

**FACULDADE PATOS DE MINAS
ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNO GIORDANO MARRA
CARLOS ANTÔNIO GONÇALVES**

**DEMOLIÇÃO POR USO DE EXPLOSIVOS E
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS: estudo de
caso sobre o Estádio Governador Plácido Castelo –
Castelão - CE**

**PATOS DE MINAS
2016**

**BRUNO GIORDANO MARRA
CARLOS ANTÔNIO GONÇALVES**

**DEMOLIÇÃO POR USO DE EXPLOSIVOS E
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS: estudo de
caso sobre o Estádio Governador Plácido Castelo –
Castelão - CE**

Trabalho apresentado à Faculdade Patos de Minas, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Saulo Gonçalves Pereira.

Catálogo na fonte – Biblioteca Central da Faculdade Patos de Minas

G635d Gonçalves, Carlos Antônio
Demolição por uso de explosivos e reaproveitamento de
resíduos: estudo de caso sobre o Estádio Governador Plácido
Castelo - Castelão – CE / Carlos Antônio Gonçalves, Bruno
Giordano Marra - Patos de Minas, 2016.
33f.

Artigo (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade Patos de
Minas - FPM, 2016.

Orientação: Prof. Ms. Saulo Gonçalves Pereira

1. Demolição 2. Explosivos 3. Reaproveitamento de resíduos
4. Economia 5. Estádio Castelão 6. Sustentabilidade ambiental
7. Tecnologia I. Marra, Bruno Giordano II. Título

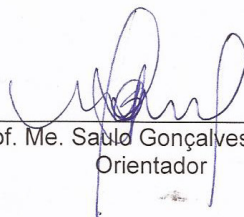
CDU: 628.477

Candidatos:
BRUNO GIORDANO MARRA
CARLOS ANTÔNIO GONÇALVES

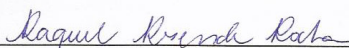
Título: **DEMOLIÇÃO POR USO DE EXPLOSIVOS E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS: estudo de caso sobre o Estádio Governador Plácido Castelo – Castelão - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil – FACULDADE PATOS DE MINAS.

Data: 30 de Maio de 2016.



Prof. Me. Saulo Gonçalves Pereira
Orientador



Prof.ª Raquel Resende Rocha
Examinadora



Prof. Wesley Magno da Costa
Examinador

Aprovado (X)

Reprovado ()

AGRADECIMENTOS

A faculdade, professore(a)s e demais funcionários, aos pais, irmãos, colegas e amigos que nós apoiaram e confiaram incondicionalmente nesta escalada de conhecimento na Engenharia Civil, ao nosso orientador e a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram em nossa formação, não apenas profissional ou de conhecimento racional, mas de caráter, valores éticos e humanos.

Nosso muito obrigado!

MARRA, Bruno Giordano; GONÇALVES, Carlos Antônio. **Demolição por Uso de Explosivos e Reaproveitamento de Resíduos: estudo de caso sobre o Estádio Governador Plácido Castelo – Castelão CE**. 2016. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Patos de Minas, Patos de Minas, 2016.

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTE TRABALHO, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RESUMO

A demolição com uso de explosivo e o reaproveitamento dos resíduos gerados aplicados em conjunto mostraram ser alternativas técnicas eficientes economicamente e ambientalmente sustentáveis, comparadas a métodos de demolição tradicionais utilizados na indústria da construção civil brasileira, que são onerosos e com impacto ambiental negativo. Dessa maneira, através do estudo de caso da obra de reforma do Estádio Governador Plácido Castelo, “Castelão”, em Fortaleza/CE, constatou-se que esta foi uma referência no âmbito da demolição com explosivos e reaproveitamento do resíduo na própria obra, resultando em reconhecimentos e premiações em nível internacional de boas práticas tecnológicas construtivas e econômicas agregadas à sustentabilidade ambiental. Este artigo é um estudo de natureza qualitativa, fundamentado em pesquisas bibliográficas, legislações pertinentes, documentos, vídeos, artigos, dissertações, teses e pesquisas na internet, e objetivou demonstrar o processo de demolição com uso de explosivos aliado ao reaproveitamento dos resíduos, com seus requisitos técnicos e práticos resultando em ganhos econômicos e socioambientais.

Palavras – chave: Demolição. Explosivos. Reaproveitamento. Resíduos. Economia. Estádio Castelão. Sustentabilidade Ambiental. Tecnologia.

ABSTRACT

The demolition with the use of explosives and the reuse of residues generated and applied together proved to be economically and environmentally sustainable efficient alternative techniques, compared to traditional demolition methods used in the Brazilian construction industry, which are costly and have negative environmental impact. This way, through the case study of the reform work of the Governor Plácido Castelo Stadium (“Castelão”) in Fortaleza / CE, we could find out that this work was remarkable for its good use of demolition with explosives and reuse of residues in the work itself, which resulted in recognition and international awards for its best practical constructive and economic technologies, associated to environmental sustainability. This article is a qualitative study, based on bibliographical researches, relevant legislation, documents, videos, articles, dissertations, theses and researches at the internet and aimed to demonstrate the process of demolition with the use of explosives combined with the reuse of residues, with its technical and practical requirements resulting in economic and environmental gains.

Keywords: Demolition. Explosives. Reutilization. Waste. Economy. “Castelão”. Environmental sustainability. Technology.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	DEMOLIÇÃO COM MÉTODOS EXPLOSIVOS.....	09
2.1	Explosivos.....	10
3	PROPOSTA DE REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS EM OBRAS DE DEMOLIÇÃO.....	13
3.1	A gestão dos resíduos da demolição no canteiro de obras.....	16
3.2	Aplicações do agregado reciclado.....	19
4	ESTUDO DE CASO: USO DE EXPLOSIVOS NA DEMOLIÇÃO DO ESTÁDIO PLÁCIDO ADERALDO CASTELO E O REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS	20
5	ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL GERADO NO ESTUDO DE CASO.....	25
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e o desenvolvimento de uma cidade exigem constantes mudanças, havendo necessidades de transformações, de intervenções em construções antigas, degradadas e/ou condenadas estruturalmente, que geram perigos para a população e a inutilização de espaços urbanos. Para tanto, existe a técnica de demolição com o uso de explosivos, por meio de métodos seguros e econômicos comparados aos métodos tradicionais de demolição.

Neste procedimento, para uma eficiência completa, não é realizado apenas a demolição da estrutura, ela é acompanhada do reaproveitamento dos resíduos provenientes da demolição, ou seja, os entulhos (concreto, aço, madeira, plásticos, dentre outros) que tradicionalmente seriam descartados no meio ambiente são reaproveitados ou separados. Desta forma, com o conceito de desenvolvimento sustentável, é necessário aplicar métodos que trabalhem com sustentabilidade e racionalidade ambiental a fim de diminuir os impactos ambientais que a indústria da construção civil gera.

O tema abordado foi a demolição com o reaproveitamento de resíduos provenientes de obras demolidas e sua utilização em novas construções, conceito este que, além de preservar o meio ambiente e diminuir o impacto sobre os recursos naturais, gera economia em uma nova obra, pois o resíduo que seria descartado como lixo, é transformado em insumo construtivo de baixo custo que além de evitar gastos públicos ou particulares com locais para o descarte como aterros, lixões e bota foras evita também a utilização de áreas que poderiam ser usadas para preservação de fauna e flora, paisagismo ou para outras obras úteis à população (1).

Neste estudo de caso a demolição com uso de explosivos e o reaproveitamento dos resíduos gerados na demolição do Estádio Governador Plácido Castelo, localizado na cidade de Fortaleza, Ceará, em 12/06/2011, demonstra o processo de demolição com uso de explosivos, descrevendo o seu planejamento, procedimentos e atendimento às normas legisladoras com preocupação socioambiental no reaproveitamento dos resíduos provenientes desta demolição.

Apresentarmos sucintamente processos de demolição com o uso de explosivos, de forma segura, e eficiente, o reaproveitamento dos resíduos provenientes desta demolição e a proposição de procedimentos para o reaproveitamento desses resíduos.

A metodologia utilizada foi a da pesquisa exploratória, através de consultas a legislações pertinentes, pesquisas bibliográficas, documentos, vídeos, artigos, dissertações, teses e pesquisas na internet, sendo assim uma pesquisa qualitativa.

O trabalho descreve um estudo de caso possibilitando compreender o processo de demolição com uso de explosivos, a tomada de decisão sobre o tipo de demolição adotado, os trabalhos de preparação que antecedem a demolição e os procedimentos de execução. São apresentadas as medidas e os benefícios da implantação do reaproveitamento dos resíduos gerados nesta implosão. Foi realizado um Estudo de Impacto de Vizinhança através de um relatório de impacto de vizinhança.

2 DEMOLIÇÃO COM MÉTODOS EXPLOSIVOS

A demolição com o uso de explosivos é uma técnica para demolição de estruturas realizada com o uso de explosivos. É executada com uma série de explosões sucessivamente controladas em cargas pontuais de explosivos distribuídos pela estrutura, abalando apenas pontos pré-determinados para se romperem, gerando uma pressão atmosférica externa superior à pressão interna, e com a gravidade ocasiona um colapso da estrutura vindo a desabar (2).

São usados explosivos diferentes para materiais diferentes, e a quantidade de cada um é determinada com base na espessura do material. Para pilares de concreto, os engenheiros de demolição usam a dinamite tradicional ou um material explosivo similar. Dinamite não é mais do que uma substância absorvente embebida de um produto químico ou mistura de produtos químicos altamente combustíveis. Quando ocorre a ignição do produto químico, este queima-se rapidamente, produzindo uma grande quantidade de gás quente em muito pouco tempo, gás esse que se expande rapidamente, aplicando uma enorme pressão expansiva (de até 95 toneladas por centímetro quadrado) no que estiver ao seu redor (3).

Uma implosão exige um projeto tão preciso quanto um projeto estrutural. É necessário analisar todas as vigas, pilares, lajes, enfim, tudo o que tiver função

estrutural. Além disso, antes da implosão é preciso enfraquecer a estrutura a ponto de ela não desabar antes do momento certo. O projeto exige cálculos exatos com o objetivo de enfraquecer a estrutura ao máximo para depois, com a menor quantidade de pontos possíveis, detoná-la (4). O uso de explosivos é extremamente eficaz para se demolir uma estrutura. Este método permite uma demolição rápida, com duração de segundos e de forma controlada (5).

Ao comparar-se a demolição tradicional, que utiliza equipamentos e ferramentas mecânicas a demolição por uso de explosivos, apresenta vantagens, tais como: a segurança, eficiência e economia financeira, pois seus custos são reduzidos, não propriamente pelos custos da demolição, mas no tempo de duração do contrato da prestação do serviço (6).

2.1 Explosivos

O explosivo é uma substância ou mistura de substâncias que ao ser iniciado é submetido a transformações súbitas e violentas, tem a propriedade de transformar-se em gases que estabelecem uma grande liberação de energia e uma elevação imediata da pressão em um curto espaço de tempo (7).

A decomposição química dos explosivos pode acontecer em três processos distintos, a combustão, a deflagração e a detonação. Na engenharia civil a maioria das atividades reagem pelo processo de deflagração ou detonação (8).

Na combustão a sua propagação ocorre por condutividade térmica a sua transformação tem uma velocidade moderada da ordem de cm/s, resultando na queima do explosivo. A deflagração tem uma combustão acelerada com aumento local de temperatura e pressão, sua velocidade de transformação é rápida, da ordem de 100 a 1000 m/s, neste processo o explosivo deflagra, seu efeito é de uma pressão progressiva. A detonação cria uma onda de choque associada a reação química, a sua velocidade de transformação é muito rápida, da ordem de 2 a 9 km/s. A detonação do explosivo tem um efeito de ruptura, com uma pressão muito grande e de impacto (onda de choque). Tanto a deflagração quanto a detonação gera efeitos de explosão (9).

Os explosivos para uso industrial e seus acessórios (detonadores) são regulamentados pelo Exército Brasileiro através do regulamento para fiscalização de produtos controlados R-105, aprovado pelo decreto nº 3665 de 20 de novembro de 2000 e portaria 003 COLOG de 10 de maio de 2012 (10).

O uso controlado de explosivos apresenta grandes vantagens, mas apesar disso existem situações que a sua empregabilidade não é aconselhável, pois os riscos se sobressaem aos benefícios. Exemplificando essa condição podemos citar: lugares com grandes concentrações populacionais em que a retirada da população do entorno é inviável, como as imediações de hospitais, ou locais em onde uma implosão possa causar danos às estruturas de edificações vizinhas (11).

Ao optar pela demolição de uma obra com o uso de explosivos, automaticamente, é necessário escolher o tipo de mecanismo de colapso. A escolha deve considerar alguns fatores que podem influenciar na execução do projeto de implosão, tais como: obtenção do máximo de fragmentação dos resíduos da estrutura, objetivando facilitar a reciclagem desse material; ter controle sobre a difusão dos componentes da estrutura e a dispersão de poeira; a previsão de como a estrutura irá proceder no colapso, fazendo uso de controle do colapso; e, reduzir os níveis de vibração do solo, devido a atrasos nas detonações e proteção de edificações adjacentes (11).

A escolha correta do mecanismo de colapso é um fator determinante para a segurança e o sucesso de uma demolição com uso de explosivos. A característica estrutural da construção afeta diretamente na decisão pelo tipo de mecanismo de colapso.

Mecanismo tipo implosão: É o mecanismo mais utilizado e conseqüentemente o mais conhecido. Neste método faz-se uso de pequena quantidade de explosivos espalhados pela estrutura. Na implosão se objetiva a descontinuidade em pontos determinados da estrutura, de modo a enfraquecê-la, esses pontos são geralmente pilares e vigas. Neste processo é possível alcançar uma grande fragmentação, mesmo onde não foram colocados explosivos, pois na implosão o colapso é feito centralmente de modo que estrutura desabe e se fragmente com o próprio peso e com a queda no solo. É um mecanismo em que é possível ter controle sobre seu colapso. Por essas características esse é o método mais indicado para demolir grandes estruturas (12).

Mecanismo tipo telescópio: Tem este nome por sua queda se assemelhar a um telescópio. É um mecanismo utilizado para estruturas altas onde ao contrário da implosão o seu peso não influencia na queda. A demolição pode ser simultânea ou não. Após ruir sua área se assemelha a área que ocupava antes (3).

Mecanismo tipo derrube: O objetivo deste método é derrubar a estrutura ao solo, não há necessidade de grandes quantidades de explosivos e não exige muitos trabalhos preparatórios. O arreador da estrutura a ser demolida deve ser uma área livre para não causar perigos independente do lado que a estrutura venha a ruir com isso possibilita também o uso de equipamentos para a remoção dos resíduos gerados. Este tipo de demolição é adequado para estruturas com grande relação entre altura e base, tais como, chaminés, estruturas de aço, postes, entre outros (12).

Mecanismo tipo colapso progressivo: É aplicável em conjuntos de edifícios de grandes porte e desenvolvimento. Devido a esse fato o mecanismo é caracterizado como peças de dominó, pois a queda acontece sequencialmente. O colapso progressivo é relacionado ao mecanismo de implosão, porém ao invés do colapso ser feito centralmente ele é feito por uma das extremidades causando este efeito progressivo. Este método de colapso é iniciado com o uso de explosivos como consequência causa impacto das estruturas prolongando a queda do restante (13).

2.2 Planejamento de uma demolição

Para iniciar uma obra de demolição, após a contratação do serviço, um cronograma básico deve ser seguido e vir acompanhado de um projeto de demolição. É um projeto baseado em legislações, levantamentos técnicos, cálculos, custos, contratação de equipe com mão de obra especializada, documentações, equipamentos, medidas de segurança, destinação final dos resíduos, dentre outras situações inerentes ao projeto (14).

Antes de se iniciar o projeto de implosão algumas atividades são necessárias, tais como: visitas técnicas na obra; levantamento de distâncias de edificações vizinhas, vias de acesso e demais estruturas circundantes a obra; relatórios com anexo fotográfico, filmagens e croquis do local; e, acervo documental técnico da obra com consultas a cópias de projetos arquitetônicos e demais projetos como fundações, estruturais, hidráulicos, elétricos e outros caso a obra possua (15).

Alguns cuidados em obras de demolição devem ser tomados, como: antes de ser executada uma implosão as linhas de abastecimento de energia elétrica, água, gás e outros inflamáveis, substâncias tóxicas e as canalizações de esgoto, escoamento de água pluvial deverão ser desligadas; o tráfego nas proximidades deverá ser interrompido; a população residente no seu entorno deverá abandonar suas residências no horário previsto, antes da execução da implosão; as construções vizinhas deverão ser examinadas, prévia e periodicamente, para ser preservada a sua estabilidade e a integridade física de terceiros; devem-se as construções vizinhas que ficarão expostas a demolição; a demolição deverá ser planejada, projetada e executada por responsável técnico legalmente habilitado (16, 17).

Com o objetivo de impedir a propagação de fragmentos da estrutura, produzidos pela detonação ou por colisões oriundas do colapso é imprescindível um bom planejamento na fase de projeto, devendo considerar alguns requisitos, tais como: identificar quais os elementos de suporte serão perfurados para colocação de explosivos, o que irá determinar o sentido da fragmentação; executar ensaios experimentais para determinar a quantidade efetiva de explosivos a ser usada na estrutura; escolher o mecanismo de colapso mais viável de forma que a projeção dos fragmentos se direcione a zonas menos críticas; e, definir a temporização e a sequência de detonação mais adequados ao projeto, pois levará ao tipo de mecanismo de colapso a ser executado conforme o definido, evitando que o colapso cause alteração nos componentes de proteção no entorno (18).

3 PROPOSTA DE REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS EM OBRAS DE DEMOLIÇÃO

Baseado em todas as vantagens e necessidades de reaproveitamento dos resíduos de uma demolição apresentamos uma proposta para o reaproveitamento dos resíduos gerados, adotando práticas de manipulação buscando compatibilidade com aos critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que regulamentam o processo de reciclagem dos resíduos da construção civil. Em uma implosão são geradas elevadas quantidades de entulhos, os quais na maioria das vezes ocupam

muito espaço nos aterros, por isso o desenvolvimento de soluções tecnológicas e a busca por alternativas mais sustentáveis tem se tornado cada vez mais frequente (19).

Dentro desta corrida pelo bem estar ambiental, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo o mundo. Neste contexto se inserem os resíduos da construção civil. Transformá-los em fonte alternativa de matéria prima dentro do próprio setor constitui um desafio para o meio técnico científico (20).

Os resíduos da construção civil não podem mais ser considerados como um lixo descartável, mas sim como matéria prima para fabricação de produtos elaborados, proporcionando com isso benefícios de ordem social, econômica e ambiental (21). O cenário após uma implosão é modificado, a construção dá lugar a toneladas de entulhos. Experiências bem sucedidas de reciclagem de entulho demonstram que o grande problema da disposição final é na verdade uma solução, como por exemplo, o concreto que pode ser enviado para usinas de reciclagem e preparado para a utilização em argamassas e pavimentação de rodovias (22).

A grande vantagem é diminuir o impacto no meio ambiente e reduzir a retirada de recursos naturais para próximas obras. No reaproveitamento desses resíduos observa-se uma proteção do meio ambiente, pois ao transformá-los em matéria prima evita-se que as reservas naturais sejam, ainda, mais exploradas, além de propiciar a elaboração de um produto mais acessível (23).

As soluções tecnológicas para a viabilização da reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil são orientadas por normas e diretrizes para garantir uma gestão correta, desde a sua coleta até sua disposição final, de modo a favorecer o meio ambiente. Assim como o processo de reciclagem, o qual é orientado por legislações ambientalmente corretas a fim de garantir um rigoroso controle de qualidade (24). A disposição final dos resíduos varia de acordo com o estabelecido nas normas municipais, a fiscalização deve ser exercida para o cumprimento destas normas. Quando não existem normas municipais e não há fiscalização sobre a destinação destes resíduos, automaticamente, cria-se um cenário completamente inadequado quanto à sua função, grandes problemas são gerados tais como: contaminação do solo, multiplicação de vetores e doenças, degradação do

ambiente, problemas de drenagem superficial, obstrução de córregos, entre tantos outros. Problemas estes que são enquadrados como impactos ambientais (25).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da Resolução Nº 307 de 05/07/02, estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Com o propósito de minimizar os impactos ambientais esta resolução regulamenta o reuso, a reciclagem e a destinação final dos resíduos da construção civil. A resolução determina que os municípios devem implementar o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, onde serão incorporados o Programa Municipal de Resíduos da Construção Civil e Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil considerando os geradores desses resíduos como os responsáveis dos resíduos das demolições.

As normas técnicas publicadas pela ABNT em 2004 são normas referentes aos resíduos da construção civil. O conteúdo destas normas, conforme demonstrado no quadro 1, e assimiladas as diretrizes propostas pela Resolução 307/2002 CONAMA se tornam bastante eficientes ao incrementar o gerenciamento dos resíduos.

Quadro 1 - Normas Técnicas de Resíduos da Construção Civil

Número da Norma	Nome	Aspecto da gestão sustentável dos resíduos da construção abordado
NBR 15.112:2004	Resíduos da Construção Civil e Volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	Manejo urbano dos resíduos da construção civil
NBR 15.113:2004	Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	
NBR 15.114:2004	Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	
NBR 15.115:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos	Uso dos agregados reciclados
NBR 15.116:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos	

Fonte: (26)

3.1 A gestão dos resíduos da demolição no canteiro de obras

A implantação do programa de gestão de resíduos é um sequenciamento de atividades iniciado logo após a implosão, devendo ser realizado dentro e fora do canteiro de obra. Para que a implantação desse programa seja eficiente deverá existir um treinamento, planejamento e monitoramento durante todo o processo antes da implantação do programa é gerado um plano e orçamento para que todos os recursos e equipamentos necessários à gestão dos resíduos sejam providenciados (27).

O processo de reciclagem dos resíduos de classe A, compostos por alvenaria, concreto, argamassas, componentes cerâmicos e materiais similares, é realizado no próprio canteiro esta classe envolve a maior concentração dos resíduos da implosão. As outras classes de resíduos são segregados, acondicionados e transportados para usinas recicladoras legalmente responsáveis como o aço que pode ser enviado para siderúrgicas e entrar em um novo processo de fabricação e a madeira que pode ser utilizada para alimentar fornos de cerâmicas. Já os resíduos que não são reaproveitáveis deverão ter destinação ou descarte final de acordo com a resolução do CONAMA nº 307 e NBR's aplicáveis, o que torna o modelo de gestão de resíduos eficiente na redução do impacto ambiental.

O monitoramento com emissão de relatórios e registros quantitativos e classificativos dos resíduos reaproveitados, destinados para usinas recicladoras e de resíduo, descartadas deve ser realizado durante todo o processo de gestão gerando maior controle dos resíduos que também permitirá avaliar a implantação do processo de gestão.

Os diferentes tipos de resíduos da demolição devem ser classificados de acordo com a Resolução nº 307/2002 do CONAMA. Com base nessa classificação os resíduos terão seus destinos determinados como demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 – Classificação dos resíduos

Tipo	Definição	Exemplo	Destinação
Classe A	Reutilizáveis e recicláveis como agregados.	Alvenaria, concreto, argamassa, solos, blocos, tubos, telhas, outros.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a área de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	Recicláveis para outras destinações.	Madeira, papel, plástico, metal, outros.	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	Sem tecnologia ou utilizações economicamente viáveis para reutilização e/ou reciclagem.	Produtos oriundos do gesso.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Resíduos perigosos.	Tintas, óleos, solventes, amianto, etc.	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: (28)

A triagem dos resíduos é o processo de classificação dos resíduos e para maior eficiência deve acontecer no próprio canteiro. O canteiro de obras deve ser um ambiente organizado com padronização no fluxo dos resíduos e dos equipamentos. Este processo deve ser muito bem implantado visando garantir quantidade e qualidade do resíduo a ser reciclado.

O canteiro de obras deverá ser caracterizado por: área dos resíduos gerados na demolição, quantidade de funcionários, área para reciclagem dos agregados, arranjo físico do canteiro (equipamentos de reciclagem, dispositivos para acondicionamento, transportadores, etc.) e área para acondicionamento dos resíduos e sinalização do canteiro de obras.

O processo de segregação deve contemplar a definição de fluxo dos resíduos para o acondicionamento inicial, local de reciclagem dos agregados e armazenamento final, como também a caracterização dos resíduos gerados pela implosão, respeitando as classes dos resíduos no quadro 2 e registros da destinação dos resíduos (27).

Após a triagem os resíduos da implosão devem ser acondicionados em local específico para cada tipo de resíduo até atingir um nível que justifique o transporte interno para reciclagem ou o transporte para seu destino final. Podem ser utilizadas baias e caçambas como dispositivos de acondicionamento os quais devem ser identificados pelo tipo de resíduo que armazenam, mantendo assim a organização dentro do canteiro (29).

As atividades de reaproveitamento de fragmentos do tipo classe A, pode acontecer na própria obra, que além de agilizar o reaproveitamento diminui custos com o transporte do volume gerado na demolição. O processo de reaproveitamento inicia-se através da seleção e contratação de empresa especializada a qual possui capacidade para reciclar a quantidade dos resíduos dispostos.

Para a britagem pode-se utilizar um britador de mandíbulas móvel, do tipo/ modelo URM 2015 do fabricante Fragmine, o peso total do equipamento é de aproximadamente 3 toneladas. Este equipamento é dotado de mandíbulas e duas peneiras podendo utilizá-las simultaneamente, possui também dois vibradores elétricos para mover o agregado reciclado. Com este equipamento é possível alcançar duas frações granulométricas, sendo possível a rebitagem ou a reutilização do material que não passa pela peneira superior. Com as peneiras obtém-se a geração de agregados graúdos e miúdos em diversas granulométricas. Sua capacidade de produção varia entre 1,5 a 4m³ de resíduos britados por hora, quanto maior a abertura da mandíbula maior será a produtividade (30).

É de grande importância que na etapa de segregação os resíduos do tipo classe A, cheguem no processo de reciclagem sem nenhum tipo de contaminação, como gesso, solo, matéria orgânica entre outros, resultará em uma melhor qualidade do agregado reciclado (31).

É necessário que antes de efetivar o processo de reciclagem com os britadores seja feita uma britagem inicial de 1 m³ com o objetivo de estabelecer o processo, retirar a amostra do agregado para a caracterização, registra o volume de resíduos britados por hora, ajustar o processo de britagem e o volume de agregado

gerado por granulométrica. Todos esses dados devem ser registrados em planilhas e acontece durante todo o processo de reciclagem, sendo a coleta do material para análise e seus respectivos registros feitos diariamente (32).

A análise das amostras coletadas deve ser realizada em laboratório, tornando possível caracterizar o agregado reciclado. A referência utilizada para essa caracterização é a NBR 15.116, que normatiza o uso dos agregados reciclados em 2 grupos, o primeiro grupo refere-se ao preparo de concreto sem função estrutural, tendo seu uso destinado a enchimentos, contra pisos, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais como blocos de vedação, meio fio, sarjetas e canaletas; e o segundo para as obras de pavimentação viária: em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas (33).

A partir dessa normatização é definido o material a ser produzido com os agregados reciclados. Com o resultado da análise das amostras coletadas inicia-se a produção de avaliação desses materiais. Estes materiais serão utilizados como referência e comparação com os materiais produzidos com agregados naturais para a definição do percentual de substituição do agregado natural pelo reciclado. O percentual de substituição deve garantir as características e o desempenho exigidos para o material (30).

3.2 Aplicações do agregado reciclado

A utilização de agregados graúdos obtidos através do processo de reciclagem permite a produção de concreto com massa específica abaixo de $2,0 \text{ g/cm}^3$, essa propriedade o caracteriza como concreto leve. Ensaios de resistência à compressão demonstram que apesar de apresentar baixa resistência é possível observar boa aderência com a argamassa, o que permite seu uso em concreto sem função estrutural ou isolante (34).

Em ensaios realizados com blocos de concreto para verificar a resistência à compressão seguindo as recomendações propostas pela norma aplicável, foi demonstrado que os blocos de concreto produzidos com 20%, 30% e 40% de areia reciclada apresentam valores de resistências superiores aos que a norma NBR 9780 (1987) preconiza, podendo ser utilizados em pavimentos que sejam solicitados por veículos comerciais, pois apresentam resistências superiores a 35 Mpa (35).

Nos procedimentos de ensaios para averiguação do comportamento de lajes pré-moldado produzidas com concreto reciclado obteve-se resultado muito semelhante ao comportamento de uma laje produzida com concreto de referência, utilizando agregado natural, para valores de deslocamentos abaixo da flecha limite estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT 2004), viabilizando sua utilização para este tipo de material pré-moldado (36).

O emprego de agregado reciclado possibilita a produção de vários materiais no ramo da construção civil tais como blocos de alvenaria, blocos de pavimentação, concretos, entre outros. Pesquisas realizadas indicam que a utilização desses agregados em concretos das mais variadas classes apresentam um bom potencial, e em conjunto com a viabilidade econômica tem contribuído para a intensificação da sua utilização no Brasil.

4 ESTUDO DE CASO: USO DE EXPLOSIVOS NA DEMOLIÇÃO DO ESTÁDIO PLÁCIDO ADERALDO CASTELO E O REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS

O presente estudo de caso trata da obra de implosão que fez parte da reforma do Estádio Plácido Aderaldo Castelo, conhecido como “Castelão” situado na cidade de Fortaleza, no estado do Ceará. Foram elencados dois importantes fatores decisivos para a escolha dessa obra, quais sejam: a implosão realizada em parte da arquibancada do estádio que utilizou o melhor da Engenharia Civil em termos de tecnologia de demolição parcial de estrutura de concreto armado e também por utilizar técnicas da Engenharia Ambiental no que tange ao reaproveitamento de material reciclado do entulho gerado pela implosão de parte da estrutura.

O Estádio Castelão foi construído em 1969 e é considerado uma relevante realização arquitetônica da década de 1970, sendo o engenheiro Hugo Alcântara Mota responsável pelo cálculo estrutural(37).

O projeto original do estádio atendia à função, no entanto não possuía atrativos estéticos, que somados a deterioração causada do tempo o tornava o "patinho feio" dos estádios brasileiros (38).

A implosão, aqui tratada, ocorreu no ano de 2011 e fez parte de uma das etapas da obra de ampliação, modernização e adequação do Estádio Castelão para

a Copa do Mundo da Federação Internacional de Futebol (FIFA) - Brasil 2014 (39). Esta obra de implosão foi além da simples intervenção no estádio, tendo como desafio maior a retirada de parte da arquibancada apenas. Uma “fatia” equivalente a um quinto da edificação foi implodida, preservando o restante da estrutura original do estádio (40).

A obra seguiu o modelo de construção sustentável – uma das exigências da FIFA. Para receber um dos principais selos verdes, a certificação Leed (Leadership in Energy and Environmental Design) todos os cuidados necessários foram tomados. Entre eles, a reciclagem de todo o concreto obtido das demolições (41). O consórcio construtor, formado pelas empresas Galvão Engenharia e Andrade Mendonça, transformou a obra do Castelão em sustentável, obtendo no plano nacional o certificado da Organização Internacional para Padronização (ISO) 14001 (42).

A empresa Fábio Bruno Construções, contratada pelo Consórcio Castelão para realizar o serviço, é a única empresa brasileira com certificação ISO 9000. A empresa atua desde o ano de 1970 e dedica-se a serviços de implosões, túneis e desmonte de rocha com a realização de mais de 20 implosões de edificações de grande porte com sucesso (39).

Conforme informações divulgadas por esta empresa, optou-se pelo processo de demolição via implosão porque a demolição convencional mecânica demandaria um prazo maior causando atrasos, além de onerar recursos financeiros e mão de obra (43).

Outra análise determinante para a escolha do método é que qualquer fragmento resultante da demolição mecânica poderia atingir os trabalhadores, equipamentos e máquinas, causando transtorno sócio ambiental com a geração de poeira diária, colocando em risco a saúde dos operários e da vizinhança o que causaria outras reclamações (43).

Mais um fator relevante foi que a parte da arquibancada a ser demolida apresentava sistema estrutural de porte alto, ou seja, sua altura. Além disso, próximo à arquibancada havia uma edificação vizinha, o prédio da Secretaria de Esporte do Estado do Ceará, a qual não poderia sofrer nenhum dano (43).

O trabalho de implosão realizado com perfeição e segurança garantindo que os resíduos de concreto armado tombassem na área interna, sem riscos de que os fragmentos fossem ultra lançados a simulação foi executada no software

desenvolvido pela empresa norte americana *Applied Science International*(ASI), o qual simula implosões de estruturas(44).

Para isto, cinco simulações foram executadas com diversas variações de cargas de explosivos, tempos de detonação e furos em diferentes pontos da estrutura até atingir um grau de segurança que definiu o projeto de implosão (43).

Este sistema permitiu uma sintonia fina, o que possibilita chegar, com exatidão em um tamanho do corte que deveria ser feito na estrutura das arquibancadas do estádio, além de estabelecer o tempo que a estrutura deveria levar para cair coeficiente igual a 1,6 segundos(44).

Neste processo de implosão foram usados explosivos de uso industrial, como:

Quadro 3: Tipos de explosivos e acessórios

Material	Metodologia
Dinamite convencional de Pedreira	Se refere a explosivos do tipo emulsão encartuchada, embalada em cartuchos cilíndricos, normalmente em filme plástico.
Cordel Detonante	Constituído de tubo flexível preenchido com material explosivo nitropenta, RDX ou HMX, destinado a transmitir a detonação do ponto de iniciação até a carga explosiva seu tipo mais comum é o NP10, ou seja, aquele que possui 10g de nitropenta/RDX por metro linear.
Brineis	Nome comercial dado a sistema iniciador não elétrico formado por conjunto de espoleta de retardo e tubo flexível oco com revestimento interno de película de mistura explosiva ou pirotécnica suficiente para transmitir a onda de choque ou de calor sem danificar o tubo até a espoleta.
Espoletas não Elétricas	Constituída de tubo de alumínio, contendo, em geral uma carga explosiva de nitropenta com um misto de azida de chumbo, sendo o tipo mais usado espoleta comum número 8, também conhecida como espoleta não elétrica ou pirotécnica.

Fonte (10)

Para realizar o trabalho de demolição via implosão foi necessário primeiramente executar o trabalho de separação da arquibancada, a fração que seria implodida e a que deveria ficar intacta (43).O processo de separação da arquibancada foi feito com cortes precisos na estrutura utilizando-se ferramentas que empregam tecnologia de fios diamantados também conhecido como sistema “wiresaw” (serra de fios), o qual tem a capacidade de ser adaptado em qualquer tipo de estrutura e produzir cortes precisos em grandes espessuras de concreto armado

através de sistema de polias não produzindo ruídos ou vibrações e sendo operado a distância através de controle remoto(45).

Com esta metodologia de separação abriu-se um espaço deixando as extremidades da parte da arquibancada a ser demolida completamente soltas. Foi realizado a contenção da estrutura separada, com andaimes, com a função de escoramento para que a arquibancada soltanão caísse antes do tempo. Após este procedimento de separação e contenção iniciou os preparativos para a implosão, através de estudos da ferragem e concreto da estrutura para verificar a melhor maneira de executar o projeto de implosão sobre a mesma (43).

Foi executado na estrutura de concreto armado 900 furos, os quais foram carregados com um total de 500 quilos de explosivo, sendo estes dinamite convencional de pedra, cordel detonante, brineis e espoletas não elétricas. Todos interligados entre si, de forma que se algum detonador, no caso espoleta, falhasse haveria compensação para que a detonação ocorresse de forma eficiente.

Medidas adicionais de segurança foram adotadas como: a colocação de um forro de terra em toda a extensão da arquibancada para minimizar problemas de vibração em edificações vizinhas e amortecer as vigas que se encontravam penduradas na parte superior, o pé da estrutura também foi retirado em todos os andares para que a estrutura caísse rodando sobre ela mesma na área pré-definida no projeto de implosão. Para evitar ultra lançamentos de fragmentos cinco malhas de tela conhecida como rede de molengo, foram adicionadas para retardar qualquer fragmento que caso ultra lançado atingiria até vinte metros da arquibancada implodida (43).

O consórcio Castelão preparou-se por três meses para a implosão adotando medidas preventivas de segurança como: a inspeção cautelar de todos os imóveis próximos ao estádio produzindo documentos personalizados, que foram registrados em cartório; avaliando a condição dos imóveis antes da data da implosão, pois se esta causasse algum dano seria providenciada reparação; distribuição de instruções documentadas detalhando de como seria realizada a operação. Além do consórcio Castelão dispor de seguros de Responsabilidade Civil e de Engenharia, a fim de garantir a segurança da obra e da periferia em caso de eventualidades (46).

Dentre os procedimentos de segurança houve convenções de avisos sonoros de sirene com ordens de bloqueio total das vias, inspeção da área evacuada, aviso

de implosão e, por fim, aviso de liberação da área após checagem dos técnicos responsáveis (47).

No dia da implosão, os trabalhos começaram às 6 horas, com o posicionamento das equipes que totalizando em 245 pessoas e 54 viaturas no entorno interditado do estádio para garantir segurança e ordem durante a toda a operação. Num trabalho integrado entre várias autoridades dentre elas, Defesa Civil do Estado e do Município, Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Polícia Civil, Autarquia Municipal de Transito (AMC), Guarda Municipal de Fortaleza e Consórcio Castelão. A população residente na área de segurança máxima, com raio de 200 metros do Castelão, ou seja 79 famílias foram evacuadas e retornaram para as suas residências às 10 horas (46).

A operação de implosão teve duração de exatos nove segundos previstos e, após um estrondo constatou que os 20% da estrutura da arquibancada se encontravam no chão conforme planejado.(46).

Segundo o gerente técnico do consorcio Castelão, Paulo Castro, a implosão foi um sucesso com base nos dados emitidos por quatro sismógrafos instalados ao redor do estádio, os quais mediram a intensidade nos tremores de terra. A reverberação da onda causado pelo impacto da implosão foi de menos de cinco milímetros por segundo, a norma brasileira permite até quinze milímetros por segundo. As edificações e residências próximas a região implodida não foram afetadas pela implosão (46).

Dando sequencia aos trabalhos, logo após a implosão ocorrer com êxito e ter a liberação da área, começaram os trabalhos de remoção de todos os resíduos sólidos gerados na ordem 3000 m³, ou seja, o que se chamou de entulho de parte das arquibancadas implodidas (48). Seguindo os critérios de sustentabilidade houve o reaproveitamento de todo o concreto obtido nas demolições, conforme o gerenciamento dos resíduos da construção civil (RDC) utilizando o material no reaproveitamento próprio canteiro da obra ou fazendo o seu correto encaminhamento (49).

No canteiro de obras do Estádio Castelão já havia sido construído, desde 2010, uma central de reciclagem de material para realizar a britagem dos resíduos sólidos cimentícios advindo das estruturas demolidas servindo para fazer brita, pedrisco e concreto, utilizando um moderno maquinário de origem Finlandesa, o qual produziu 36 mil toneladas de material (42, 50). Este resíduo sólido britado foi

exclusivamente todo reutilizado dentro da própria obra como base e sub base granular em todos os pavimentos construídos, com ênfase para os estacionamentos cobertos Norte e Sul do Estádio (39).

O aço contido e separado das estruturas demolidas foram enviados para serem reciclados em siderúrgica licenciada, sendo empregado neste caso, a logística reversa que é quando se envia o material para a indústria novamente para ser utilizado novamente em processo industrial (51, 52). Com estas medidas de reaproveitamento houve redução na previsão inicial que determinava que 50% de resíduos fossem enviados para o descarte, sendo o gerenciamento dos resíduos da obra determinantes para evitar que 97,07% dos resíduos gerados fossem enviados para aterros sanitários locais, minimizando os impactos ambientais através da reutilização ou reciclagem (53).

A adoção destas medidas ambientais sustentáveis gerou economia, prova disto é obtenção da certificação LEED, que é considerada o selo verde supremo em relação ao reconhecimento de construções sustentáveis, o qual utiliza critérios rígidos que avaliam parâmetros econômicos, sociais e ambientais compondo o triple Bottonline do desenvolvimento sustentável, sendo adotada em 143 países.

Entre os vários fatores avaliados, citou se a minimização de prejuízos socioambientais no entorno das construções, a economia de água, a utilização de novos materiais e de fontes de energia alternativas (54). Nesta obra os fatores que contribuíram para a certificação foram o racionamento de material e a utilização de insumos locais, medidas que resultaram em economia de toneladas de aço e concreto (40).

5 ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL GERADO NO ESTUDO DE CASO

Em contra partida a eficiência e a segurança de uma demolição com uso de explosivos é necessário observar o impacto à vizinhança que este tipo de demolição pode causar, sendo este impacto de curta ou longa duração. Cada obra tem sua peculiaridade e uma implosão deve ser bem controlada devido a todas as interferências existentes.

Da mesma forma que na construção, na demolição devem ser elaborados o planejamento para cada tipo de edificação e os procedimentos por atividade, observando as Normas Reguladoras da Portaria 3.214. Outro item necessário é o laudo de vistoria cautelar, ferramenta gerencial que evidencia as características dos imóveis vizinhos, atestando o estado de uso e conservação das edificações, interferências urbanas e circulação de veículos, minimizando reclamações que ocorrem durante e após as obras (55).

Demolições com uso de explosivos geram fatores negativos como danos em construções adjacentes à área de demolição, projeção de poeira no ar nas imediações da obra, riscos associados a poluição sonora (ruídos), incêndios e riscos elétricos, bem como para fauna ali residente. (18).

Na detonação a estrutura funciona como uma fonte de vibração que é propagada através das estruturas de suporte da edificação até as fundações e conseqüentemente distribuída no terreno, a vibração geralmente representa a maior fonte de impacto causado na demolição. A intensidade deste efeito irá depender da massa do material em queda, a distância da queda ao solo e a duração do impacto (18).

O tamanho do material fragmentado dispersado no ar durante a demolição está ligado ao potencial de provocar doenças. As partículas de maior preocupação são as de tamanho igual ou menor a 10 micrômetros, pois estas partículas tem a facilidade de penetrar as fossas nasais e garganta causando doenças respiratórias e cardíacas, perda de visibilidade além de alteração da qualidade da água, danos ao solo e prejuízos a flora (56).

Durante a detonação ou no colapso da estrutura acontece uma propulsão não controlada dos fragmentos da estrutura, sendo essa a principal origem de danos causados a edificações vizinhas e até mesmo às pessoas. As projeções mais graves são ocasionadas pela detonação, que devido à velocidade inicial muito significativa atinge grande alcance (18).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa foi possível aprofundar os conhecimentos sobre as técnicas de demolição em estruturas de concreto armado, com uso de explosivos, bem como entender os processos para o reaproveitamento dos resíduos gerados.

A obra que deu fundamentos a esta pesquisa foi executada atendendo a legislação nacional e atendeu padrões de excelência em demolição e reaproveitamento de resíduos. Tanto que, recebeu méritos internacionais do ramo de demolição e certificação de sustentabilidade.

A obra de demolição do estudo de caso tomou todas as medidas preventivas de segurança para realizar a demolição e executou a demolição com extrema eficiência conforme o planejado. Todas as etapas que antecipavam a demolição foram realizadas cautelosamente para que o objetivo final fosse o mais perfeito possível, bem como o reaproveitamento que foi planejado muito tempo antes da demolição e alcançando mais de 97% de reaproveitamento de todos os resíduos produzidos pela demolição.

Cabe aqui relatar que, nos arquivos divulgados na imprensa sobre execução da técnica de implosão, mostra uma equipe envolvida que segue rigorosamente um planejamento prévio, comemorando o êxito da técnica somente após verificação dos quesitos fundamentais, respeitando a fragilidade da técnica que não permite erros. Este estudo de caso trouxe à luz que, a Engenharia Civil brasileira acompanha as tendências de estudos técnicos e está além da linha tradicional de construção civil.

REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, Carlos. **Lixo, reciclagem, reaproveitamento e clima**. Disponível em: <https://issuu.com/mobilizadorescoep/docs/cartilha_lixo__reciclagem__reaprove/1>. Acesso em: 08 mar. 2016.
- 2 HARRIS, Tom. **Como funcionam as implosões de edifícios**. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/implosao.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2015.
3. LEANDRO. **Métodos de demolição**. 2009. Disponível em: <<http://www.guiadaobra.net/forum/viewtopic.php?t=726>>. Acesso em: 20 nov. 2015.
4. SANTOS, Altair. **Implosão de obras exige tecnologia de ponta: Implosão de obras exige tecnologia de ponta**. 2012. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/implosao-de-obras-exige-tecnologia-de-ponta/>>. Acesso em: 16 nov. 2015.
5. CORRÊA, Edvaldo. **Implosão de um edifício: como funciona?** 2010. Disponível em: <<http://www.edvaldocorrea.com.br/2010/09/implosao-de-um-edificio-como-funciona.html>>. Acesso em: 05 jan. 2016.
6. LIMA, Eduardo Campos. **Implosões de edifícios. Infraestrutura Urbana: Os parâmetros de contratação, as autorizações e os procedimentos de**

fiscalização recomendados para gestão de demolições de edificações públicas, São Paulo, v. 11,, dez. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo256236-1.aspx>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

7. **BRASIL. NORMA REGULAMENTADORA 19: Explosivos**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-19atualizada2011.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

8. ARAÚJO, Giovanni Moraes de. NR-19 Explosivos. In: ARAÚJO, Giovanni Moraes de. **Normas regulamentadoras comentadas e ilustradas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde Consultoria, Editora e Livraria Virtual, 2014. p. 1353-2929. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=THj1KD3dfksC&printsec=frontcover&dq=isbn:859933106X&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwik5pGwop7LAhVKC5AKHQu7CukQ6AEIHTAA#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

9. GOMES, Cabral. Novas Tecnologias na iniciação de cargas explosivas. **Proelium: Revista da academia militar**, Lisboa. p.127-136, 2008. Disponível em: <http://www.academiamilitar.pt/index.php?option=com_rubberdoc&view=doc&id=10&format=raw>. Acesso em: 15 dez. 2015.

10. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Portaria nº 03, de 10 de maio de 2012, do Comandante do Exército. Aprova as Normas Relativas às Atividades com Explosivos e seus Acessórios e dá outras providencias. Brasília: EME, 2012. Disponível em: <<http://www.dfpc.eb.mil.br/index.php/publicacoes/category/41-explosivos>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

11. GOMES, Raul; BRITO, Jorge de. **O emprego de explosivos da demolição de estruturas**. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281744367_O_Emprego_de_Explosivos_na_Demolicao_de_Estrutura>. Acesso em: 20 dez. 2015.

12. GOMES, João Ferreira; OLIVEIRA, Fernanda Sá. **Técnicas de demolição**. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-pb/03_Técnicas_de_demolição_-_3ª_e_4ª_aulas_téóricas.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2015.

13. GOMES, Givalder Martins. **Medidas Preventivas na Execução de Trabalhos de Demolição e Reabilitação de Edifícios Antigos – Técnicas e Equipamentos de Demolição**. 2010. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Vila Real, 2010. Cap. 3. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/1636978-Medidas-preventivas-na-execucao-de-trabalhos-de-demolicao-e-reabilitacao-de-edificios-antigos-tecnicas-e-equipamentos-de-demolicao.html>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

14. COMO demolir. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 105, abr. 2010. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/105/artigo299380-1.aspx>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

15. PET CIVIL UFJF. **A famosa Av. Perimetral veio ao chão**. Disponível em: <<http://blogdopetcivil.com/tag/implosao/>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

16. YAZIGI, Walid. Serviços Iniciais: Cuidados na obra. In: YAGIZI, Walid. **A Técnica de edificar**. 10. ed. São Paulo: Pini, 2009. Cap. 1, p. 49.

17. BRASIL. **NORMA REGULAMENTADORA 18**: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2009. Disponível em: <<http://www.mtps.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR18/NR18-4.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

18. GOMES, Gabriel de Jesus. Controlo de impactes associados aos trabalhos de demolição com explosivos. **Proelium**, Lisboa, n. 14, p.147-190, jul. 1992. Disponível em: <<http://www.academiamilitar.pt/proelium-n.o-14/controlo-de-impactes-associados-aos-trabalhos-de-demol>>. Acesso em: 24 dez. 2015.

19. SALSA, Carol. **Geração de resíduos de construção civil: desafios e soluções, artigo de Carol Salsa**. 2009. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2009/05/18/geracao-de-residuos-de-construcao-civil-desafios-e-solucoes-artigo-de-carol-salsa/>>. Acesso em: 27 fev. 2016.

20. LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/45864/000292768.pdf?locale=pt_BR>. Acesso em: 20 nov. 2015.

21. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002. **Diário Oficial da União**, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.

22. PORTO, Maria Edelma Henrique de Carvalho; SILVA, Simone Vasconcelos. Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Proceedings...**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008. p. 1 - 12. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_079_551_11839.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.

23. SPOSTO, Rosa Maria. **Os resíduos da construção: problema ou solução?** 2006. Disponível em: <<http://www.espacoacademico.com.br/061/61sposto.htm>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

24.SILVA, Elaine Cristina Barbosa Domingos da. **Gerenciamento e Reciclagem dos Resíduos Sólidos na Construção Civil**.2013. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2013/12/02/gerenciamento-e-reciclagem-dos-residuos-solidos-na-construcao-civil-por-elaine-cristina-barbosa-domingos-da-silva/>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

25.WIENS, Ivy Karina; HAMADA, Jorge. **Gerenciamento de resíduos da construção civil – uma introdução à legislação e implantação**. 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/374.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2015.

26.CARELI, ElcioDuduchi. **2002-2012 – 10 anos da Resolução CONAMA no 307/2002: Um cenário evolutivo**. Disponível em: <<http://www.obralimpa.com.br/index.php/2002-2012-10-anos-da-resolucao-conama-no-3072002-um-cenario-evolutivo/>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

27.LORDÊLO, Patrícia M.; EVANGELISTA, Patrícia P. A.; FERRAZ, Tatiana G. A.. **Programa de gestão de resíduos em canteiros de obras: método, implantação e resultados**. 2007. Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_129.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

28.PAES JUNIOR, Ariovaldo. **Resíduos Sólidos na Construção civil**. 2011. Disponível em: <http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao35.asp>. Acesso em: 26 dez. 2015.

29.LIMA, Rosimeire Suzuki; LIMA, Ruy Reynaldo Rosa. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Londrina: Crea-PR, 2009. 60 p.

30.EVANGELISTA, Patrícia Pereira de Abreu. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A: Diretrizes para reciclagem em canteiros de obras**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. Disponível em: <<http://www.meau.ufba.br/site/publicacoes/alternativa-sustentavel-para-destinacao-de-residuos-classe-diretrizes-para-reciclagem-em>>. Acesso em: 26 dez. 2015.

31.MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Elcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p.57-71, jan. 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/7183/4909..>>. Acesso em: 26 dez. 2015.

32.EVANGELISTA, Patrícia Pereira de Abreu. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A: Diretrizes para reciclagem em canteiro de obras**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. Disponível em: <http://www.meau.ufba.br/site/system/files/2009_Patricia_Evangelista.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2015.

33.ABNT. NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil –Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

34.GOMES, Paulo César Correia et al. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p.31-46, jul. 2015. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/49638/34442>>. Acesso em: 28 dez. 2015.

35.SANTOS, Adriana Goulart dos; CAGNETI, Carina; MICHELS, Bianca. **Avaliação da resistência mecânica de blocos de concreto para pavimentação usando em sua composição agregado miúdo reciclado**. Disponível em: <<http://www.anpet.org.br/xxviiiianpet/anais/documents/RIC45.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2015.

36.ARAGÃO, Hélio Guimarães. **Análise estrutural de lajes pré-moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/HelioGuimaraesAragao.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2015.

37.ARQUIMEMÓRIA – ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO, 4, 2013, Salvador. **Arena Castelão em Fortaleza: destruição do moderno ou (des)construção contemporânea?** Salvador: Arquimemória, 2013. 14 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10153/1/2013_eve_arena.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2016.

38.ARAÚJO, Jussara Camargo de; EID, Marco Antônio. Engenho e arte na nova estrutura do Castelão. **Unar**, Araras, v. 7, n. 2, p.1-6, jul. 2013. Disponível em: <http://revistaunar.com.br/cientifica/documentos/vol7_n2_2013/1_engenho_arte.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2016.

39.LINHARES, Lisiane; LIMA, Viviane. **Implosão do Castelão ganha prêmio internacional de precisão técnica em engenharia**. 2011. Disponível em: <<http://www.ceara.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/4598-implosao-do-castelao-ganha-premio-internacional-de-precisao-tecnica-em-engenharia>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

40.MELLO, Tais. **100% brasileira**. Disponível em: <http://www.galeriadaarquitetura.com.br/projeto/vigliecca-associados_/arena-castelao/826>. Acesso em: 02 mar. 2016.

41.LISIANE LINHARES. **Obras do Castelão seguem modelo de construção sustentável**. 2011. Disponível em: <<http://www.ambiencia.org/site/obras-do-castelao-seguem-modelo-de-construcao-sustentavel/>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

42. GREENNATION (Org.). **Estádio cearense do Castelão inaugurado hoje adotou medidas de sustentabilidade.** 2012. Disponível em: <<http://www.greennation.com.br/blog/estadio-cearense-do-castelao-inaugurado-hoje-adotou-medidas-de-sustentabilidade/2367>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
43. IMPLOÇÃO do Estádio Castelão - Fábio Bruno Construções. Rio de Janeiro: Fábio Bruno Construções LTDA, 2011. P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?list=UUISOG90yUI95bXNTfN-CvLA&v=xsKJNM6ckMo>>. Acesso em: 12 fev. 2016
44. A MELHOR do mundo em implosões. **Construir**, Rio de Janeiro 55, n. 55, p.24-26, mar. 2014. Disponível em: <<http://www.aeerj.net.br/file/construir/construir55.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
45. FURACON. **Demolição controlada com fios diamantados (sistema wiresaw).** Disponível em: <<http://www.furacon.com.br/sistema-wire-saw.php>>. Acesso em: 12 mar. 2016.
46. HOLANDA, Mirela. **Autoridades garantem que novo estádio estará pronto no final de 2012.** 2011. Disponível em: <<http://www.oestadoce.com.br/esportes/autoridades-garantem-que-novo-estadio-estara-pronto-no-final-de-2012>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
47. LINHARES, Lisiane; LIMA, Viviane. **Implosão de 20% da arquibancada superior do Castelão acontece neste domingo.** 2011. Disponível em: <<http://www.ceara.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/3525-implosao-de-20-da-arquibancada-superior-do-castelao-acontece-neste-domingo>>. Acesso em: 01 mar. 2016.
48. ADERALDO, Daniel. **Implosão de arquibancada muda cara do estádio em Fortaleza.** 2011. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/ce/implosao+de+arquibancada+muda+cara+d+o+estadio+em+fortaleza/n1597025037660.html>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
49. LINHARES, Lisiane. **Obras do Castelão seguem modelo sustentável.** 2011. Disponível em: <<http://www.ceara.gov.br/index.php/sala-de-imprensa/noticias/3020-obras-do-castelao-seguem-modelo-de-construcao-sustentavel>>. Acesso em: 07 mar. 2016.
50. INOVA TECH ENGENHARIA (Org.). **Construções sustentáveis conquistam espaço.** 2013. Disponível em: <<http://www.inovatech engenharia.com.br/construcoes-sustentaveis-conquistam-espaco/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
51. RODRIGUES, Íkara. **Legado sustentável.** 2011. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/jogada/legado-sustentavel-1.585532>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
52. FRANÇA, Ana Judite G. Limongi. **Sustentabilidade no canteiro de obras.** 2014. Disponível em:

<<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/1012/Sustentabilidade-no-canteiro-de-obras.aspx>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

53. REDAÇÃO ECOD (Org.). **Arena Castelão é a primeira do Brasil a conquistar selo Leed de impacto ambiental.** Disponível em:

<<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/dezembro/arena-castelao-e-a-primeira-do-brasil-a-conquistar#ixzz40qTQPZb1>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

54. CAPELAS JUNIOR, Afonso. **Sustentabilidade na copa: O legado para o Brasil e o mundo.** 2014. Disponível em:

<<http://www.diariodocentrodomundo.com.br/sustentabilidade-na-copa-o-legado-para-o-brasil-e-o-mundo/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

55. NATANSON, Alejandro. **Planejamento e segurança em obras de demolição.** 2015. Disponível em: <<http://alec.org.br/novo/rental/planejamento-e-seguranca-em-obras-de-demolicao/>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

56. RESENDE, Fernando. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: Avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios.** 2007. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/personal_files/francisco_cardoso/Dissertação_Fernando_Resende_pós-banca_2.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2016.