



Neste
número: o
Universo
pode não ser
homogêneo!

Energia Solar:
prospectos para
um futuro
mais limpo.

CALIBE

Buckminster Fuller
e o seu legado para
o PORENVER.

Desde 2016

índice

SHORT COMMUNICATIONS

USINA SOLAR PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MEDIANTE
PIRÓLISE INDUZIDA POR PLASMA

Gisele Fernandes, David Hudson de Souza, Nilo Serpa

1-4

ARTIGOS ORIGINAIS

GERENCIAMENTO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL NAS CIDADES BRASILEIRAS

Hannah Brandino, Nilo Serpa, Célio Honorato de Oliveira

5-11

REVIEWING REDSHIFT AND COSMOLOGICAL DISTANCES

The Sunyaev-Zel'dovich Effect and the LTB Perspective

Nilo Serpa

12-23





Usina Solar para Tratamento de Resíduos Sólidos Mediante Pirólise Induzida por Plasma

Gisele Fernandes, discente em engenharia civil

Faculdades ICESP, Brasil.

David Hudson de Souza, discente em engenharia civil

Faculdades ICESP, Brasil.

Nilo Serpa, físico teórico e arquiteto

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

Recebido: Novembro__20__ / Aceito: Dezembro__02__ / Publicado: Dezembro__02__.

Abstract: This project aims to implement a new form of urban waste management in the sense of non-aggressive and productive waste disposal, with minimum energy costs and high reuse of by-products. It is based on scientific principles established by thermodynamics, and by empirical disciplines that deal with properties of chemical elements and technologies for heat capture from remote sources. It is proposed to build an industrial system for recycling solid waste applying high concentration of solar radiation on a graphite container for confinement and thermal treatment of the waste. The efficiency of the system takes into account several entropy control operations.

Key Words: solid waste, entropy, thermodynamics, solar radiation, waste management, recycling.

1. Introdução

De modo geral, o manejo impróprio de resíduos sólidos gera desperdício, além de alimentar sensivelmente as desigualdades sociais e ameaçar a

saúde pública, agravando a degradação do meio-ambiente. Segundo Cordeiro e colaboradores, coletores de lixo em Juazeiro do Norte-CE informam com frequência acidentes com objetos perfuro-cortantes de origem laboratorial e hospitalar (Cordeiro et al., 2012). De acordo com estes autores, os catadores de lixo se deslocam pelos lixões pisoteando calçados tudo o que encontram pela frente inclusive seringas com agulhas. Santos observa que também em Bragança-PA um grande vazadouro a céu aberto serve de destino tanto para lixo domiciliar quanto para lixo médico-hospitalar (Santos, 2012). Martin e Mazzini relatam a gravíssima situação de crianças catadoras em Presidente Prudente-SP, abrindo

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.

sacos de resíduos médico-hospitalares a procura de borrachas de soro para estilingues, perigosamente expostas a materiais contaminados e instrumentos perfuro-cortantes (Martin e Mazzini, 2010). Diante do exposto, visto que o Brasil é um país ensolarado (Figura 1), a crença na importância cabal de um projeto de aplicação da energia solar para reciclagem de resíduos sólidos leva a uma expectativa positiva dos autores com respeito ao desenvolvimento de novas políticas para empreendimentos que girem em torno do processamento do lixo urbano, bem como ao apelo racional pela urgência das medidas sanitárias.

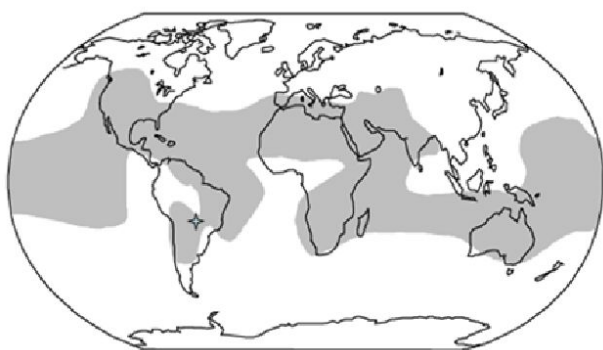


Figura 1 – Mapa da faixa planetária de máxima insolação. A estrela marca a situação de Brasília.

2. Casuística e métodos

Propõe-se a construção de um sistema industrial (usina) para recomposição de resíduos sólidos pela alta concentração de radiação solar sobre uma câmara de grafite na qual os resíduos são confinados a vácuo. Tecnicamente, o projeto foi inspirado nas grandes plantas dos fornos solares de Odeillo na França e Physics-Sun no Uzbekistan, usados principalmente para testes de resistência dos materiais. O protótipo completo, de acordo com as primeiras simulações computacionais realizadas em Fortran e Matlab, prevê operações a temperaturas acima de 1500 °C. Semelhante engenho foi concebido sob a idéia precípua de redução da taxa de entropia global do sistema na medida em que os resíduos misturados são reciclados em matérias primas

reutilizáveis. O sistema como um todo, inclusive a central de controle computacional, opera à custa dos excedentes da própria energia solar que captura. A base teórica do projeto foi ampla e detalhadamente descrita pelo Professor Serpa em sua tese de Doutorado (Serpa, 2014), incluindo os conceitos originais de campo calórico e opacidade de uma região, a aplicação da teoria de calibre em campos clássicos e a descrição do conjunto de espelhos refletores que integram o mecanismo de captação e concentração da luz solar. Uma versão compacta pode ser encontrada em Serpa *et al.* (2016). A Figura 2 mostra esquematicamente a estrutura funcional da usina. Observe que no dispositivo de reciclagem, sob o gradiente de temperaturas $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots, T_n$, são recuperados os produtos $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n$ das camadas mais quentes para as mais frias. Em “Operações”, um sistema de controle computacional conduz agentes catalíticos cujas ações associadas às temperaturas asseguram a saída de materiais programados e a recombinação de átomos remanescentes em substâncias inertes sob a forma de resíduos utilizáveis. Para reduzir a entropia e expandir a produtividade da geração de calor, foi introduzido um conduto auxiliar para escoamento laminar de um nanofluido termoportador. Os produtos, resíduos finais inertes e resíduos utilizáveis são enviados, respectivamente, ao inventário e à contenção apropriada.

3. Resultados esperados

As simulações computacionais referidas anteriormente mostraram que o concentrador solar será capaz de atingir temperaturas próximas de 1588 °C dentro da câmara de pirólise, ao contrário da grande maioria dos processos de aquecimento industrial que correm abaixo de 300 °C. Além disso, estas simulações apontaram para uma eficiência da planta entre 68,44% e 72,82% (Serpa, 2016). Estes resultados são bastante encorajadores no sentido de que vários poluentes persistentes devem ser erradicados, uma vez que a temperatura atingida está bem acima de 800 °C, muito

superior às temperaturas de formação de gases efluentes, tipicamente a 200 - 400 °C. Portanto, este projeto almeja a redução de emissões tóxicas advindas do remanejo dos resíduos sólidos, tanto no solo quanto na atmosfera, e a reutilização de subprodutos da disrupção pirolítica de matéria. Espera-se que a usina proposta constitua modelo a ser ampliado e replicado em municípios de insolação anual expressiva, integrando políticas públicas de gestão do lixo urbano norteadas por princípios de sustentabilidade e produção mais limpa. O êxito do projeto residirá principalmente no sucesso da reconstituição pirolítica de alguns materiais a serem elencados (principalmente gases, metais, plásticos e outros), na medida em que as “cinzas” de pirólise tenham sido tornadas completamente inertes.

3. Conclusão

O emprego da pirólise no tratamento de resíduos sólidos, em particular do lixo médico-hospitalar, não é novidade. Queimadores pirolíticos a gás, silenciosos e com baixo índice de geração de poluentes, dotados de duplo sistema de queima (na câmara principal e na chaminé) para redução dos gases e fumaças, são hoje facilmente encontrados no mercado a custos relativamente baixos (em torno de R\$10.000,00). Entretanto, tais soluções locais, dependentes de eletricidade, devem ser consideradas parciais, pois não de adéquam à industrialização do lixo em larga escala, além de, apesar de menos poluidoras, ainda dependerem de dispositivos de escape (chaminés) que acabam retornando resíduos tóxicos ao meio-ambiente. Dessa forma, a novidade do projeto aqui discutido é a aplicação da pirólise induzida por plasma em grandes proporções de lixo, tendo for fonte de energia a luz solar e não a eletricidade, com um sofisticado suporte teórico e físico de controle da entropia. A usina pirolítica oferece saídas de envasamento dos seus próprios subprodutos residuais tornados inertes ao invés de chaminés convencionais que despejam na atmosfera as sobras não tratadas pelos queimadores. Portanto, em países de grande insolação, a

usina pretendida oferece um ganho social e econômico sem precedentes.

Referências

- [1] Cordeiro C., Pereira P., Duarte A., Barros L., Souza M., Prejuízos Causados aos Catadores que Trabalham no Lixão do Município de Juazeiro do Norte, CE. *Enciclopédia Biosfera* 8, 2553-2562 (2012)
- [2] Martin E., Mazzini E., Disposição Final do Lixo em Presidente Prudente: De 1923 a 2010. *Revista Tópos* 4, 109-143 (2010)
- [3] Santos M., O Resíduo Sólido Urbano na Cidade de Bragança-PA: Uma Análise dos Problemas Socioambientais e os Resultados desse Processo. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia-GO, Brasil (2012)
- [4] Serpa N., *Sur l'entropie contrôlée des systèmes* [...]. Ph.D. Thesis, L'Université Libre des Sciences de L'Homme de Paris, Sorbonne, 127p (2014)
- [5] Serpa N., Costa I., Franco Gonçalves R., *A Thermal System Based on Controlled Entropy for Treatment of Medical Waste by Solar Energy*. Springer-APMS, IFIP AICT proceedings, 12p. (2016)



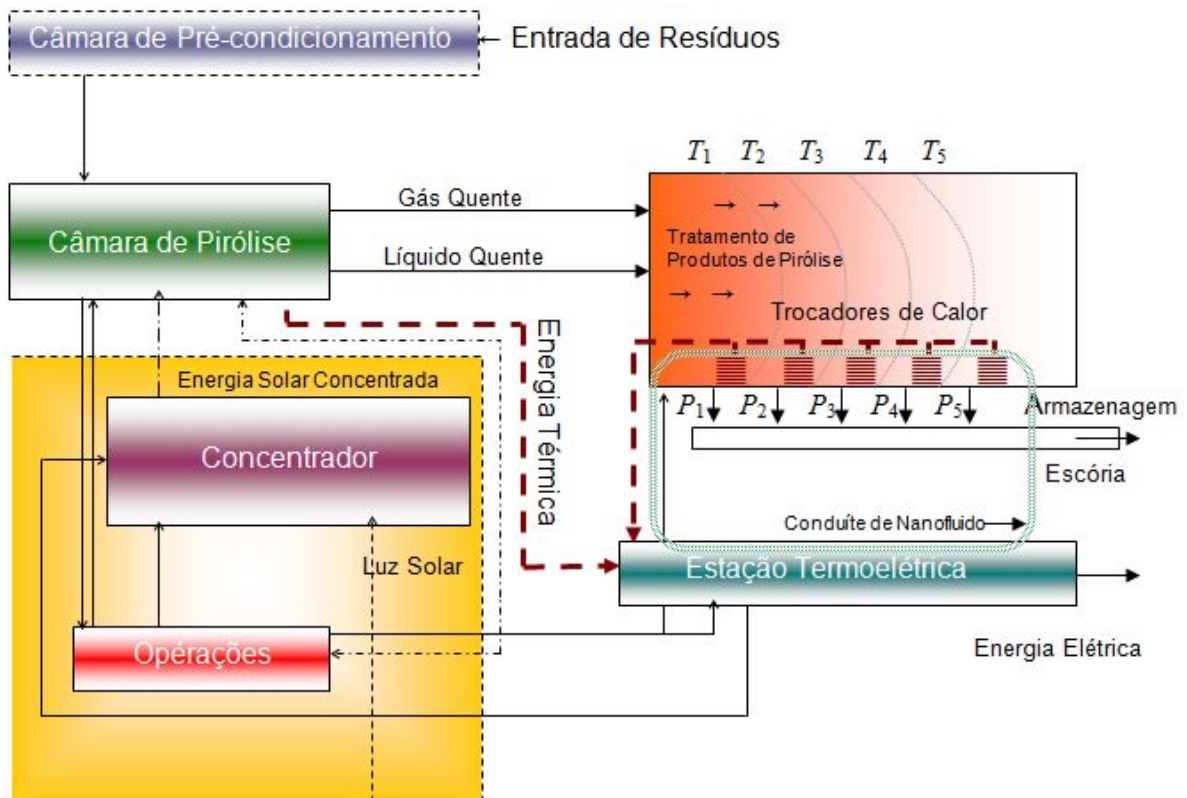


Figura 2 – Esquema da estrutura funcional da planta com os principais dispositivos.



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

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.

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.

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 λ e ε 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, guias 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 singeleza 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*ⁱ 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 consequências 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

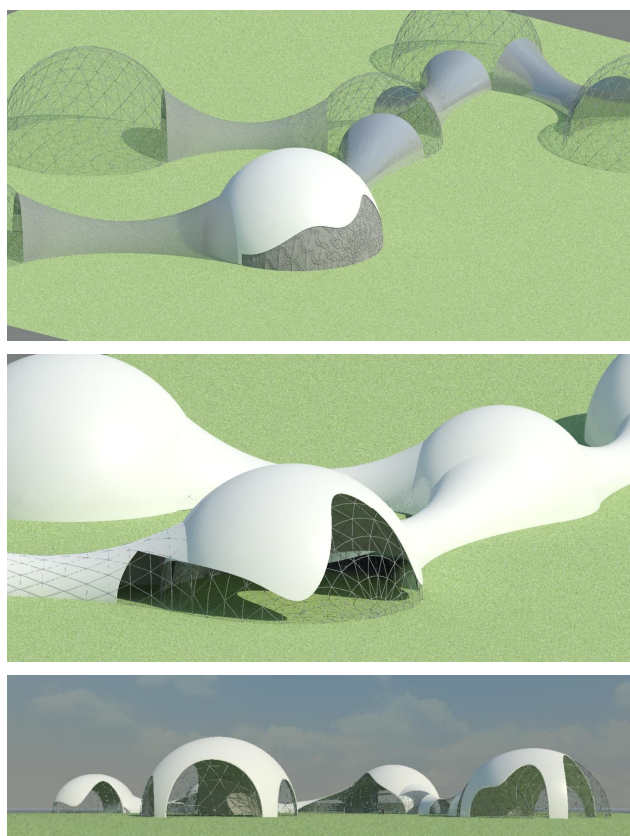


Figura 1: perspectivas esquemáticas da edificação do PORENVER com cobertura de *zeo-form* (ilustrações de Brandino, 2014).

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>. 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)



ⁱ 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.

Reviewing Redshift and Cosmological Distances

The Sunyaev-Zel'dovich Effect and the LTB Perspective

Nilo Serpa, Ph.D., research engineer in cosmology and quantum gravity

GAUGE-F Scientific Researches, Brazil; Faculdades ICESP.

Received: November__20__ / Accepted: December__02__ / Published: December__02__.

Abstract: Present article carries out an objective review of the Lemaître-Tolman-Bondi inhomogeneous cosmology, emphasizing its main theoretical and observational features, showing that up to this moment it is not possible to reject such model based on current data. The model is fine-tuned to type Ia supernovae data. Sunyaev-Zel'dovich effect is discussed in that cosmology.

Key words: type Ia supernovae, Lemaître-Tolman-Bondi cosmology, Sunyaev-Zel'dovich effect, redshift, unique geodesic.

Nomenclature

B : the third LTB arbitrary function

C : LTB best fit constant

c : light speed

Greek letters

μ, ν : Greek indices ranging from 0 to 3

$\hat{\Omega}$: Angular quantity in metric expressions

$g_{\mu\nu}$: Tensor metric

1. Introduction

At small length scales it was observed deviations from the postulated homogeneity of the Universe at large scales, a fact that imposes the need to investigate whether the Friedman-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW) metric is really adequate to describe the accelerated cosmological expansion.

The Lemaître-Tolman-Bondi (LTB) cosmology have been applied with some interesting results as an alternative to explain the universe without cosmological constant at scales $O(10)h^{-1}Mpc$ or even larger. In spite of the challenges it confronts and the objections

Corresponding author: Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., Professor, research fields: quantum gravity, quantum computing, cosmology and thermal systems engineering. E-mail: nilo.serpa@icesp.edu.br.

faced to its major presuppositions, there is a general feeling that compels all of us to agree with the fact that it shed new lights on many critical questions, however we have to live together with more restrictive conditions accepting a null Λ . Nevertheless, the “trademark” of LTB models is to consider cosmologies in which the inhomogeneous universe is filled by non-rotational dust matter and not the null Λ itself; it is possible to work in LTB with not-null Λ and compare the results with the standard FLRW model.

In the past fifty or sixty years, philosophy and science came near in such a way that nobody may neglect the real gains for both sides. Nonetheless, in several situations philosophical discussions stay merely idealistic, with no effective contribution to clarify scientific dilemmas. That is the case of a common idealistic objection pointed out to LTB models: how anthropocentric is the placement of human observers in the center of the universe? To refuse the objection implicit in such question it is enough to remember that all we really have are the measurements we do here in the Earth, not in a “NGC”; we don’t know what is going on there. Thus, to suppose to be in the center or not is a pseudo-dilemma to be solved bearing in mind only technical advantages. For LTB models it seems very interesting, from a theoretical view point, to put the Earth in the center of the universe. Besides, this question may be simply opposite by another that asks where the center of a cosmological spherical surface is.

The next objection, whether so we can say, is that with three arbitrary parameters the LTB model virtually may adjust itself to any observational data. This is a naïve criticism to

say the least, and here philosophy comes to contribute. Observation and theory live in a dialectic balance, in which both are always talking with one another; observation paints a brain canvas with inexact images; theory tries to simulate the causal chain behind the painted canvas. They are very far from perfection, but they are constantly gauging each other. Theory looks for the best fitting to observational data and chances some predictions; observation supplies the realistic foundations to discuss theory and to construct models, but also accepts “orders” from theory (predictions). So, the scientific question is not how much parameters are needed to that conversation between theory and observation, but how large is the data best covered by the theory, how much distinct sources of observational data are well gauged by the theory at the same time. What we expect from a LTB model is its simultaneous and reasonable concordance with data from microwave background, from SN Ia, from structure formation and so forth. Faced with the ontological and inevitable lack of complete isomorphism between model and reality, we cannot be so radical in criticize theories which, in resume, do what is possible to do.

Let me do some considerations about the fundamental choice of the present proposal:

- a) I shall be treating the situation in which there is a unique geodesic, so I do not deal *a priori* with evolution.
- b) As pointed out by Brouzakis *et al.* [1], the LTB metric can reproduce any relation between luminosity distance and redshift, which signifies that type Ia supernovae data may proceed from an inhomogeneous distribution of matter having ground in that metric. In this

investigation I precisely shall describe, by the connection between geometry (curvature) and cosmological redshift, a representation of the luminosity distance as direct consequence of the LTB inhomogeneous context.

2. The standard approach

2-1. A bit of history

At 1917, shorter there after Einstein's announcement of his cosmological model, it appeared a seminal paper published by the Dutch astronomer de Sitter in which he showed that an empty universe need not have the metric of Minkowski, usually considered as the limit of the relativistic metric at large distances of all gravitating matter [2]. Connecting cosmological constant with commoving radius, de Sitter world-line element assumes the form

$$ds^2 = -\frac{dr^2}{1-\frac{r^2}{R^2}} - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 + \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) dt^2,$$

where the constant curvature is $\frac{1}{R^2} = \frac{\Lambda}{3}$.

The most interesting feature I emphasize here is that Schwarzschild's exterior solution,

$$ds^2 = -\frac{dr^2}{1-\frac{2m}{r}-\frac{\Lambda r^2}{3}} - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 + \left(1 - \frac{2m}{r} - \frac{\Lambda r^2}{3}\right) dt^2$$

for a static field in the empty space surrounding a massive sphere, falls into de Sitter world-line element if the mass of the sphere tends to zero at the origin. Tolman referred to this last equation as a very important example of a cosmological

line element related to an inhomogeneous model [3], even though today it is clear that at large scales Schwarzschild geometry is not proper to deal with inhomogeneities.

Generalizing, we may put $m=0$, which is the same thing to suppose an universe completely empty, so that

$$ds^2 = -\frac{dr^2}{1-\frac{\Lambda r^2}{3}} - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 + \left(1 - \frac{\Lambda r^2}{3}\right) dt^2 \quad \therefore$$

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{\Lambda r^2}{3}\right) dt^2 + \frac{dr^2}{1-\frac{\Lambda r^2}{3}} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2).$$

2-2. The contemporary understanding of inhomogeneous cosmology

Although technology has undergone remarkable advances from Lemaître to now, the limitations in our observational tools are still, crudely speaking, very real. It is difficult to imagine in what degree those limitations shall be minimized during the next thirty/fifty years. Gaps of information about the true content of the universe have been diminished, thanks to the great effort of scientific community, but many crucial points remain unsolved even regarding the good approximations of Λ CDM representations. In this scenario, LTB cosmology emerges as a natural option not only to try to account for the apparent cosmic acceleration with no Λ , but to model a universe beyond appearances.

I begin writing Einstein's field equation ($\Lambda g_{\mu\nu}$ is placed at the left-hand side since I always emphasize possible changes in geometry),

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{1}{M_{Pl}^2} T_{\mu\nu},$$

which reduces to

$$G_{\mu\nu} = \frac{1}{M_{Pl}^2} T_{\mu\nu} = \frac{1}{M_{Pl}^2} \rho u_\mu u_\nu \quad (1)$$

for null Λ . Here, $M_{Pl} = 1/\sqrt{8\pi G_N}$ (reduced

Planck mass), ρ is the energy density and u^μ

the speed of the matter flow, such that $u_\mu u^\mu =$

-1. Spherical symmetry leads to an exact solution of equation (1).

The standard LTB metric space provides a geometry embedded in a supposed universe inhomogeneously filled by a pressure-negligible dust matter. It must be clear that this supposition is not perturbatively related to any FRW cosmology. The associated world-line element is given by

$$ds^2 = -dt^2 + \frac{R'(r,t)^2 dr^2}{1+f(r)} + R(r,t)^2 d\Omega^2,$$

with coordinates $x^i = \{1,2,3\} \equiv \{r,\theta,\phi\}$ synchronous

commoving with matter (or $dx^i/dt = 0$).

Cosmological constant $\Lambda = 0$; $f(r)$ is an arbitrary function only explicit in r . In a classical sense, functions $R(r,t)$ and $f(r)$ are related in accordance to Einstein's equations [4] by

$$\dot{R}(r,t)^2 = \frac{1}{M_{Pl}^2} \frac{m(r)}{R(r,t)} + f(r); \quad (2)$$

$$\rho(r,t) = \frac{m'(r)}{R(r,t)^2 R'(r,t)}, \quad (3)$$

where $m(r)$ denotes an arbitrary function that describes the energy (gravitational baryonic mass) contained inside commoving radius r . It is worthwhile to comment that some authors emphasize the model focusing mass, some focusing curvature; nowadays it is a matter of personal taste, and I shall develop formal considerations on curvature, since my focus is on the theoretical behavior of the model when we associate explicitly geometry and redshift in LTB cosmology.

Geodesic equation $\xi^\nu \nabla_\nu \xi^\mu = 0$ takes the form

$$\frac{d^2 t}{dv^2} + \frac{\dot{R}' R'}{1+f} \left(\frac{dr}{dv} \right)^2 + \dot{R} R \mathcal{L}^2 = 0;$$

$$\frac{d^2 t}{dv^2} + 2 \frac{\dot{R}'}{R'} \frac{dt}{dv} \frac{dr}{dv} \left(\frac{R''}{R'} - \frac{f'}{2(1+f)} \right) \left(\frac{dr}{dv} \right)^2 - (1+f) \frac{R}{R'} \mathcal{L}^2 = 0,$$

$$\frac{d^2 \theta}{dv^2} + 2 \frac{\dot{R}}{R} \frac{d\theta}{dv} \frac{dt}{dv} + 2 \frac{R'}{R} \frac{dr}{dv} \frac{d\theta}{dv} - \sin \theta \cos \theta \left(\frac{d\phi}{dv} \right)^2 = 0,$$

$$\frac{d^2 \phi}{dv^2} + 2 \frac{\dot{R}}{R} \frac{d\phi}{dv} \frac{dt}{dv} + 2 \frac{R'}{R} \frac{dr}{dv} \frac{d\phi}{dv} - 2 \cot \theta \frac{d\theta}{dv} \frac{d\phi}{dv} = 0,$$

where

$$\mathcal{L}^2 \equiv \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 + \sin^2 \theta \left(\frac{d\phi}{ds} \right)^2.$$

The integration of the first equation gives

$$-\left(\frac{dt}{dv} \right)^2 + \frac{R'^2}{1+f} \left(\frac{dr}{dv} \right)^2 + R^2 \mathcal{L}^2 = 0. \quad (4)$$

Because of the positive-definite quantities of the two last terms in the above equation¹, to fulfill

¹ The arbitrary function f is assumed to be among the following three cases: $f = 0$; $f > 0$; $0 > f > -1$.

the geodesic null condition implies the negative sign of the first term.

From LTB standard approach, redshift is given by

$$\ln(1+z) = \int_0^{r_e} \frac{\dot{R}'(r,t)}{\sqrt{1+f}} dr \quad (5)$$

for a receiver at $r = 0$, collecting signals from a emitter source at $r = r_e$.

3. The unique geodesic and the luminosity distance

On one hand, according to differential representation, light rays that are traveling radially ($d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2 = 0$) and moving inward follow the null geodesic

$$dt = -\frac{R'(r,t)}{\sqrt{1+f}} dr, \quad (6)$$

From here we may say that

$$dr = -\frac{\sqrt{1+f}}{R'(r,t)} dt. \quad (7)$$

Inserting into equation (5), it follows

$$\ln(1+z) = \int_0^{r_e} \frac{\dot{R}'(r,t)}{\sqrt{1+f}} dr = \int_0^{t_e} -\frac{\dot{R}'(r,t)}{\sqrt{1+f}} \left(\frac{\sqrt{1+f}}{R'(r,t)} \right) dt. \quad (8)$$

Once that we have expression (7), there is no mathematical impediment to put

$$\int_0^{t_e} -\frac{\dot{R}'(r,t)}{\sqrt{1+f}} \left(\frac{\sqrt{1+f}}{R'(r,t)} \right) dt = -\int_0^{t_e} \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{R'(r,t)}{(1+f)^{1/2}} \right) - \left(-\frac{1}{2} \frac{R'(r,t)\dot{f}}{(1+f)^{3/2}} \right) \right] \left(\frac{\sqrt{1+f}}{R'(r,t)} \right) dt. \quad (9)$$

As exposed previously, f is not an explicit function of t , but time and space are very entangled in relativity to discard *ad hoc* a profound physical analysis of the implications that function f can bring as implicit function of time. Besides, there is no loss of generality in equation (9), since we preserve the initial form at the left-hand side if

$$\dot{f} = 0.$$

On the observer's past null cone, coordinate r may be chosen so that holds the gauge

$$\frac{R'(r)}{\sqrt{1+f}} = 1 \quad [5].$$

We can now rearrange equation (9), introducing this choice and doing

$$\begin{aligned} \ln(1+z) &= -\int_0^{t_e} \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{\overline{R'(r)}}{(1+f)^{1/2}} \right) - \left(-\frac{1}{2} \frac{R'(r)\dot{f}}{(1+f)^{3/2}} \right) \right] \left(\frac{\sqrt{1+f}}{R'(r)} \right) dt = \\ &= -\int_0^{t_e} \left(\frac{1}{2} \frac{R'(r)\dot{f}}{(1+f)^{3/2}} \right) \left(\frac{\sqrt{1+f}}{R'(r)} \right) dt = \\ &= -\int_0^{t_e} \frac{1}{2} \frac{\cancel{R'(r)}\dot{f}}{(1+f)^{3/2}} \frac{\sqrt{1+f}}{\cancel{R'(r)}} dt = \\ &= -\int_0^{t_e} \frac{1}{2} \frac{\sqrt{1+f}\dot{f}}{(1+f)^{3/2}} dt = \\ &= -\int_0^{t_e} \frac{1}{2} \frac{\dot{f}}{(1+f)} dt. \end{aligned} \quad (10)$$

In a certain manner, this procedure makes possible to maintain evolution after we have fixed unique geodesic and renders the problem more attractive from the point of view of the cosmological redshift.

From expression (10) I write luminosity distance as

$$DL = R(r)e^{-1/2 \int_0^{t_e} \frac{\dot{f}}{(1+f)} dt}. \quad (11)$$

Now, the distance modulus, a direct measure of the luminosity distance, is defined in Riess *et al.* [6] as

$$\mu = 5 \log_{10} \left(\frac{DL}{1 \text{Mpc}} \right) + 25,$$

but I rewrite this formula in a more general manner [7],

$$\mu = 5 \log_{10} \left(\frac{DL}{1 \text{Mpc}} \right) + \mathcal{M},$$

where $\mathcal{M}$ is a constant to be found in accordance to the fitting with an FRW model. Inserting expression (11), it comes

$$\mu = 5 \log_{10} \left(\frac{R(r)e^{-1/2 \int_0^{t_e} \frac{\dot{f}}{(1+f)} dt}}{1 \text{Mpc}} \right) + \mathcal{M}.$$

Trivial integration gives

$$DL = 5 \log_{10} \left(\frac{R(r)e^{-1/2 \ln(1+f)|_0^{t_e}}}{1 \text{Mpc}} \right) + \mathcal{M}. \quad (12)$$

4. The LTB model applied to type Ia SN data

Now I introduce the following three quantities as in reference [7]:

$$\begin{aligned} R(r, t) &= ar, \\ f &= Ar^2, \\ F &= Br^3, \end{aligned}$$

where a is the scale factor, A and B are two LTB arbitrary functions to be defined. We relate a , A and B by the differential equation

$$\dot{a}^2 = A + \frac{B}{a}. \quad (13)$$

The $A=0$ FRW cosmology assumes the standard form $a = t^{2/3}$ for $B=4/9$. To verify it is enough to get the solution of equation (13) for $t_0=0$,

$$\begin{aligned} t - t_0 &= \int_0^a \frac{du}{\sqrt{A + \frac{B}{u}}} \\ &= \int_0^a \frac{du}{2/3\sqrt{u}} \\ &= \frac{3}{2} \int_0^a u^{1/2} du \\ &= \frac{3}{2} \frac{u^{3/2}}{3/2} \\ &= a^{3/2}. \end{aligned}$$

We note that, due to coordinate freedom to deal with r , B would be also a function which converges to $4/9$ at the infinite. In the LTB model, accordingly the choice of A and B ,

$$\begin{aligned} \Omega_M &= \left(1 + \frac{a}{B} \right)^{-1} \therefore \\ 1 + \frac{a}{B} &= \Omega_M^{-1} \therefore \\ a &= B(\Omega_M^{-1} - 1). \end{aligned}$$

Function A has the form

$$A = \frac{1}{1 + (cr)^2} \quad [7],$$

with c being a best fit constant.

At last, according to Garfinkle (private communication), it was used the “effective magnitude” of Perlmutter *et al.* [8] defined as an “effective rest-frame B magnitude”. Remaining mismatches of wavelength coverage were corrected by the “cross-filter K -correction”. The simulations were performed for a model with parameters Ω_M and $c=8.5$. The value of c was chosen for best fit with supernova data.

Figure 1 exhibits the level of concordance between supernovae data (with error bars) and the proposed model. Figures 2 and 3 show the observational luminosity distance and check it with present model.

5. The Sunyaev-Zel’dovich effect in LTB model

Rashid Sunyaev and Yakov Zel’dovich [12] predicted that during the path at the vicinity of a galaxy cluster some photons of the cosmic microwave background (CMB) perceive Compton scattering of hot electrons inside the cluster. The distortions (referred to that scattering) produced in the black-body spectrum of the CMB settle the so called Sunyaev-Zel’dovich (SZ) effect. If the cluster has a peculiar velocity (non-zero velocity along the watching line), there is a kinetic SZ and the study of its watching line component may give information about the motion of the cluster. The peculiar velocity (radial) is given by $Vr = cz - rH_0$, where z is the cluster redshift and r its distance.

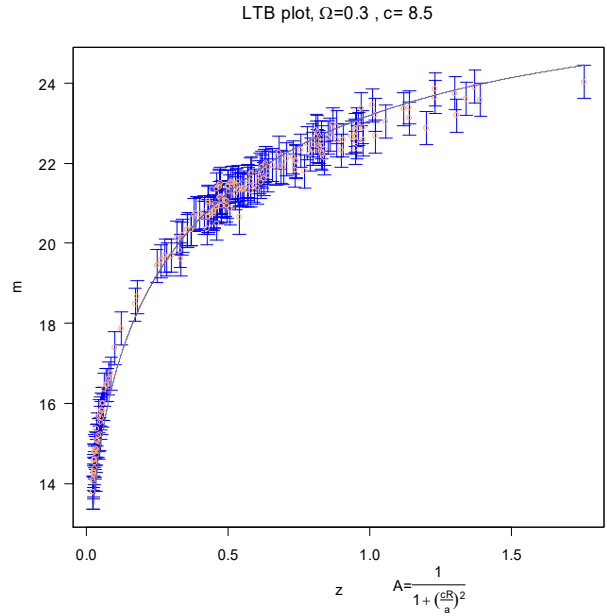


Figure 1. Plot of effective magnitude *versus* redshift and supernova data from Riess tables (gold accurate).

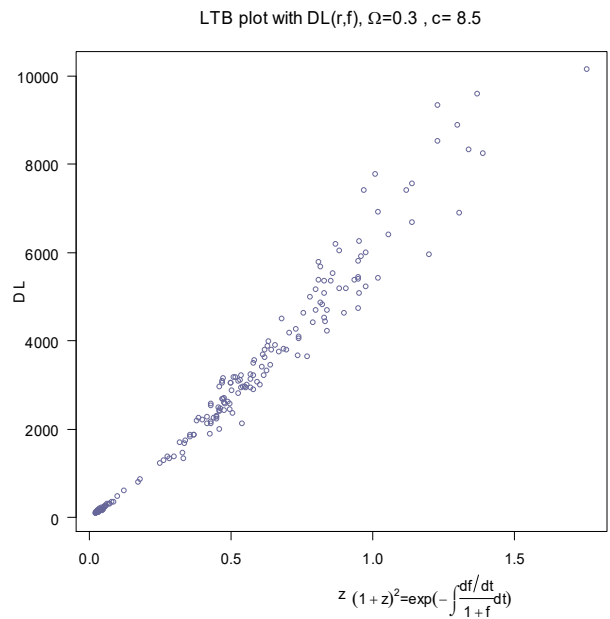


Figure 2. Plot of the supernova data (DL *versus* redshift) from Riess tables (gold accurate).

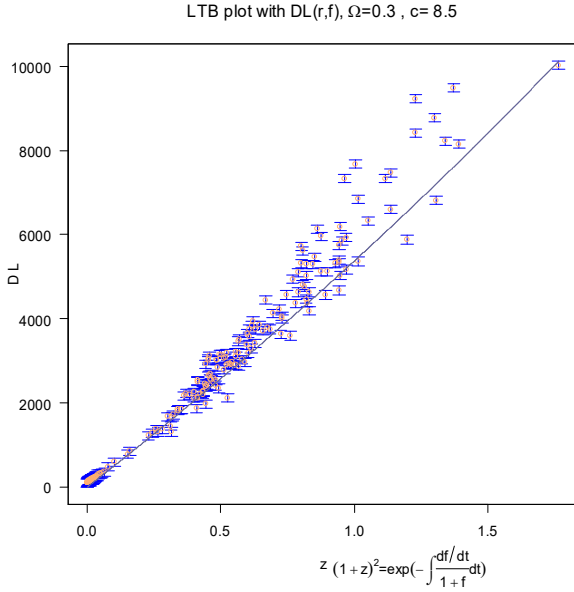


Figure 3. Plot of DL versus redshift (equation (12)) and the supernova data from Riess tables (gold accurate).

For nearby clusters ($z \ll 0.2$), X-ray observations combined with the intensity variation including SZ effect allow to evaluate the FRW angular diameter distance D_A in terms of redshift, deceleration parameter and Hubble constant. If $\Lambda = 0$,

$$D_A = \frac{c}{H_0 q_0^2} \left(\frac{q_0 z + (q_0 - 1) \left(\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1 \right)}{1 + z^2} \right). \quad (14)$$

The distances to galaxy clusters were determined from joint analysis of X-ray observations and of 30 GHz interferometric SZE observations [16]. For comparative purposes, we may refer to a spherical isothermal model (the β model) by the general expression of the SZE angular diameter distance

$$D_A = \frac{(\Delta T_0)^2}{S_{x0}} \left(\frac{m_e c^2}{k_B T_{e0}} \right)^2 \frac{\Lambda_{eH0} \mu_e / \mu_H}{4\pi f_{(x,T_e)}^2 T_{CMB}^2 \sigma_T^2 (1+z)^4} \times \frac{1}{\theta_c} \frac{\int \left(\frac{n_e}{n_{e0}} \right)^2 \frac{\Lambda_{eH}}{\Lambda_{eH0}} d\eta \big|_{R=0}}{\left[\int \frac{n_e}{n_{e0}} \frac{T_e}{T_{e0}} d\eta \big|_{R=0} \right]^2}, \quad (15)$$

where ΔT_0 is the central thermodynamic SZE temperature decrement (or increment), $T_{CMB} = 2.728$ °K is the temperature of the CMB, Λ_{eH0} is the so called “X-ray cooling function”² in cgs units (Λ_{eH} is the same but taken at the cluster rest frame), $f_{(x,T_e)}$ is the frequency dependence of the SZE with $x = h\nu / kT_{CMB}$, σ_T is the Thompson cross section, S_{x0} is the normalization of the X-ray surface brightness S_x used in the fit, θ_c is the characteristic angular scale of the galaxy cluster, n_e is the electron number density, n_{e0} is the cluster central density, η is the line-of-sight length in units of the characteristic radius $r_c = \theta_c D_A$ (see [16, 17] for more details).

In fact, this way to calculate distances currently involves high uncertainties because

² The cooling function enters basically as the conversion between detector counts and cgs units.

rarely clusters exhibit spherical symmetry in the distribution of the gas. Nevertheless, it is accepted that any important bias is introduced in the Hubble parameter inferred from a large sample of clusters.

5.1. The contemporary understanding of inhomogeneous cosmology

Now we can imagine a cosmological LTB <<bubble>> embedded in a FLRW background, in such a way that we can ask whether the angular diameter distance measured from the background would be the same measured from the bubble. This question makes sense, since it would be careless to neglect the effects of inhomogeneity on distance measurements.

In Figure 4, I classified 38 clusters [13,14,20], according to the Chandra X-ray Observatory³, by dissimilarities in the pair of variables (D_A, z) , constructing 6 fiduciary mega-clusters adopting for each one the medians of z and of D_A , as well as the error averages in D_A . In the simulations, it was noteworthy that the curvature of D_A is sensitive to small changes in the gauge parameter Γ . To get an idea, by adopting the natural gauge ($\Gamma = 1$), the curve referring to the observer centered on the cavity LTB becomes very close to the curve in FLRW. In the plot, the respective theoretical curves defined from inside the LTB cavity⁴ (orange line) and from external FLRW background (green line) were superposed. Error bars include statistical uncertainties intrinsic to

X-ray observations and SZ effect measurements.

At the specified conditions, the curve referring to the observation taken from the LTB bubble shows a better adjustment to the observational data. The uncertainties in the registration of angular diameter distance are such that it would be, to say the least, arbitrary any definite conclusion based on such a precarious observational conjuncture.

6. Conclusions

The LTB model discussed here showed high potential to explain simultaneously data from type Ia SN and from galaxy clusters, including SZ effect in the latest.

In different approaches, time derivative of the curvature was recently treated in a perturbative context on large scales [10] and in interesting discussions on Two Measures Field Theory (TMT) in the context of spatially flat FRW cosmology [11]. Also less orthodox approaches has been defended considering variable deceleration parameter models [15]. According to my view, I claim that curvature time derivative provides an additional trace of high inhomogeneity at large scales and it is free from singularities as $f = 0$; $f > 0$; $0 > f > -1$. Intuitively, df/dt would be negligible at small scales. Besides, its introduction in the model partially rescues evolution lost with the choice of the unique geodesic. Luminosity distance, rewritten as an explicit function of the curvature, is interpreted as a possible theoretical alternative to account for the dimming of distant type Ia SN apparent luminosity.

³ Indeed, there are now better mastered new catalogs extracted from the larger SDSS survey, in particular the catalog redMaPPer [18]. Also, the cluster catalogs extracted from the Planck Collaboration, SPT and ACT data also increased the number of known clusters [19].

⁴ The calculation principles for adjusting the angular diameter distance as a function of inhomogeneity are the subject for another publication.

In short, time variable function f resumes three fundamental features: a) the redshift is taken as a function of the curvature and its time derivative (for large radii). For small radii, it is enough the relativistic approximation ($r = \text{const.}$); b) redshift entangled with curvature may be seen as another tool to “observe” curvature itself, and time differentiable curvature is a reasonable supposition at large scales for the inhomogeneous expanding universe; c) theoretical LTB-SZE line D_A versus z tends to have a curvature more open than the well known FRW-SZE curve, which means that larger angular diameter distances at high redshifts would be best represented by the former.

As I pointed out in the beginning of this article, to validate LTB spacetime as a viable model it is necessary to perform more simulations with different cosmological data. I am just working to test the compatibility of the model also with data from galaxy counts.

References

- [1] Brouzakis N., Tetradis N. and Tzavara E., arXiv: astro-ph/0703586 (2007)
- [2] Whitrow G., “The Natural Philosophy of Time”, Oxford University Press (1980)
- [3] Tolman R., “Relativity, Thermodynamics and Cosmology”, Dover (reprint 1987)
- [4] Brouzakis N., Tetradis N. and Tzavara E., arXiv: astro-ph/0612179 (2007)
- [5] Vanderveld R., Flanagan E., Wasserman I., arXiv: astro-ph/0602476 (2006)
- [6] Riess A. *et al.*, Astron. J. 116 1009 (1998)
- [7] Garfinkle D., arXiv: gr-qc/0605088 (2006)
- [8] Perlmutter S. *et al.*, Astrophys. J. 517 565 (1999)
- [9] Hui-Ching Lu T. and Hellaby C., arXiv: 0705.1060 (2007)
- [10] Wands D., arXiv:astro-ph/0702187 (2007)
- [11] Guendelman E. and Kaganovich A., arXiv: gr-qc/0607111 (2007)
- [12] Zel’dovich Y. and Sunyaev R., Ap and S.S., 4, 301 (1969)
- [13] Birkinshaw M., arXiv: astro-ph/9808050 (1998)
- [14] Bonamente M. *et al.*, arXiv:astro-ph/0512349 (2006)
- [15] Pradhan A. *et al.*, Romanian Journal of Physics, Vol.52, Nos.3-4, P.415-429, Bucharest (2007)
- [16] Reese E., Carlstrom J. *et al.*, arXiv:astro-ph/0205350 (2002)
- [17] Carlstrom J. *et al.*, arXiv:astro-ph/9905255 (1999)
- [18] Rykoff E., *et al.*, arXiv: astro-ph/1601.00621 (2016)
- [19] The Planck Collaboration, arXiv:1502.01598 (2015)
- [20] Romer K., *et al.*, arXiv:astro-ph/0301024 (2003)

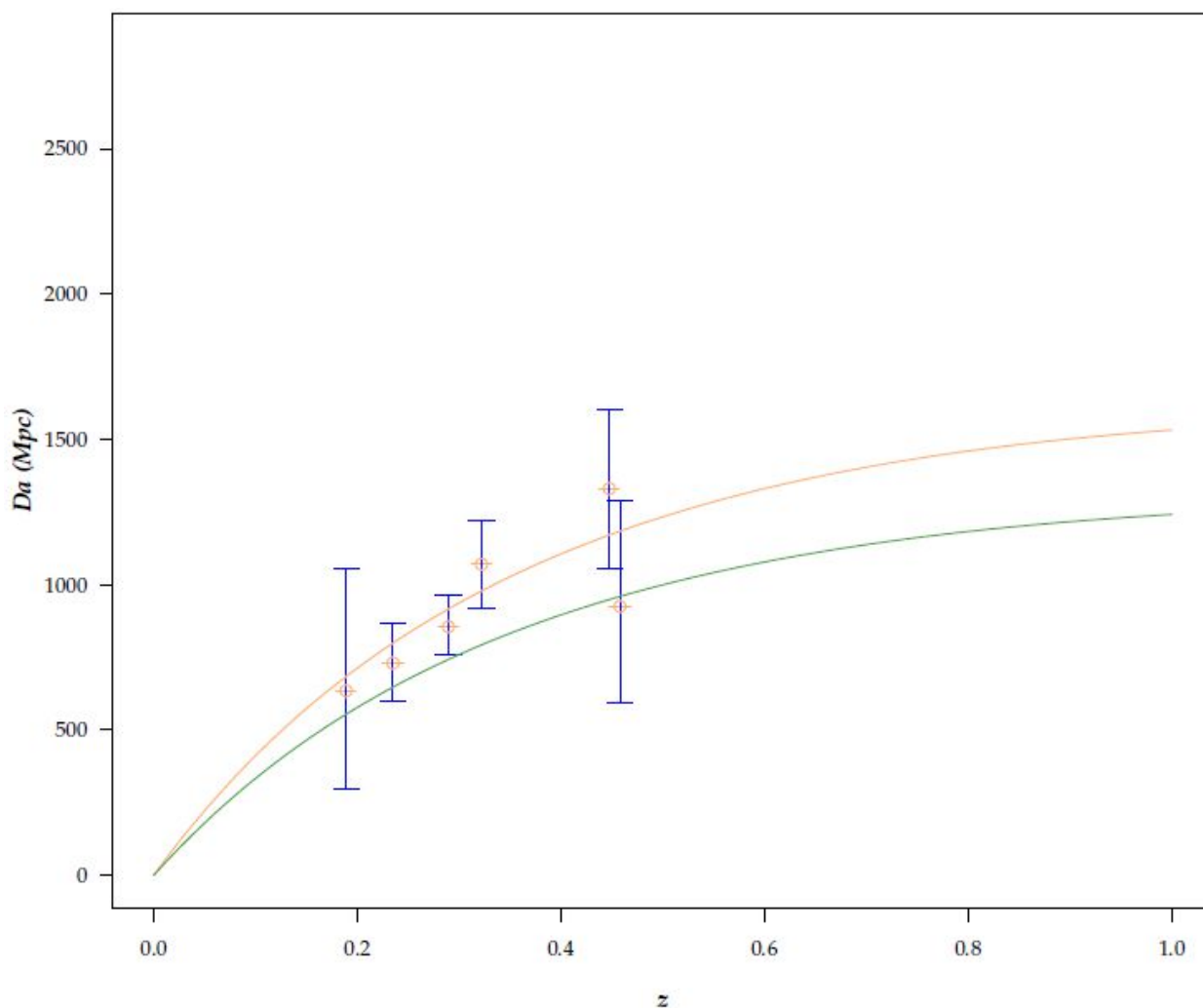


Figure 4. Fiduciary mega-clusters constructed from the dissimilarities of the 38 elementary clusters calculated on the pair of variables (D_A, z) and organized by the method of *partition by medoids*, $\Gamma = 1.19$. The matrix of dissimilarities computed the roots of the sums of the squares of the differences between the elementary clusters. The reader must note the degree of fit of the curve defined from within the LTB cavity (in orange) compared to the FLRW curve (in green).



Appendix

We may prove that the introduction of df/dt is consistent with the choice of large scale observations. Let us take the LTB arbitrary function defined previously,

$$f = Ar^2 = \frac{r^2}{1 + (cr)^2}.$$

First of all, we note that the time derivative is given by

$$\dot{f} = \frac{2r\dot{r}}{1 + c^2r^2} - \frac{2c^2r^3\dot{r}}{(1 + c^2r^2)^2}.$$

By comparison, if $r \ll 1$, the second term of the right-hand side is much smaller than the prime. So, for small r ,

$$\dot{f} = \frac{2r\dot{r}}{1 + c^2r^2}$$

is a good approximation.

