



# Gerenciamento e Destinação de Resíduos da Construção Civil nas Cidades Brasileiras

---

Hannah Brandino, arquiteta

*GAUGE-F Scientific Researches, Brasil.*

Nilo Serpa, físico teórico e arquiteto

*GAUGE-F Scientific Researches, Brasil; Faculdades ICESP, Brasil.*

Célio Honorato de Oliveira, Coordenador do Curso de Engenharia Civil

*Faculdades ICESP, Brasil.*

Recebido: Novembro\_\_04\_\_ / Aceito: Dezembro\_\_02\_\_ / Publicado: Dezembro\_\_02\_\_.

**Abstract:** This article aims to discuss the current situation of generation and disposal of solid waste from civil construction in Brazil, focusing on the need to introduce green managements in construction sites. The environmental impacts and the reduction of their effects are treated according to the physical foundations of the concept of entropy. An architectural proposal for a center of ecological collection and disposal of solid waste originated in construction sites is also presented for educational purposes and purposes related to increasing the employability of citizens and garbage collectors. It proposes a *Leadership in Energy and Environmental Design* certification exclusively for green sites.

**Key Words:** solid waste, entropy, environmental impact, construction site, green management, green site.

## 1. Introdução

É lícito afirmar que o primeiro “impacto ambiental” provocado no meio literário com desdobramentos intelectuais e sociais apreciáveis foi devido à obra “A Primavera Silenciosa” de Rachel Carson (1962), na qual

---

**Autor correspondente:** Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., Professor, áreas de pesquisa: gravitação quântica, computação quântica, cosmologia e engenharia de sistemas termodinâmicos. E-mail: [nilo.serpa@icesp.edu.br](mailto:nilo.serpa@icesp.edu.br).

a natureza se apresenta como presa vulnerável da cegueira tecnocrática humana. Após o pronunciamento em 1987 da diplomata Norueguesa Gro Brundtland, ocasião em que mais uma vez afirmou sua liderança em sustentabilidade com a frase “Desenvolvimento sustentável significa suprir as necessidades do presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprirem as próprias necessidades”, as nações têm voltado olhos atentos ao desenvolvimento de técnicas e processos de redução das emissões de gases de efeito estufa e da geração de resíduos sólidos urbanos.

Desde então, um dos assuntos mais debatidos entre ambientalistas, arquitetos, engenheiros e ecologistas é o

gerenciamento dos resíduos sólidos (GRS). O GRS — conjunto de procedimentos de gestão, planejados e colocados em prática a partir de bases científicas e técnicas, normativas e legais, com o objetivo de minimizar a produção de resíduos e os riscos de descarte destes — visa à proteção dos trabalhadores, à preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente. A implantação de sistemas de GRS com todos os requisitos de segurança exigidos, em cada etapa de manejo, é mister nas sociedades que se encontram em altos níveis de organização e desenvolvimento; requer profissionais capacitados, sendo de suma importância para a preservação da saúde pública, da qualidade de vida e do meio-ambiente.

Este trabalho aborda a questão dos resíduos sólidos gerados pela construção civil no Brasil, dentro do escopo da certificação de canteiro de obras verde, uma vez que, como observou Nascimento, durante o ciclo de vida de uma edificação, a etapa construtiva contribui com parcela significativa no montante de impactos ambientais provocados pelas realizações da engenharia civil [4]. Ainda a mesma autora enfatiza que “Grande parte dos resíduos originados na construção civil é depositada clandestinamente em terrenos baldios, aterros, várzeas e taludes de cursos de água, provocando impactos ao meio ambiente” [4].

## 2. O estado da arte: entropia e intervenção humana

Sob a ótica das engenharias ambiental e de produção, uma abordagem extremamente útil para que se compreenda a questão dos desequilíbrios ecossistêmicos provocados pela geração de resíduos é a que se fundamenta no conceito de entropia. Em termos resumidos, ele estabelece o grau de degradação ou desordem de um sistema. Assim, a otimização de um processo de intervenção humana pode ser compreendido como um esforço de minimização da máxima entropia que caracteriza a propensão universal dos sistemas para

estados de degradação cada vez maior. Matematicamente, o termo de intervenção humana em um espaço de fase pode ser escrito como  $\omega(q, t)$ , onde  $q$  é a coordenada generalizada e  $t$  o tempo. A coordenada  $q$  representa o estado em que o sistema se encontra no espaço de fase. Dessa forma, segundo Saridis [5], temos que

$$H(u) = - \int g[\omega(q, t)] \ln \{ g[\omega(q, t)] \} dq, \quad (1)$$

onde, no contexto de canteiros de obra,  $H(u)$  é a entropia produzida pela geração de resíduos e  $\omega(q, t)$  é a intervenção humana no sentido de controlar e organizar as atividades do canteiro por modo de reduzir os impactos ambientais decorrentes das emissões e da poluição dos processos irreversíveis típicos da construção civil (produção de concreto, serragem de madeira, queima de combustíveis, etc.). A função  $g[\omega(q, t)]$  mede a densidade de probabilidade para a escolha de uma determinada  $\omega(q, t)$ . O caráter probabilístico se refere à incerteza intrínseca ao resultado de uma dada intervenção.

A segunda lei da termodinâmica possibilita a determinação da função  $g[\omega(q, t)]$  que estabiliza a entropia, isto é, que estabelece as condições

$$\frac{\partial H}{\partial g} = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial^2 H}{\partial g^2} < 0, \quad (2)$$

donde se obtém

$$\begin{aligned} g[\omega(q, t)] &= \exp \{ -\lambda - \varepsilon W[\omega(q, t)] \}, \\ H[\omega(q, t)] &= \lambda + \varepsilon F \{ W[\omega(q, t)] \}, \end{aligned} \quad (3)$$

sendo  $\lambda$  e  $\varepsilon$  coeficientes constantes,  $W[\omega(q, t)]$  o trabalho equivalente à energia dissipada pela intervenção humana e  $F\{W[\omega(q, t)]\}$  uma certa função de  $W[\omega(q, t)]$ .

Claramente, a minimização de  $H[\omega(q, t)]$  corresponde a uma intervenção ótima  $\varpi(q, t)$  descrita pelas coordenadas no espaço de fase, de tal maneira que

a mínima entropia corresponderá ao mínimo trabalho realizado, ou,

$$H[\varpi(q,t)] \cong \text{Min}\{W[\omega(q,t)]\}. \quad (4)$$

Os coeficientes constantes são característicos de cada sistema e representam âncoras por intermédio das quais se efetivam operações de controle. Numa interpretação mais sensível, a entropia se refere à capacidade de desperdiçar energia, seja ela de procedência humana, humano-automática, ou robótica. A rigor, o desperdício de energia comumente se traduz em desperdício de matéria (sobras de argamassas, restos não utilizáveis de produtos químicos diversos, e fragmentos de revestimentos). Ora, o teor da nossa abordagem, resumido na expressão (4) e inspirado na segunda lei da termodinâmica pelas condições (2), vai mesmo ao encontro do pensamento de Buckminster Fuller, para quem a inesgotabilidade da inteligência humana criativa, ao se contrapor à não-perenidade dos recursos materiais, deve buscar implementos e processos que utilizem um mínimo de materiais e energia para conseguir um máximo de resultados [8].

Em suma, as intervenções humanas de transformação do meio sempre geram entropia, de modo que minimizá-la significa reduzir impactos ecológicos pela redução da produção de resíduos e das emissões de gases tóxicos. O grande desafio de profissionais e empresas é mitigar nas próximas décadas a contradição entre o sucesso da humanidade como espécie e o alto custo deste sucesso em recursos naturais. Destarte, canteiros verdes são ecopontos industriais temporários nos quais a qualidade da produção carrega o selo da excelência em procedimentos limpos.

### 3. Certificação LEED: uma proposta para canteiros de obras

Até onde a pesquisa foi conduzida, existem pouquíssimas referências específicas sobre canteiros de

obras, a maioria das quais na forma de guias e compilações de boas práticas, sem, no entanto, constituírem artigos de cunho científico. No que tange a construção civil, a criação do *Green Building Council* Brasil em Março de 2007, organização não governamental sem fins lucrativos [2], deu início a um processo de assimilação gradativa de práticas de desenvolvimento sustentável e de produção mais limpa, representando no Brasil o sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), baseado em critérios estadunidenses, cujo foco principal é a avaliação de quão sustentável é uma construção em termos da preservação dos recursos naturais e da minimização dos impactos ambientais [6]. Há também o sistema AQUA (Alta Qualidade Ambiental), patrocinado pela Fundação Vanzolini com base em critérios brasileiros [3]. Contudo, preconiza-se antes a caracterização das propriedades que uma edificação deve possuir para ser sustentável, ficando a discussão sobre canteiros sustentáveis relegada, quando muito, a um plano secundário.

Segundo Nascimento, é na construção civil que encontramos um dos maiores causadores de impactos ambientais, desde que constitui atividade de alto consumo de recursos e grande geração de resíduos, comprometendo assim o equilíbrio ambiental [4]. Com a certificação LEED busca-se disseminar o conceito de construção ambientalmente responsável entre profissionais e indústrias da construção, tendo por critérios de avaliação indicadores concernentes ao consumo de água, de energia e ar, de materiais e recursos, e indicadores referentes à inovação em processos e projetos.

Evidentemente, o ciclo de vida de uma construção, propriamente dito, começa com o assentamento de um canteiro de obras, definido pela NBR – 12284 como o conjunto de “áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, dividindo-se em áreas operacionais e áreas de vivência”. Embora a

certificação LEED responde em geral por reformas e edificações erguidas sob os princípios do conceito *Green Building*, isto é, capazes de economias da ordem de 30% a 50% no consumo de água e de 50% a 90% em descartes de resíduos, proporemos aqui uma extensão que denominamos LEED – WS (*Working Site*), inteiramente dedicada ao ciclo de vida de um canteiro de obras. Sob este ângulo, os critérios de avaliação LEED seriam:

**SS** – Configuração de espaço sustentável;

**WF** – Economia em uso de água e combustíveis;

**EA** – Economia em energia elétrica e atmosfera;

**MR** – Economia em materiais e recursos;

**EQ** – Grau de qualidade ambiental interna;

**IN** – Grau de inovação em materiais e processos.

O critério **SS** (*Sustainable Space*) monitora indicadores referentes à logística própria do canteiro, os fluxos e o armazenamento de materiais e a disposição dos recintos de trabalho e repouso. O critério **WF** (*Water and Fuel*) acompanha os processos de consumo hídrico, tais como misturas e lavagens, e o nível de reaproveitamento da “água suja”, além dos protocolos de consumo e queima de combustíveis, tais como os que estabelecem os limites de permanência de motores a diesel ligados. O critério **EA** (*Electricity and Air*) pontua o consumo de eletricidade na operação de equipamentos como bombas, elevadores e betoneiras, e o comprometimento local da atmosfera por partículas e gases tóxicos. O critério **MR** (*Materials and Resources*) verifica o índice de desperdício de materiais nos processos construtivos, sobretudo tábuas, massas, pregos, fios e canos. O critério **EQ** (*Environment and Quality*) monitora indicadores de higiene e saneamento internos, bem como de conforto acústico e climático das

instalações e das máquinas de manobra como guindastes, escavadeiras, gruas e tratores. Estes indicadores tratam também das disposições aplicadas quanto à poluição no canteiro; de acordo com o PPG6 (*Pollution Prevention Guidelines*), <<*Common causes of pollution are: illegal discharges, burning waste, pollutants carried by rain water run-off, poor maintenance or supervision, accidental spillage and vandalism*>> [1], de modo que a referida qualidade requer capacitação profissional e governança completa sobre a obra, incluindo segurança e acompanhamento das previsões climáticas. Finalmente, o critério **IN** (*Inovation*) inspeciona o grau de inovação no emprego de materiais alternativos e nos próprios processos construtivos e logísticos.

#### 4. O Portal da Engenharia Verde (PORENVER)

Toneladas de resíduos são diariamente despejadas em áreas sem uso, inclusive lixo da construção civil, ocasionando problemas que cobrem variada gama de aspectos, desde os puramente estéticos até os que afetam a saúde. O PORENVER nasceu como consequência de um projeto arquitetônico social mais abrangente destinado a educar a população para que participe da preservação dos espaços públicos e da natureza. Trata-se de um ecoponto educativo, uma edificação com fins sociais cujo objetivo é estabelecer em determinada comunidade uma central de gestão colaborativa dos resíduos sólidos da construção civil, promovendo empregabilidade e consciência ambiental ao mesmo tempo em que desacelera o aumento natural da entropia do meio-ambiente. Diferentemente dos ecopontos de entrega voluntária de volumes de entulho e resíduos recicláveis já em vigor em cidades como São Paulo, o PORENVER oferece eventos educativos em suas dependências, além de espaços para atuação pública produtiva numa perspectiva ampla de economia criativa [7].

Do ponto de vista do PORENVER, o resíduo sólido da construção civil é classificado como simplesmente reciclável ou complexamente reciclável, de acordo com a resistência física que apresenta, suas dimensões e sua aplicabilidade. Dessa forma, o PORENVER contempla as seguintes diretrizes de funcionalidade em seus espaços:

- Local para exposições e exibição de documentários sobre desenvolvimento sustentável e produção mais limpa;
- Área para recepção de resíduos construtivos;
- Ateliê para reaproveitamento de materiais simplesmente recicláveis, para que tanto a população como os catadores e seus familiares possam reciclar tais materiais (sobras de madeiras e acabamentos diversos, pedras, pedaços de telhas inutilizadas, etc.) na forma de produtos artesanais e utensílios de uso geral.
- Espaço destinado ao estudo, com a premissa de que para se chegar à noção introjetada de sustentabilidade é necessário aprimoramento de conhecimentos e informação;
- Biblioteca pública;
- Área externa com tratamento paisagístico, cujo objetivo é o de enfatizar a beleza e a singularidade da natureza, inspirando o sentimento da sua importância para o homem.

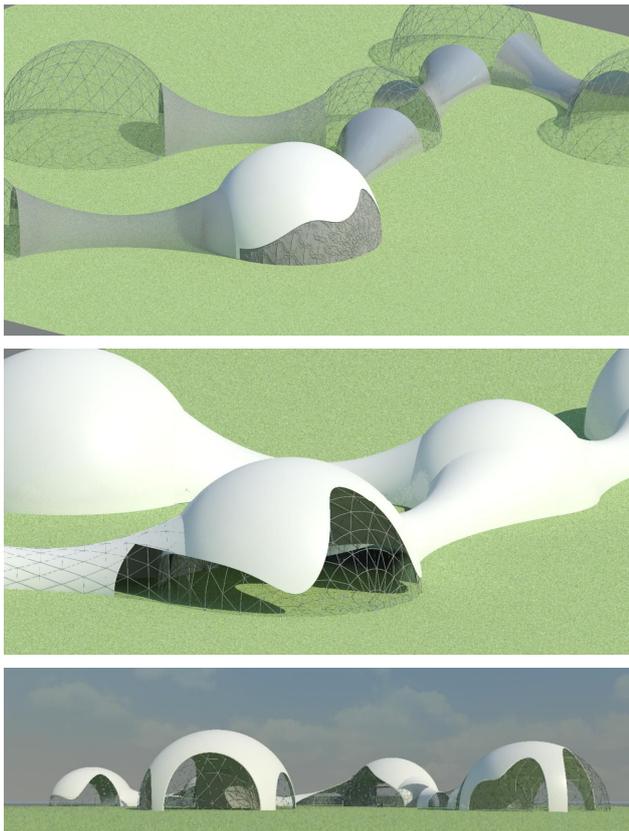
Por se tratar de uma instalação multiuso, é conveniente que as atividades não interfiram umas com as outras. Pensando nisso, tendo em conta aspectos estéticos do projeto, cada atividade acontecerá em seu espaço particular, o qual, embora horizontalmente conexo aos demais, permanecerá ativo sem perturbações externas. De fato, a concepção deste espaço teve por premissas estruturais os fundamentos da arquitetura topológica no intuito de sugerir uma continuidade funcional no espaço e no tempo.

O edifício possuirá forma orgânica não simétrica composta por um conjunto de domos geodésicos e parabolóides hiperbólicos que os conectam (Figura 1), todos de estrutura metálica. Cada cúpula (que terá uso específico) tem raio diferente das demais. Uma casca de *zeo-form*<sup>i</sup> cobrirá algumas partes dessa estrutura, deixando aço e vidros vedantes aparentes em outros segmentos. A casca seguirá a linguagem das curvas de modo fortuito. Para acrescentar um caráter mais singelo à estrutura, serão aplicadas estruturas secundárias em aço, formando painéis vazados.

Na verdade, o domo geodésico é uma das estruturas topológicas menos entrópicas, e por esta razão temo-lo como escolha ideal para a arquitetura do PORENVER. Buckminster Fuller baseou-se na superioridade estática das formas triangulares frente às retangulares, descrevendo a instabilidade do retângulo e a rigidez do triângulo, ambos submetidos à pressão [8]. Estas observações orientaram os estudos de Fuller em direção à criação do domo geodésico a partir de triângulos conexos, idéia que também incorporou o seu princípio anti-entrópico de "fazer mais com menos", uma vez que a esfera abriga o maior volume de espaço interior com a menor quantidade de área superficial, economizando assim materiais e custos. Ainda, Fuller levou em conta que quando o diâmetro da esfera é dobrado, sua metragem quadrada será quadruplicada e teremos oito vezes o volume inicial. Estas e outras características acarretam uma das atmosferas interiores mais eficientes para habitações humanas, desde que tanto o ar como a energia térmica têm permissão para circular livremente, possibilitando uma dinâmica natural de aquecimento e resfriamento (não é por acaso que os iglus das regiões geladas são habitações extremamente eficientes do ponto de vista do conforto térmico). Vale acrescentar que a instalação de conduítes diversos se dá praticamente sem obstruções, fato que contribui para a redução de custos.

#### 4. Conclusão

Este trabalho deu ênfase à gestão de canteiros de obras como alvo de monitoramento detalhado e de certificação verde, de tal forma que os impactos ambientais totais da construção civil sejam contabilizados e minimizados desde os manejos iniciais da área a ser construída. O conceito de entropia foi aplicado como base teórica para o esclarecimento da dinâmica das intervenções humanas sobre o meio-ambiente e suas conseqüências no equilíbrio ecossistêmico. O artigo mostrou que a existência de uma estrutura permanente de apoio à destinação de entulho e demais resíduos da construção civil — ecopontos educativos e polarizadores de atividades públicas



**Figura 1:** perspectivas esquemáticas da edificação do PORENVER com cobertura de *zeo-form* (ilustrações de Brandino, 2014).

de transformação e reciclagem — pode motivar modelos de gestão verde em canteiros de obras, ao mesmo tempo favorecendo iniciativas criativas de reaproveitamento de materiais. Espera-se que o PORENVER, Portal da Engenharia Verde, atraia o interesse de profissionais e empresas da construção, incentivando políticas públicas de sustentabilidade para um crescimento mais saudável das grandes urbes do Brasil e da América Latina.

#### Referências

- [1] Environment Agency, “Working at Construction and Demolition Sites: PPG6”, Environment Agency, 2nd edition, Bristol, 78 p. (2012)
- [2] GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, “Certificação LEED”. Disponível em <<http://www.gbcbrazil.org.br/>>. Acesso em 24 Mai 2014
- [3] Martinez M., “Avaliação Energética Visando Certificação de Prédio Verde”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 134 p. (2009)
- [4] Nascimento E., “Impactos Ambientais Gerados na Construção de Edifícios: Contraste Entre a Norma e a Prática”. Disponível em <[http://dc120.4shared.com/download/A3jfYAaR/IMPACTOS\\_AMBIENTAIS\\_GERADOS\\_NA.doc](http://dc120.4shared.com/download/A3jfYAaR/IMPACTOS_AMBIENTAIS_GERADOS_NA.doc)>. Acesso em 24 Mai 2014 (2008)
- [5] Saridis G., Optimal Control of Global Entropy for Environmental Systems. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. v. 5, n.3, p. 45-51 (1998)
- [6] Stefanuto A., Henkes J., Critérios para Obtenção da Certificação LEED: Um Estudo de Caso no Supermercado Pão de Açúcar em Indaiatuba/SP. *R. Gest. Sust. Ambient.*, v. 1, n. 2, p. 282 – 332 (2013)
- [7] Rodrigues D., Serpa N., Moura E., Gouveia L., Sacomano J., Creative Economy in Solidarity Economy:

A Guide for New Policies. Springer-APMS, IFIP AICT proceedings, v. 439, p. 302-309 (2014)

[8] Fuller B., “Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking”, Macmillan Publishing Co. Inc. (1979)



---

<sup>i</sup> Material relativamente novo na construção civil, desenvolvido na Austrália. Sua composição é obtida a partir da celulose (fibra mais abundante no planeta). Há pouco tempo atrás, a alternativa aplicável para proteção da estrutura seria a fibra de vidro, comum nas obras da arquiteta Zaha Hadid. O *zeo-form*, entretanto, é tão resistente quanto a fibra de vidro, além de ser coerente com os princípios de sustentabilidade, pois deriva de resíduos reciclados ricos em celulose, não contém substâncias tóxicas e é biodegradável. É flexível, permitindo formas mais complexas como as do projeto em estudo.