidos no mercado. Entretanto, o bloco de gesso reciclado ecológico aqui descrito, objeto do pedido de patente de modelo de utilidade, tem como diferencial o fato de, em seu resultado final utilizar o gesso reciclado, acarretando uma enorme economia e uma redução expressiva no custo final da obra e tempo de execução da mesma.

O presente modelo de utilidade esta baseada na descoberta do gesso reciclado proveniente da construção civil exclusivamente para fabricação de blocos maciços ou vazados e placa de forro.

O processo de fabricação do bloco de gesso reciclado ecológico compreende as seguintes etapas:

1ª ETAPA: colocar na forma do bloco de gesso reciclado ecológico 8,5 litros de água para 10 kg de gesso reciclado;

2ª ETAPA: com batedor elétrico (tipo haste de bater bolo ) bater por 1 min;

3ª ETAPA: Após bater aguardar de 15 a 17 minutos para desinformar e levar para um secador ou local arejado;

4ª ETAPA: Se for bloco de gesso reciclado ecológico maciço deixar em um secador ou local arejado por 15 dias, se for vazado 10 dias.

Tempo de pega inicial 2 minutos e pega final 7 minutos.

O bloco de gesso reciclado ecológico vazado ou maciço é fabricado em formas de tamanho padrão com espessura de 7,0 cm, até 14 cm. Os vazados apresentam alvéolos,

que diminuem o peso e melhoram o isolamento térmico e acústico das paredes internas e os maciços possibilitam construção de paredes mais altas que o pé direito padrão das construções.

### 2.5.2 REC Gesso – Pinhais-PR

A REC Gesso está situada em Pinhais e oferecem serviços de coleta e processamento de resíduos de gesso, a empresa não fabrica nenhum material com o gesso reciclado, todo o produto é enviado para São Paulo para que lá seja feito um novo material. O processo de triagem é feito em um circuito de 60 metros, para que o gesso chegue ao processo de moagem o mais puro possível. Embora tenha a tecnologia para a fabricação de blocos, a empresa não fabrica, pois ainda não há uma boa aceitação do bloco reciclado em Curitiba e região, quando essa realidade mudar eles mesmos vão produzir o bloco. Nas Figuras 03, 04 e 05 observa-se o resíduo chegando até a empresa, o processo de triagem e posteriormente o produto já acabado.



**Figura 03 - Caçamba de gesso chegando à empresa – REC gesso**

**Fonte: Rec Gesso, 2018.**



**Figura 04 - Processo de triagem – REC gesso**

**Fonte: Rec Gesso, 2018.**



**Figura 05 - Produto acabado – REC gesso**

**Fonte: Rec Gesso, 2018.**

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa se baseia na coleta de informações de artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso (graduação e especialização), dissertações de mestrado e teses de doutorado que constam na base de dados do Portal Scielo, ROCA UTFPR e de outras universidades, produzidos no Brasil, reunidos e divulgados em língua portuguesa.

Como técnica, a pesquisa bibliográfica compreende a leitura, seleção, fichamento e arquivamento dos tópicos de interesse para a pesquisa em pauta, com a finalidade de conhecer as contribuições científicas que se efetuaram sobre determinado assunto, por meio de palavras chaves e até por nome de autores conhecidos e, posteriormente pela leitura dos títulos, seleciona-se aquelas publicações que devem ser avaliadas.

O primeiro passo para a identificação dos estudos consistiu na adoção das palavras chaves: resíduos da construção civil - gesso, reciclagem de gesso e bloco de gesso reciclado. O passo seguinte foi à leitura dos títulos relevantes e posteriormente, a leitura analítica de todos os resumos com a finalidade de identificar a área temática e o referencial teórico metodológico utilizado. Com a seleção finalizada, buscou-se o material, na íntegra, a fim de proceder à leitura e análise dos dados. Para a apresentação dos resultados, utilizou-se a estatística descritiva com a finalidade de buscar maior clareza dos dados obtidos.

No período de 1999 a 2017, foram produzidos 140 trabalhos que tiveram enfoque no tema, sendo 114 para resíduos da construção civil-gesso, 18 para reciclagem de gesso e 8 para bloco de gesso reciclado. Foram produzidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal de Minas Gerais, PUC Campinas, PUC Pernambuco, Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Pernambuco, Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Maringá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Escola de Engenharia de Mauá, Universidade de Campinas e Universidade Federal de Santa Catarina.

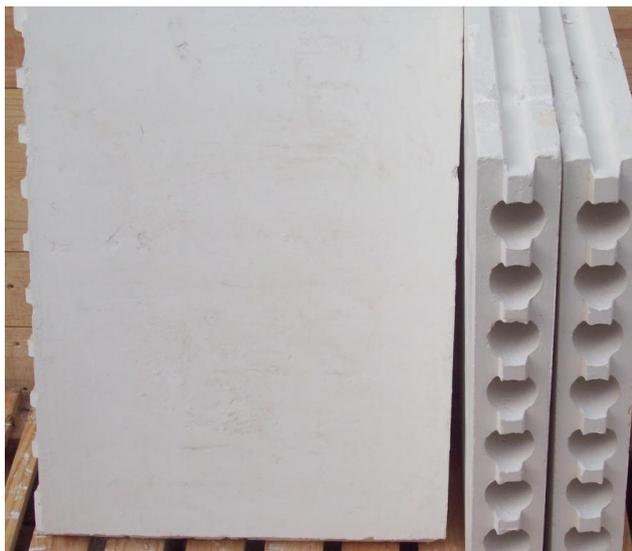
Um processo de pesquisa e análise de um novo produto já comercializado a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado ambientalmente segura, é uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares. Assim, uma metodologia que tenha por objetivo orientar atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como materiais de construção deve reunir e articular os conceitos e ferramentas relevantes ao desenvolvimento do novo produto.

É fundamental um estudo das propriedades dos resíduos, por meio de pesquisas, tais informações darão subsídio para a seleção das possíveis aplicações de acordo com as características físico-químicas dos resíduos, serão analisados os resultados comparando com os outros materiais já consagrados na construção civil brasileira.

Além disso, há a necessidade de se convencer os consumidores finais e profissionais que utilizarão ou indicarão os novos produtos. O uso de documentação e certificados que garantam as vantagens do novo produto, bem como a colaboração de universidades e centros de pesquisa com reputação de excelência no mercado, certamente auxilia no convencimento da qualidade do produto.

### 3.1 RESISTÊNCIA DO BLOCO DE GESSO RECICLADO

Nessa pesquisa está se investigando as propriedades físico-químicas do bloco de gesso reciclado alveolar com 66,6x50cm e 10 cm de espessura, ilustrado na Figura 06, já comercializado e comparando-o com os materiais de vedação mais utilizados atualmente.



**Figura 06 – Bloco de gesso reciclado**

**Fonte: JP Reciclagem de gesso, 2018.**

Os gessos comerciais apresentam granulometria menor que os gessos reciclados, o que afeta a taxa de hidratação, que aumenta com a diminuição do tamanho das partículas, pois há aumento na área específica do material. No entanto, a massa unitária do gesso reciclado é inferior à massa unitária do gesso comercial. A quantidade de água, necessária para que a pasta de gesso adquira consistência adequada à sua utilização, depende da superfície específica, da finura, da forma e da distribuição dos grãos de gesso. Quanto maior a superfície específica, maior a área de reação, mais rápida a dissolução e menor o período de indução do material e, conseqüentemente, mais rápido é o início de pega do material. A relação água/gesso é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e, conseqüentemente, na pega do gesso. Quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior o período de indução e retardamento no início da precipitação dos cristais de dihidrato, pois as distâncias entre as partículas aumentam com o aumento da relação água/gesso e, portanto, os cristais de di-hidrato têm mais espaço para crescer; assim, o tempo de pega aumenta, pois o crescimento dos cristais é mais lento. (PINHEIRO, 2011; ERBS, 2015).

Tabela 3 - Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção

Determinações físicas e mecânicas	Unidade	Limites	Normas
Resistência à compressão	MPa	>8,4	NBR 12.129 (ABNT, 1991 c)
Dureza	MPa	>30,00	NBR 12.129 (ABNT, 1991 c)
Massa unitária	kg/m <sup>3</sup>	>700,00	NBR 12.129 (ABNT, 1991 c)

Fonte: NBR 13.207 (ABNT, 1994)

O bloco de gesso reciclado envolve três etapas principais: triagem, moagem e calcinação. De acordo com Pinheiro (2011) e Farias (2010), pode-se dizer que, as propriedades mecânicas apresentadas em um experimento com gesso calcinado nas temperaturas de 160, 180 e 200°C em um período de 6 horas apresentaram características próximas às do gesso comercial.

Durante os ciclos de reciclagem é possível observar o aumento dos vazios entre os cristais, fator que reduziu os valores obtidos nos ensaios de tração na flexão, compressão axial e dureza superficial (ERBS, 2015). A etapa de triagem que vai dizer se o gesso reciclado vai ter ou não a resistência esperada, o resíduo deve ser muito bem separado e essa pureza que vai garantir que o agregado reciclado não perca em nada para o comercial, quanto mais puro maior a porcentagem de resíduo reciclado incorporado ao bloco.

Outro aspecto analisado foi à questão da viabilidade de reciclagens consecutivas, chegou-se até o 5º ciclo de reciclagem e o material apresentou características similares ao longo de todo o processo (PINHEIRO, 2011; ERBS, 2015).

Para Erbs (2015), a granulometria entre as amostras foi similar, não ocorrendo grande variação ao longo dos ciclos de reciclagem, e o gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado apresenta partículas mais finas do que as de gesso comum reciclado.

### 3.2 ACÚSTICA

A capacidade de acoplamento da energia sonora ao passar por uma mudança de meio, no caso fluído-sólido, ou ar-parede, é inversamente proporcional a diferença de impedância entre os meios. Portanto, materiais com impedância muito diferente em relação ao ar permitirão uma menor capacidade de acoplamento e, por conseguinte, menor transmissão da energia sonora, o que significa maior capacidade de isolamento sonoro (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

Considerando a utilização de componentes duplos, o comportamento da onda sonora através da passagem em cinco meios (ar-sólido-ar-sólido-ar) é uma estratégia interessante nos casos onde se deseja aumentar a capacidade de isolamento sem que isso signifique aumento da densidade. A existência da camada de ar entre duas paredes paralelas aumenta de forma não proporcional o isolamento oferecido, quando comparado com o simples aumento de massa (LIMA; ZENERATO, 2016).

Entretanto, o espaçamento entre as placas necessita ser razoavelmente grande em função do comprimento de onda incidente. Também, a colocação de material absorvente dentro da camada de ar melhora o desempenho do conjunto, pois contribui com a perda de energia através da absorção sonora e pela eliminação de possíveis ressonâncias na cavidade (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

Com relação à espessura das paredes do material sólido, o ideal é que elas tenham espessuras diferentes para evitarem a excitação de uma mesma frequência de ressonância (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

O IPT recomenda que o desempenho interno entre paredes de edificações diferentes seja de no mínimo 50dB, conforme observado na Tabela 4, já a NBR15.575/ 2013 recomenda o mínimo de 45dB, não há recomendações para os valores entre ambientes de uma mesma edificação, mas pode-se presumir que esse valor diminua, o índice de inteligibilidade da fala para o ambiente interno pode ser observado na Tabela 5.

**Tabela 4 - Propriedades acústicas de diversos componentes de paredes (BARING-2000, LOSSO, VIVEIROS-2004, ConstruNormas, Rec Gesso)**

<b>Configuração de parede</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Classe de Transmissão sonora</b>
Bloco de concreto celular revestido com massa corrida	10	34
Gesso acartonado com chapas simples, montantes simples, espaço interno sem enchimento	7,3 (1,25+4,8+1,25)	37
Blocos cerâmicos de vedação, revestido com argamassa	12,5	41
Gesso acartonado, chapas simples, montante simples, espaço interno com enchimento de lã de vidro	10,00 (1,25+7,5+1,25)	49
Gesso acartonado, chapas duplas, espaço interno com enchimento de lã de vidro	14,00 (2,5+9,0+2,5)	62
<b>Bloco de gesso reciclado alveolar</b>	<b>10,00 (3,0+4,0+3,0)</b>	<b>51</b>

Fonte: Adaptado pelo autor <sup>1</sup>

Usando como base o valor do IPT, por ser o mais restritivo. Os valores de classe de transmissão sonora apresentadas na Tabela 4 mostram que uma parede de bloco de concreto celular com 10 cm tem um desempenho de 34 contra 41 de uma parede de alvenaria com 12,5 cm. Uma parede feita com o bloco de gesso alveolar reciclado tem um desempenho de 51, o que atende a recomendação do IPT, perdendo apenas em desempenho para uma parede de gesso acartonado com chapas duplas e enchimento com lã de vidro.

**Tabela 5 - Influência da isolamento acústica – sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno (ABNT-2000, IPT, LOSSO, VIVEIROS-2004)**

<b>Inteligibilidade/ capacidade de entendimento do que se está falando em voz alta no recinto adjacente</b>	<b>Isolamento sonoro dB</b>
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45,0
Não audível	>50

Fonte: Adaptado da *Association of Australian Acoustical Consultants, 2010*

<sup>1</sup> Tabelas sem indicação de fonte foram adaptadas pelo autor.

**Tabela 6 - Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas (Fonte: ConstruNormas, IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra)**

<b>Tipo de parede</b>	<b>Largura do bloco/tijolo</b>	<b>Revestimento</b>	<b>Massa aproximada</b>	<b>Rw (dBA)</b>
Blocos vazados de concreto	9cm	argamassa 1,5cm em cada face	180kg/m <sup>2</sup>	41
	14cm		230kg/m <sup>2</sup>	45
Blocos vazados de cerâmica	11,5cm	argamassa 1,5cm em cada face	150kg/m <sup>2</sup>	40
	14cm		180kg/m <sup>2</sup>	42
Tijolos maciços de barro cozido	11cm	argamassa 2cm em cada face	260kg/m <sup>2</sup>	45
	15cm		320kg/m <sup>2</sup>	47
Paredes maciças de concreto armado	10cm	sem revestimento	240kg/m <sup>2</sup>	45
	12cm		290kg/m <sup>2</sup>	47
Capas de gesso acartonado	2 chapas + lã de vidro	sem revestimento	22kg/m <sup>2</sup>	41
	4 chapas + lã de vidro		46kg/m <sup>2</sup>	49
<b>Bloco de gesso reciclado alveolar</b>	<b>10cm</b>	<b>sem revestimento</b>	<b>81Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>52</b>

Pelas propriedades físico-químicas, o gesso é considerado isolante acústico natural (GRUNOW, 2008), o que pode ser comprovado pela análise comparativa. O bloco de gesso reciclado tem um desempenho sonoro melhor que o bloco de concreto celular e também de uma parede de bloco cerâmico, e a parede de bloco de gesso pesará menos da metade das outras duas citadas. Somente por ser comparada com a chapa dupla com enchimento em lã de vidro, que pesa 46kg/m<sup>2</sup> e também tem um bom isolamento acústico, como mostra a Tabela 6.

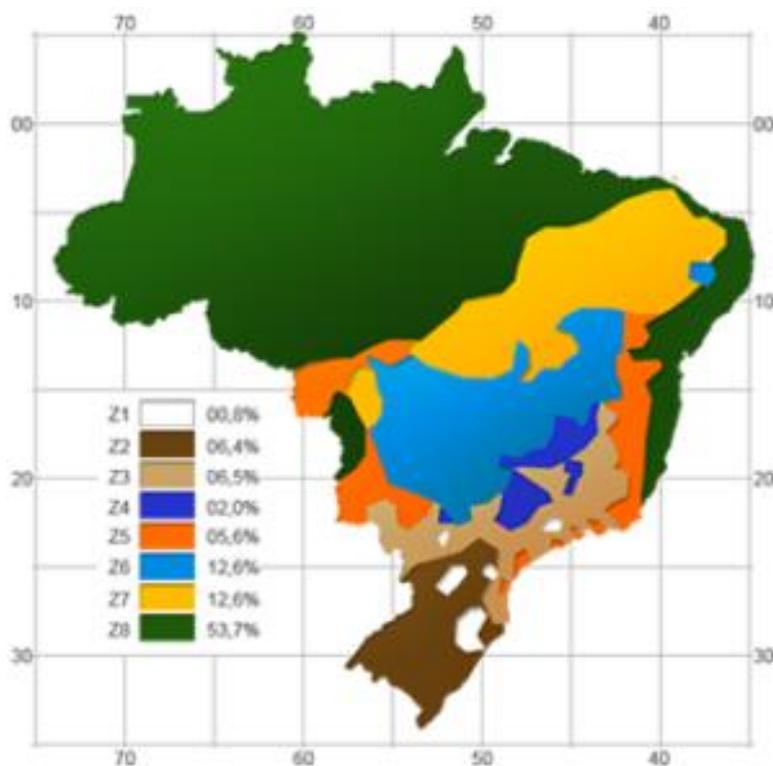
### 3.3 TÉRMICA

O gesso é um excelente isolante térmico, devido as suas propriedades físico-químicas, no objeto de estudo, os alvéolos do bloco ajudam ainda mais no isolamento. Assim, não transmitem calor com facilidade e possuem baixo índice de condutividade térmica, conforme Tabela 7.

**Tabela 7 - Propriedades térmicas dos materiais (BARBOSA, ConstruNormas, LABEEE, Rec Gesso)**

Material	Propriedade térmica		
	Densidade de massa aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Calor específico [J/(kg.K)]
Argamassa de assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto (bloco e parede)	2400	1,75	1,00
Reboco	2000	1,15	1,00
Tijolo cerâmico	1600	0,9	0,92
<b>Bloco gesso reciclado</b>	<b>570</b>	<b>0,46</b>	<b>0,84</b>

De acordo com as recomendações da NBR 15.220/2003, o Brasil possui 8 zonas bioclimáticas apresentadas na Figura 07.



**Figura 07 – Zonas Bioclimáticas brasileiras**

Fonte: ARES – Eficiência Energética e Sustentabilidade, 2018.

A grande maioria do território nacional está na Z8 com 53,7%, já a Z1 possui apenas 0,8%. Para formular as recomendações construtivas, a norma considerou parâmetros, como as dimensões dos vãos de ventilação, proteção das aberturas, vedações externas para paredes e coberturas e as estratégias de condicionamento térmico passivo como descrito no Quadro 05.

<b>ZONAS BIOCLIMÁTICAS</b>	<b>ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS</b>
<b>ZB1</b>	As aberturas para ventilação devem ser médias e o sombreamento das aberturas deve ser de modo a permitir Sol durante o inverno; a parede deve ser leve e a cobertura leve isolada e as estratégias de isolamento térmico passivo devem ser para o inverno: aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas.
<b>ZB2</b>	As aberturas devem ser médias e o sombreamento das aberturas deve ser de modo a permitir sol durante o inverno; a parede deve ser leve refletora e a cobertura leve isolada e para o inverno deve ter aquecimento solar da edificação e no verão ventilação cruzada.
<b>ZB3</b>	As aberturas devem ser médias e o sombreamento deve permitir a entrada de Sol no inverno; a parede deve ser leve refletora e a cobertura leve isolada e para o inverno deve ter aquecimento solar da edificação e no verão ventilação cruzada
<b>ZB4</b>	As aberturas devem ser médias e sombreamento nas aberturas; no inverno deve ter aquecimento solar e verão ventilação seletiva.
<b>ZB5</b>	As aberturas devem ser médias e sombreamento nas aberturas; no inverno deve ter inércia térmica e verão ventilação cruzada.
<b>ZB6</b>	As aberturas devem ser médias e sombreamento nas aberturas; no inverno deve ter inércia térmica e verão resfriamento evaporativo e ventilação seletiva.
<b>ZB7</b>	As aberturas devem ser pequenas e sombreamento nas aberturas; no verão resfriamento evaporativo e ventilação seletiva.
<b>ZB8</b>	As aberturas devem ser grandes e sombreamento nas aberturas; no verão ventilação cruzada permanente.

**Quadro 05 – Estratégias bioclimáticas**

Fonte: ABNT 2005

O Quadro 06 e 07 resume as recomendações construtivas para todo o Brasil e as propriedades térmicas para cada Zona Bioclimática.

	<b>PAREDE</b>	<b>COBERTURA</b>
<b>Zona Bioclimática 1</b>	Leve	Leve isolada
<b>Zona Bioclimática 2</b>	Leve	Leve isolada
<b>Zona Bioclimática 3</b>	Leve refletora	Leve isolada
<b>Zona Bioclimática 4</b>	Pesada	Leve isolada
<b>Zona Bioclimática 5</b>	Leve refletora	Leve isolada
<b>Zona Bioclimática 6</b>	Pesada	Leve isolada
<b>Zona Bioclimática 7</b>	Pesada	Pesada
<b>Zona Bioclimática 8</b>	Leve refletora	Leve refletora

**Quadro 06 - Recomendações construtivas para as zonas bioclimáticas brasileiras**

Fonte: LABEEE, ABNT

<b>VEDAÇÕES EXTERNAS</b>		<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U W/m<sup>2</sup>.K</b>	<b>ATRASO TÉRMICO - HORAS</b>	<b>FATOR SOLAR FS %</b>
	Leve	U<3,00	<4,3	<5,0
<b>Paredes</b>	Leve refletora	U<3,60	<4,3	<4,0
	Pesada	U<2,20	<6,5	<3,5
	Leve isolada	U<2,00	<3,3	<6,5
<b>Coberturas</b>	Leve refletora	U<2,30.FT	<3,3	<6,5
	Pesada	U<2,00	>6,5	<6,5

**Quadro 07 - Propriedades térmicas paredes e coberturas**

Fonte: ABNT 2005

Com bases nesses dados é possível comparar os tipos de vedações que cumprem essas propriedades recomendadas para paredes no Brasil, conforme Tabela 8 e 9.

**Tabela 8 - Composições de paredes (LABEEE, LAMBERTS, MARCA).**

Nº	Revestimento Interno	Estrutura	Revestimento Externo
1	Chapisco, emboço e reboco	Bloco cerâmico 1 vez	Chapisco, emboço e reboco
2	Gesso	Bloco cerâmico 1 vez	Chapisco, emboço e reboco
3	Gesso acartonado com câmara de ar	Bloco cerâmico 1 vez	Chapisco, emboço e reboco
4	Chapisco, emboço e reboco	Bloco de concreto	Chapisco, emboço e reboco
5	Gesso	Bloco de concreto	Chapisco, emboço e reboco
6	Sem revestimento	Madeira	Sem revestimento
<b>7</b>	<b>Sem revestimento</b>	<b>Bloco gesso reciclado</b>	<b>Sem revestimento</b>

**Tabela 9 - Análise das variáveis de paredes (LABEEE, LAMBERTS, LIMA, MARCA, Rec gesso).**

Nº	Transmitância térmica (U)	Atraso térmico	Leve (ZB1 e ZB2)	Leve refletora (ZB3, ZB5 e ZB8)	Pesada (ZB4, ZB6 e ZB7)
1	2,11	4,69	Não cumpre	Não cumpre	Cumpre
2	2,10	3,94	Cumpre	Cumpre	Cumpre
3	1,46	5,24	Não cumpre	Não cumpre	Cumpre
4	2,68	3,96	Cumpre	Cumpre	Não cumpre
5	2,67	3,39	Cumpre	Cumpre	Não cumpre
6	2,48	1,54	Cumpre	Cumpre	Não cumpre
<b>7</b>	<b>0,4</b>	<b>3,7</b>	<b>Cumpre</b>	<b>Cumpre</b>	<b>Cumpre</b>

Podemos analisar pelas Tabelas 8 e 9 que o bloco de gesso reciclado cumpre as normas de parede leve, leve refletora e pesada, atendendo assim todas as recomendações brasileiras, sendo que apenas a combinação 2 (gesso – bloco cerâmico – chapisco, emboço e reboco) e 7 (bloco de gesso reciclado) cumprem as normas para todas as ZBs.

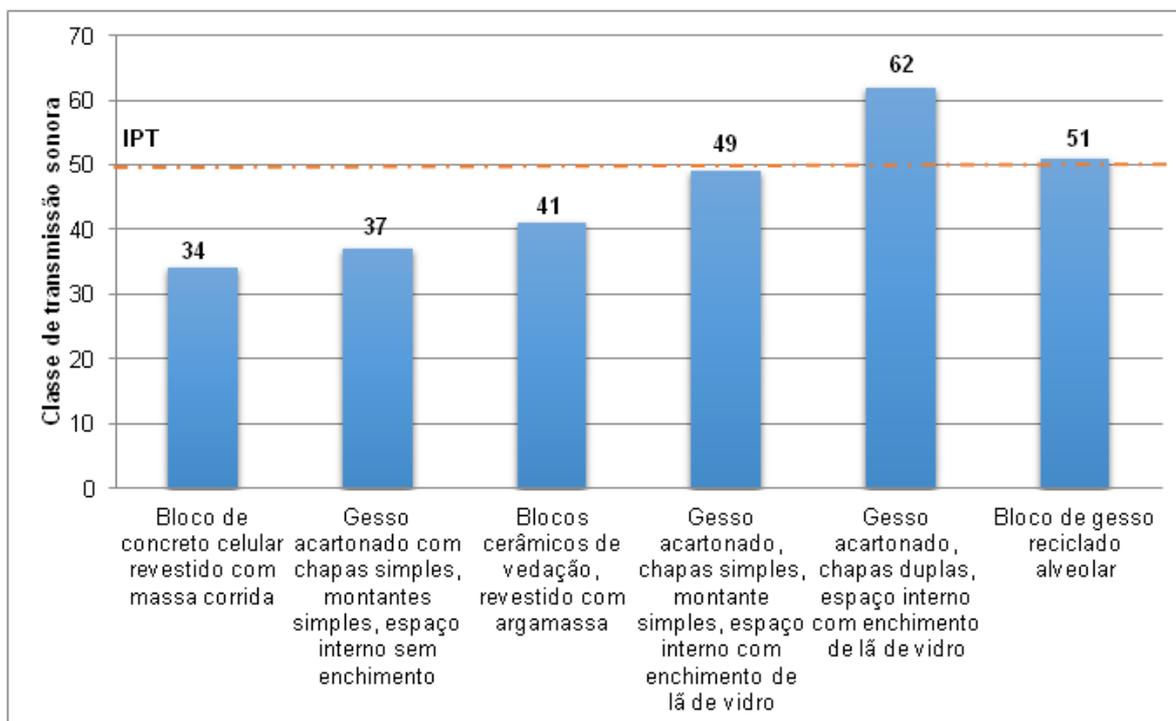
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O bloco de gesso alveolar reciclado é uma boa opção no que se diz respeito a produto ecológico e também uma boa solução para o resíduo de gesso. Com base nas tabelas apresentadas anteriormente foi possível fazer uma análise por meio de gráficos que ajudam didaticamente na apresentação dos resultados.

Primeiramente, analisando-se somente a forma do bloco reciclado comercial e comparando com o tijolo de seis furos, pode-se dizer com segurança que o tijolo apresenta maior desperdício já que ele é menor e, portanto consome mais argamassa, já o bloco por ser maior, tem as formas mais retilíneas e ortogonais.

Uma dificuldade é que apesar de ser obrigatória a separação e destinação do resíduo de gesso ainda não costuma ser feita de maneira correta, já que muitas vezes o gesso é misturado com outros resíduos da obra, dificultando assim a sua reciclagem. A etapa de triagem do resíduo para posterior reciclagem é a mais importante, pois se o resíduo estiver misturado com outros materiais e a empresa fabricante do bloco não tiver tecnologia para fazer a separação, menor a quantidade de resíduo que será incorporado ao bloco.

Devido à utilização da camada de ar interna (sólido-ar-sólido) proporcionado pelos alvéolos do bloco e das características físico-químicas do gesso, o desempenho acústico de uma parede de bloco de gesso alveolar reciclado é melhor que uma parede de bloco de concreto celular e de uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos. Comparando com outros materiais e relacionando a sua massa unitária ela só perde em desempenho para a composição de paredes duplas de gesso acartonado com enchimento em lã de vidro, mas ambas atendem as recomendações do IPT, conforme gráfico abaixo.



**Gráfico 02 – Propriedades acústicas dos componentes 2**

Com base no índice de capacidade de entendimento da voz da *Association of Australian Acoustical Consultants* a parede com o bloco de gesso alveolar tem um bom isolamento sonoro, podendo-se classificar como não audível, conforme apresentado no Gráfico 03.

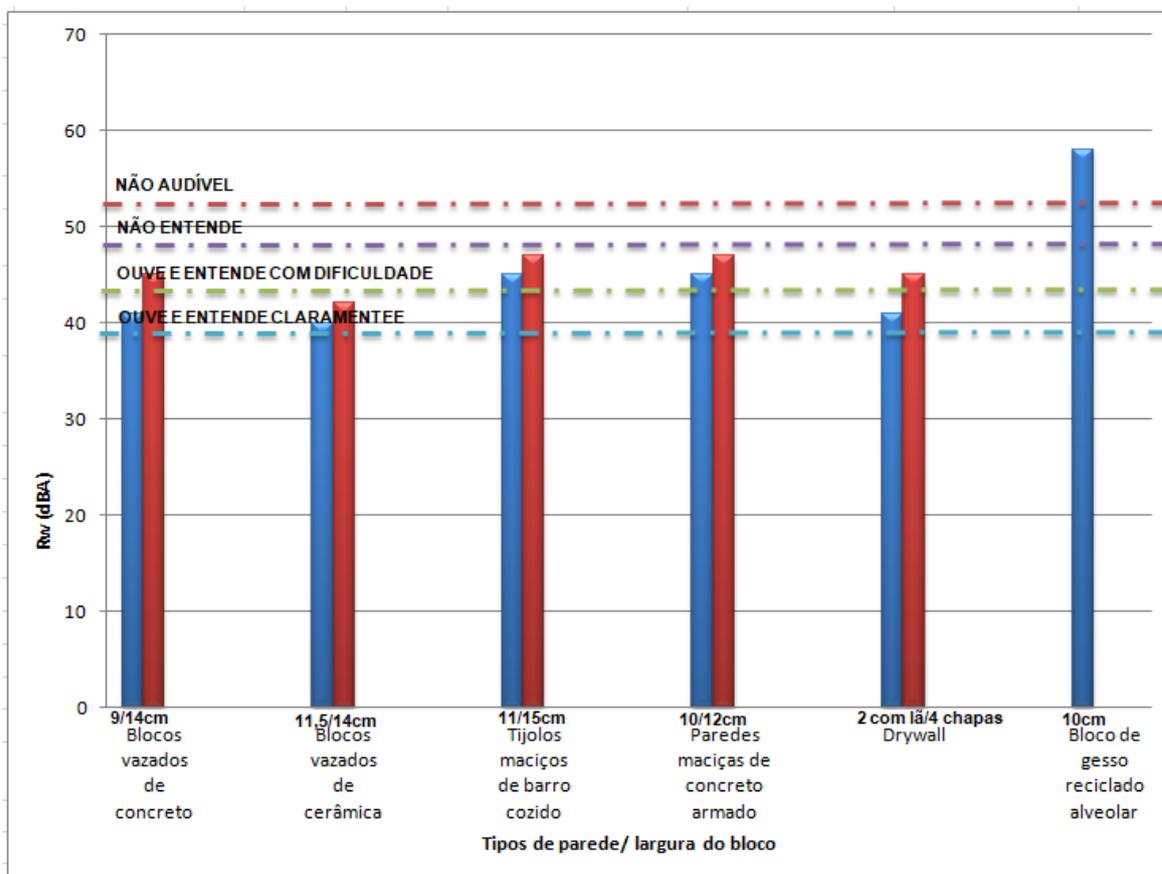


Gráfico 03 – Índice de capacidade de entendimento da voz

Analisando as propriedades do bloco de gesso alveolar reciclado podemos constatar que ele é um material com bom isolamento térmico, devido à baixa densidade, calor específico e baixa condutividade térmica em relação aos outros materiais conforme apresentado no gráfico abaixo.

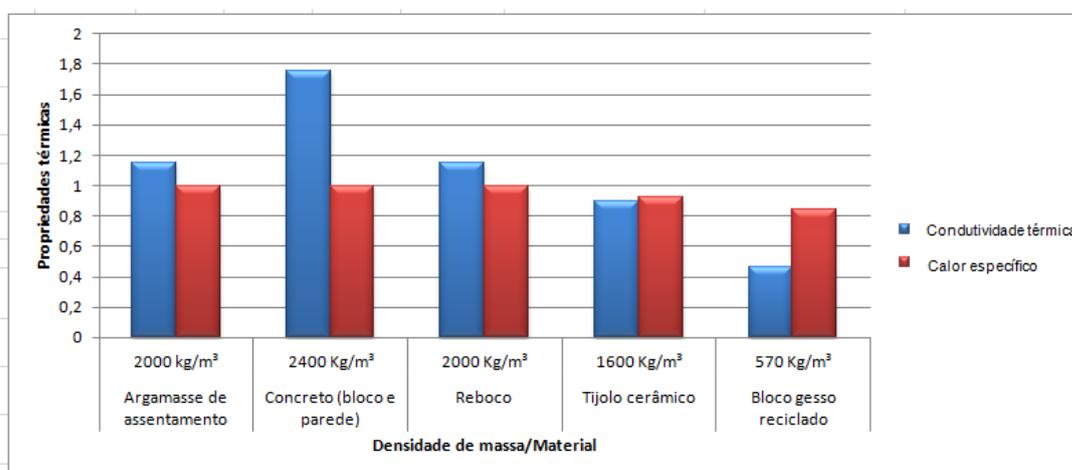
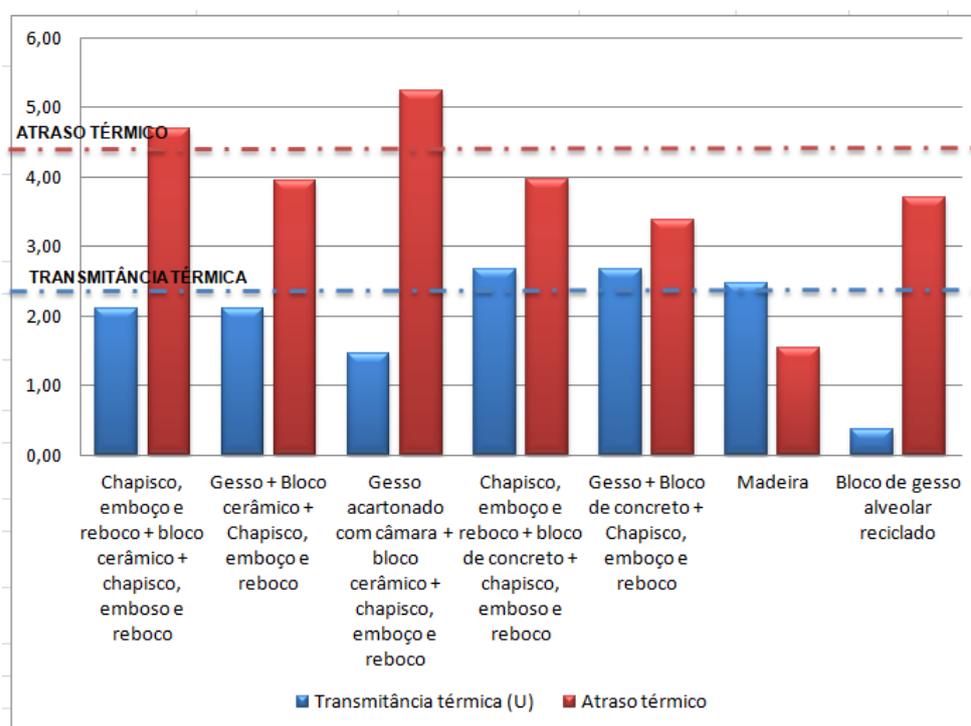


Gráfico 04 – Propriedades térmicas dos materiais x densidade de massa específica

De acordo com as normas da ABNT de vedação, o bloco de gesso reciclado atende as normas de parede leve, leve refletora e pesada como podemos ver no Gráfico 05, juntamente com a combinação gesso + bloco cerâmico + chapisco, emboço e reboco. As outras combinações não atendem a todas as normas para os 3 tipos de paredes. A linha vermelha apresentada no Gráfico 05 é o limite do atraso térmico, assim como a linha azul é o limite de transmitância térmica do material para que atinja as normas para parede leve, leve refletora e pesada.



**Gráfico 05 – Análise das variáveis de paredes**

Além de possibilitar um melhor acabamento, ter um bom nível termo-acústico e resistência ao fogo, na sua composição é utilizada o gesso reciclado sem aditivo e as poucas sobras do produto são encaminhadas novamente para reciclagem e confecção de novos blocos reciclados, contribuindo assim para uma construção mais sustentável, limpa, rápida e econômica.

Com base nos dados obtidos pelas empresas que já fazem esse processo e também por pesquisas acadêmicas relacionadas ao tema vimos que é viável recuperar esse resíduo para um novo material e que as propriedades físicas e mecânicas se mantêm as mesmas do gesso comercial podendo passar por vários ciclos de reciclagem.

## 5. CONCLUSÕES

As metas para se atingir o desenvolvimento sustentável empregando resíduos da construção civil devem contemplar a reciclagem e uma metodologia é fundamental para um mercado efetivo para os resíduos. Ao se analisar a reciclagem de resíduos na construção civil brasileira percebe-se falhas no processo de pesquisa e desenvolvimento e encontram-se problemas no desenvolvimento do produto, transferência de tecnologia e análise de desempenho ambiental.

O armazenamento correto também é imprescindível para que os materiais se conservem em bom estado até o momento da sua utilização. Quando é realizado de forma errada, há desperdícios e, conseqüentemente, gastos desnecessários. Ao realizar a coleta e separação dos resíduos logo após sua geração, evita-se o acúmulo de materiais inutilizados no canteiro, o que permite uma melhor organização do espaço, diminuindo assim o risco de acidentes, otimizando o tempo de execução da obra e viabilizando a reciclagem.

Se a separação não for realizada de maneira correta o bloco perde resistência mecânica fazendo com que a porcentagem de resíduo utilizado diminua e conseqüentemente aumente a quantidade de gesso puro na composição do bloco, o que torna uma produção pouco sustentável. De acordo com a bibliografia, foi possível moldar corpos de prova somente com o resíduo de gesso, sem perda significativa por cinco ciclos (ERBS, 2015; PINHEIRO, 2011).

Quanto às propriedades termo-acústicas o material cumpre o seu papel, pois quando comparado a outros materiais ele ficou entre os que tiveram melhores resultados.

Este conceito de aceitação de um novo material feito a partir de um resíduo envolve também mudanças culturais, educação ambiental e visão sistêmica (ÂNGULO, 2000; JOHN, 2000). Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios, como: - Redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000). - Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem.

Este trabalho serve de ponto de partida para uma série de estudos sobre a reciclagem do gesso, demonstra-se assim que o resíduo hoje descartado pode vir a ser reutilizado gerando não só novos nichos de mercado, como também colocar este produto hoje nocivo ao meio ambiente na esfera sustentável (ERBS, 2015).

Sugestão para trabalhos futuros seria uma análise mais precisa do bloco de gesso reciclado já comercializado em laboratório; pesquisa de novas formas que evitem o desperdício com a quebra para instalações hidráulicas e elétricas; análise da aceitação desse novo produto no mercado da construção.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, Brasil, 2016.
- ÂNGULO, Sergio Cirelli. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. São Paulo-SP.
- ALMEIDA, R. R. P. *et al.* **Identificação e análise dos impactos ambientais gerados na indústria da construção civil**. Pombal PB, 2015.
- APOLINÁRIO, Giovani Mateus. **Reutilização do resíduo de gesso da construção civil**. Ijuí: UNIJUÍ 2015.
- ARES. **Eficiência energética e sustentabilidade**. Disponível em: <http://blog.aresarquitetura.com.br/importancia-zonas-bioclimaticas/>. Acesso em: 07 de julho 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade**. ABNT NBR 10151. Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho de edificações habitacionais**. ABNT NBR 15575. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. ABNT NBR 152203. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para construção civil**. ABNT NBR 13207. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas do pó**. ABNT NBR 12127 (MB-3468). Rio de Janeiro, Brasil, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Níveis de ruído para conforto acústico**. ABNT NBR 10152. Rio de Janeiro, Brasil, 1987.

BARBOSA, Felipe de Castro. **Viabilidade do uso de gesso reciclado como matéria prima para a fabricação de blocos com elevado desempenho.** São Paulo: USP 2015.

BOURSCHEID, J. A.; SOUZA, R. L. **Resíduos de construção e demolição como material alternativo.** 1. ed. Florianópolis: Publicações do IF-SC, 2010.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 307**, de 5 de julho de 2002. Publicada no DOU nº 136, Seção 1, páginas 95-96. Alterada pela Resolução no 348/04 (alterado o inciso IV do art. 3o). 2002.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO. **Norma de desempenho – NBR 15.575.** Disponível em: [http://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2\\_guia\\_normas\\_final.pdf](http://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf). Acesso em: 21 de novembro de 2017.

CONSTRUNORMAS. **Normas técnicas de desempenho – bloco de gesso.** Disponível em: <http://construnormas.pini.com.br/engenharia-instalacoes/vedacoes-revestimentos/blocos-de-gesso-340425-1.aspx> Acesso em: 21 de novembro 2017.

COPARI, Vinicius Pereira. **Confecção de tijolos ecológicos como alternativa para reutilização dos resíduos gerados por centrais dosadoras de concreto.** Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778 Nº 1, volume 2, artigo nº 10, Janeiro/Junho 2016.

COSTA, N. *et al.* **Planejamento de Programas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: uma Análise Multivariada.** São Paulo, 2009.

CUNHA, Paulo Waldemiro Soares. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil.** Natal: PPGCEM 2012.

DANTAS, T. R. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção civil (RCC) no município de Angicos (RN).** Natal: UFRS, 2011.

DEGANI, Clarisse Menezes. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: importância da etapa de projeto arquitetônico.**

DRYWALL. **Associação Brasileira do Drywall.** Disponível em: <http://www.drywall.org.br>. Acesso em: 15 de maio 2017.

DUARTE, Everson Ferreira. **Diagnóstico da geração de resíduos de gesso acartonado na construção civil – obras comerciais em Curitiba**. Curitiba: UTFPR 2014.

ERBS, Alexandre. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado**. Curitiba: UTFPR 2015.

ERBS, Alexandre. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado e gesso comum ao longo dos ciclos de reciclagem**. Curitiba: UTFPR 2016.

FARIAS, Felipe José de. **Reaproveitamento de resíduos de gesso**. ENTAC, 2010.

FERREIRA, Mariana Silva. **Análise da microestrutura do gesso reciclado**. Mauá. Disponível em: <https://maua.br/files/052017/analise-microestrutura-do-gesso-reciclado-191053.pdf>. Acesso em: 21 de novembro 2017.

GERONAZZO, L. V. *et al.* **Avaliação de propriedades termo-acústicas pela inserção de resíduos de gesso de construção em blocos de concreto**. Engenharia civil em destaque. 1ed. Jundiaí: Paco Editora, 2015, v., p. 13-29.

GRUNOW, Evelise. **Acústica questão ambiental**. 1ed. São Paulo: Editora C4, 2008.

GUIA CBID. **Desempenho de edificações habitacionais para atendimento a norma NBR 15575**. Brasília, Brasil, 2013.

IBDA. **Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura**. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=1321>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

IBGE. **Produto Interno Bruto**. Acesso em: 04 de abril de 2018.

IDHEA. **Instituto da o desenvolvimento da habitação ecológica**. Acesso em: 15 de maio de 2017.

IWASAKI, Karina Akemi. **Influência das temperaturas de calcinação e da água de amassamento na reciclagem dos resíduos de gesso**. Campinas: Unicamp, 2004.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; CINCOTTO, M. A. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição e o gesso**. Notícias da Construção, 2002.

JP. **Reciclagem de gesso**. Disponível em: <http://www.jpreciclagemdegesso.com.br/>  
Acesso em: 09 de maio de 2017.

JUNIOR, C. A. S.; GERONAZZO L. V.; BETIM L. R. **Estudo da Viabilidade da Aplicação de Resíduos de Gesso em Blocos de Concreto para Melhoria de Propriedades Termoacústicas**. Curitiba: UTFPR, 2013.

LAMBERTS, Roberto. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Florianópolis, 2010.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Gestão de Resíduos Sólidos** – Editora Pierson Prentice Hall, 2009.

LIMA, Katriciê E. J. B.; ZENERATO, Thais S. **Comparativo de desempenho acústico de mdf e drywall e suas composições com lã de vidro e lã de rocha**.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. **Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus pratica no Brasil**. São Paulo, 2004.

LUCHEZZI, C.; TERENCE, M. C. **Logística reversa aplicada na construção civil**. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação. São Paulo, 2013.

MACHADO, G. **Reciclagem de gesso**. Disponível em: <http://www.portalresiduos.com.br/>. Acesso em: 04 de abril de 2018.

MARCA, Adriana C. L.. **Análise custo benefício para desempenho térmico de habitação popular no estado do Paraná**. Curitiba, 2010.

MELO, Daniele de Castro de. **Estudo do processo de produção de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil**. Recife, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório gipsita**. Brasil, 2009.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo, 2014.

PENSAMENTO VERDE. **Processo de reciclagem de gesso**. Disponível em: <http://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/conheca-o-processo-de-reciclagem-gesso/>. Acesso em: 09 de maio de 2017.

PEREIRA, Clóvis Eduardo. **Reaproveitamento do entulho como agregado reciclado em argamassa de revestimento**. Curitiba: UTFPR 2003.

PEREIRA, Elisangela Cristina. **Reciclagem de resíduos da construção civil e demolição em Campo Mourão, PR**. Campo Mourão: UTFPR 2012.

PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. Campinas: Unicamp 2011.

PMC. **Prefeitura Municipal de Curitiba**. Acesso em: 15 de maio de 2017.

PORTAL RESÍDUOS. **Reciclagem de gesso**. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-gesso/>. Acesso em: 04 de abril de 2018.

PORTO, M. E. H; SILVA. S. V. **Gestão do projeto de reaproveitamento dos entulhos de concreto gerados pela construção civil**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, SP. 2010

REC GESSO. **Reciclagem de gesso transporte de resíduos**. Disponível em: <http://www.recgesso.com.br/> Acesso em: 22 de novembro de 2017.

SAVI, Olindo. **Produção de placas de forro com a reciclagem de gesso**. Maringá: UEM 2012.

SINGER, Jeferson Dariva. **Reflexões sobre a geração de resíduos de gesso em construções secas**. Curitiba: UTFPR 2013.

SIKORSKI, Carlos Alberto. *et al.* **Estudo da viabilidade da aplicação de resíduos de gesso em blocos de concreto para melhoria de propriedades termo-acústicas**. Curitiba: UTFPR 2013.

SMMA. **Secretária Municipal do Meio Ambiente – Curitiba**. Acesso em: 15 de maio de 2017.

SOUZA, Ivan U.L. **Alvenaria sustentável com utilização de tijolos ecológicos**. 5ª Jornada Científica e Tecnológica e 2º Simpósio de Pós-Graduação do IFSULDEMINAS, 2013. Inconfidentes-MG.

SOUZA, R. C. C. *et al.* **Métodos estimativos da geração e composição de resíduos sólidos urbanos: uma revisão**. Revista Engenharia e Construção Civil, Curitiba - PR, v.1, n.2, p. 24-39, jul./dez., 2014.

TESKE, S. NAGALLI, André. **Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção**. Curitiba: UTFPR 2014.

THIESSEN, Ricardo. **Diagnóstico do gerenciamento dos resíduos de gesso da construção civil em Curitiba**. Curitiba: UTFPR 2010.

TOZZI, Rafael F. **Estudo da influência do gerenciamento na geração dos resíduos da construção civil (RCC) – estudo de caso de duas obras em Curitiba – PR**. Curitiba: UTFPR 2006.