

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

FRANCISCO FERREIRA DOS SANTOS

**ESTUDO DE ILUMINAÇÃO SOLAR ZENITAL COM GARRAFAS PET**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA**

**2013**

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

**ESTUDO DE ILUMINAÇÃO SOLAR ZENITAL COM GARRAFAS PET**

Proposta de trabalho de graduação a ser apresentado à disciplina de TCC II do Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR como requisito parcial para a obtenção do título de engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Krüger

**CURITIBA**

**2013**



Sede Ecoville.

Ministério da Educação

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

*Campus Curitiba – Sede Ecoville*

**Departamento Acadêmico de Construção Civil**

Curso de Engenharia de Produção Civil

---

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ESTUDO DE ILUMINAÇÃO SOLAR ZENITAL COM GARRAFAS PET**

Por

**FRANCISCO FERREIRA DOS SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 03 de maio de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

---

Prof. Orientador Eduardo Krüger, Dr.

UTFPR

---

Prof. Adalberto Matoski, Dr.

UTFPR

---

Prof. Cintia Akemi Tamura, MsC.

UTFPR

---

Prof. Celimar Azambuja, Dra.

UTFPR

## RESUMO

O trabalho tem por objetivo geral avaliar a obtenção de luz natural zenital por meio da reutilização de materiais recicláveis, no caso a garrafa PET de 2l. O estudo foi realizado com a introdução deste material em um protótipo em escala reduzida, de modo a avaliar o nível de iluminação natural obtido com o uso da garrafa como iluminação zenital do ambiente interno. O estudo foi realizado de forma quantitativa e qualitativa, tomando-se duas configurações como referência (iluminação zenital sem a garrafa e uso de iluminação artificial), para 4 configurações de uso da garrafa PET. Os resultados se mostraram satisfatórios com o uso das garrafas PET em duas das configurações estudadas, e somente uma das configurações de garrafa na situação de verão teve iluminância similar a uma lâmpada equivalente a 60 watts, valor utilizado como referência. As intensidades de iluminação, simuladas no verão, chegaram a ultrapassar este valor. Por fim, foi realizado um estudo para avaliação da viabilidade da utilização de garrafas PET na obtenção de iluminação, tendo como modelo de referência uma residência de aproximadamente 40m<sup>2</sup>. Os resultados apontaram para a viabilidade de utilização deste material na obtenção de luz no interior de edificações.

Palavras-chave: energias renováveis, iluminação natural, reciclagem de materiais.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the use of daylighting through top openings reusing materials. 2l PET bottles were adopted as test material. The study was carried out using PET bottles in a scale model, so that daylighting levels could be assessed using the bottles as the source of light. The study was carried out quantitatively and qualitatively from four basic configurations and adopting two others as references. The results were satisfactory use of PET bottles in two of the studied configurations, therefore, only one bottle with water in summer situation has illuminancia equal to a lamp equivalent to 60 watts. Lighting intensities in summer surpass the artificial output. At last, a feasibility study was conducted considering the PET bottle use in a 40m<sup>2</sup> dwelling. Results point out to a feasible use of such alternative lighting source in buildings.

Keywords: renewable energy, daylighting, recycling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de parede usando garrafas PET .....	19
Figura 2 - Casa acabada com paredes de garrafas PET .....	20
Figura 5 - Passos 01 a 05, mostrando a garrafa pronta, perfuração da telha, preparação da garrafa e sua fixação com haste metálica.....	23
Figura 6 - Casa acabada com paredes de garrafas PET .....	24
Figura 7 - Protótipo de ensaio, medidas em centímetros. ....	28
Figura 8- Interior da caixa. ....	29
Figura 9– Protótipo de ensaio com relógio de sol e garrafa PET. ....	30
Figura 10– Relógio solar para a latitude de Curitiba.....	30
Figura 11- Fotografia interna do ambiente de ensaio obtida pelo olho mágico, com o interior da caixa e o fundo da garrafa transmitindo a luz natural.....	31
Figura 12 – Protótipo montado sobre o teodolito.....	32
Figura 13 – Configurações da garrafa PET: 4,1,2,3. ....	33
Figura 14– Posição do protótipo às 8h para 21 de dezembro. ....	33
Figura 15 – Irradiância solar global (I <sub>g</sub> ) fornecida pelo INMET para o dia 15 de abril de 2013 .	36
Figura 16– Correspondência entre valores de iluminância externa (E <sub>ext</sub> ) calculados pelo DLN e convertidos dos dados de irradiância solar global (I <sub>g</sub> ) fornecidos pelo INMET para o dia 15 de abril de 2013.....	37
Figura 17- Casa popular de 40 m <sup>2</sup> . ....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Iluminância por classe de tarefas visuais.	17
Quadro 2 - Medições das intensidades luminosas	34
Quadro 3- Correspondência entre áreas o ambientes e a quantidades de garrafas.	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Intensidades luminosas das 5 configurações <i>versus</i> lâmpada.....	38
Gráfico 2- Relação $E_{int}/E_{ext}$ das 5 configurações. ....	39
Gráfico 3- Intensidades luminosas das 5 configurações <i>versus</i> lâmpada a partir de simulação com o software DLN – situação céu claro (CC). ....	40
Gráfico 4- Intensidades luminosas das 5 configurações <i>versus</i> lâmpada a partir de simulação com o software DLN – situação céu encoberto (CE). ....	41



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	OBJETIVOS .....	14
2.1	OBJETIVO GERAL .....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
	• Avaliar quantitativamente o nível de iluminação interno.....	14
	• Avaliar a distribuição de luz de forma qualitativa.....	14
3	JUSTIFICATIVA .....	15
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	16
4.1	A ILUMINAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES .....	16
4.2	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO .....	16
	4.2.1 A Iluminação Natural .....	18
4.3	O USO DAS GARRAFAS PET NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	18
	4.3.1 Construção de Paredes com Garrafas PET.....	19
	4.3.2 Uso de garrafas na iluminação Solar .....	21
4.4	SUSTENTABILIDADE: USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E RECICLAGEM DE MATERIAIS.....	25
	4.4.1 Classificação dos Resíduos .....	25
	4.4.2 Reciclagem e Reutilização de Materiais .....	26
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
5.1	MEDIÇÕES DE INTENSIDADES LUMINOSAS .....	32
	5.1.1 Coleta dos Dados Zenitais.....	33
	5.1.2 Coleta da intensidade luminosa de uma lâmpada.....	34
	5.1.3 Adequação dos dados de medição a condições de irradiância solar de cada período e simulação de condições padrão.....	35

6	ANÁLISE DE RESULTADOS .....	38
6.1	ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA EM CURITIBA .....	41
7	CONCLUSÕES .....	45
	REFERÊNCIAS .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, foi abordada a utilização de garrafas PET (Politereftalato de Etileno) de 2l como elemento para obtenção de iluminação zenital, por meio da simulação destas como fonte de iluminação difusa em ambientes internos. A crescente demanda no Brasil e no mundo por energia leva ao desenvolvimento de novos métodos de consumo e exploração de energias renováveis. Visando destacar a possibilidade de utilização destas fontes para solucionar parte dessa demanda, o projeto procurou estudar e oferecer alternativas de redução deste consumo, contribuindo assim para evitar que o país passe por novas crises energéticas. A iluminação zenital apresenta grande vantagem em relação ao uso de iluminação artificial, uma vez que pode reduzir a demanda de energia elétrica que seria usada para iluminação durante o período diurno em ambientes internos, tais como residências de baixa renda ou casas de qualquer natureza onde se queira reduzir os custos com energia por iluminação diurna, bem como barracões industriais. Desta forma, contribuiria também para diversificar a matriz energética do país. Além disto, a economia obtida como a redução no consumo de energia elétrica para fins de iluminação poderia reverter em capital disponível para a aquisição de bens duráveis pela população em geral, o que significaria uma movimentação econômica maior no país.

## **2 OBJETIVOS**

A fim de se obter dados que permitissem a realização da avaliação quantitativa e qualitativa da viabilidade da utilização das garrafas PET de 2l como elemento para a obtenção de iluminação zenital em edificações, definiu-se como objetivo geral e objetivos específicos os seguintes itens, descritos a seguir em objetivo geral e objetivos específicos.

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Por meio do uso de garrafas PET transparentes de 2l, pretendeu-se avaliar o desempenho das mesmas como fonte de iluminação zenital em um protótipo em escala reduzida.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos, pretendeu-se:

- Avaliar quantitativamente o nível de iluminação interno.
- Avaliar a distribuição de luz de forma qualitativa.

### **3 JUSTIFICATIVA**

Em razão da crescente demanda no Brasil e no mundo por energia, procurou-se desenvolver e melhorar aplicações de energias renováveis e limpas. O uso de luz natural traz opções de melhoria à iluminação ambiente, sem incorrer em gastos desnecessários de energia elétrica, gás, derivados de petróleo ou outras fontes convencionais de energia, desde que haja acesso à iluminação natural em níveis de iluminância suficientes para a realização das tarefas a que o ambiente se destina. Outra justificativa para a aplicação dos resultados da pesquisa se relaciona com a redução de resíduos (garrafas PET), trazendo benefícios para o meio ambiente.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 A ILUMINAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES**

A iluminação é um dos elementos importantes nas edificações, pois é responsável pelos níveis de conforto visual do ambiente. Se utilizada corretamente, resulta em boa visualização do ambiente e dos objetos que nele estão, garantindo a realização de tarefas em ambientes de trabalho, bem como o conforto dos usuários nas demais situações. A intensidade da luz que incide sobre a superfície de uma edificação é expressa em lux. A luminância (ou brilho) é a quantidade de luz que é refletida para os olhos, medida em candela por m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>) (IIDA, 2005). A norma brasileira NBR 5413 (1992) especifica a intensidade de luz para ambientes de trabalho.

### **4.2 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO**

Sistemas de iluminação são instalações usadas com o objetivo de iluminar artificialmente ou de forma natural, no caso no período diurno, locais fechados como residências, escritórios, galpões industriais e outras. Nas edificações, existem situações nas quais são necessários projetos de iluminação. Tais projetos dependem de vários fatores como: área do ambiente, público alvo, tipo de luminária e destino (MOREIRA, 1982).

De acordo com a NBR 5413, existem iluminâncias mínimas ou máximas para cada tipo de atividade desenvolvida no interior de um ambiente. Esses são classificados de acordo o tipo de uso, conforme o Quadro 1.

<b>Classe</b>	<b>Iluminância (Lux)</b>	<b>Tipo de Atividade</b>
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	<b>20 – 30 - 50</b>	Área pública com arredores escuros.
	<b>50 – 75 - 100</b>	Orientação simples para permanência curta.
	<b>100 – 150 - 200</b>	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos.
	<b>200 – 300 – 500</b>	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditório.
B Iluminação geral para área de trabalho.	<b>500 – 750 - 1000</b>	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria.escritórios
	<b>1000 – 1500 - 2000</b>	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis.	<b>2000 – 3000 - 5000</b>	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	<b>5000 – 7500 – 10000</b>	Tarefas visuais muito exatas, montagem de micro-eletrônica.
	<b>10000 – 15000 - 20000</b>	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Quadro 1 – Iluminância por classe de tarefas visuais.

Fonte: NBR 5413 (1992).

#### 4.2.1 A Iluminação Natural

A iluminação natural deveria ser sempre considerada como item importante na concepção do projeto da edificação, pois é uma fonte de energia limpa, de boa qualidade e sem valor agregado. O incentivo em relação às edificações por iluminação natural tem crescido por conta da demanda por energia limpa. Além disso, a luz natural é gratuita dependendo apenas da boa forma de aproveitá-la no projeto arquitetônico. Entretanto, em condições tropicais, é necessário controlar os ganhos térmicos com a entrada de luz natural (KOENIGSBERGER et al., 1975). Esta procura de soluções na concepção dos projetos para os ambientes novos tem que considerar a orientação das exposições zenitais para o melhor aproveitamento de luz do sol (HOPKINSON et al., 1975; VIANNA E GONÇALVES, 2001).

Existem dois problemas com a iluminação natural. O primeiro deles é certificar-se da quantidade necessária para iluminação, dependendo do fator de intensidade luminosa indicada para a tarefa (NBR 5413). Sabe-se que a luz natural disponível externamente varia para as estações do ano, meses e dias num certo local, sendo importante levantar o potencial de uso. O segundo problema é proporcionar um ambiente de trabalho agradável, pois os pontos de iluminação provenientes do sol não são uniformes no ambiente interior (HOPKINSON et al., 1975). Em geral, a iluminação solar deverá ser usada como complementar à iluminação artificial.

#### 4.3 O USO DAS GARRAFAS PET NA CONSTRUÇÃO CIVIL

São grandes as variedades de uso de garrafas PET na construção civil. Dentre elas, muitas são apresentadas como protótipos em desenvolvimento, ou são feitas artesanalmente por moradores, ou como resultado de pesquisas inovadoras com vistas ao uso desse material como fonte alternativa para redução de custos. Assim, além dos benefícios para os moradores, dá-se uma forma alternativa de destino final para esses



recipientes. É conhecido que o tempo para haver a degradação total de materiais com base PET (Politereftalato de Etileno) é superior a 400 anos (ABIPET, 2013). Uma vantagem associada ao uso do PET está em seu bom desempenho devido às suas propriedades mecânicas, com aplicação das garrafas como elemento de vedação (ABIPET, 2013).

#### 4.3.1 Construção de Paredes com Garrafas PET.

Considerando a grande produção e descarte dessas garrafas a partir dos anos 1980, quando começaram a ser usadas em grande escala como embalagem de refrigerantes, surgiu inicialmente a ideia de se utilizá-las na construção de paredes de casas residenciais. Um exemplo disso é sua aplicação como material de vedação em uma casa residencial de baixa renda, cujo objetivo é o de reaproveitar o material PET e ao mesmo tempo reduzir custos de construção. Na Figura 1, mostra-se uma parede com garrafas PET em execução (CONSTRUÇÃO CIVIL PET, 2012).



Figura 1 - Modelo de parede usando garrafas PET

Fonte: MDIG (2012).

O método construtivo é simples, artesanal e semelhante ao modelo de construção usual. A única diferença do modelo tradicional de tijolos é que estes são substituídos pelas garrafas. Mantém-se o uso tradicional de vigas de baldrame e pilares como elementos de fundação e estrutura. A diferença está na substituição dos tijolos pelas garrafas PET, no caso, preenchidas com areia. A colocação das mesmas na posição horizontal cria maior estabilidade. Pelo espaçamento necessário de argamassa entre as garrafas e também devido a maior espessura da parede, há maior consumo desse material. A argamassa pode ser de cal, areia e cimento tradicional, ou apenas argila amassada (adobe). Na maioria das vezes, é usada a argila removida do solo com a fundação, o que proporciona redução de custos da obra (CONSTRUÇÃO CIVIL PET, 2012).

As instalações hidráulicas e elétricas são feitas nas pontas das garrafas, pois existem espaços restantes entre elas para a passagem das conexões. Sendo desenvolvidas as etapas da construção, a obra toma forma de uma residência tradicional, conforme ilustrado na Figura 2 (CONSTRUÇÃO CIVIL PET, 2012). O lado interno da parede pode ser coberto pelo emboço, conforme observado em habitações tradicionais. A cobertura é executada de forma convencional, já que a estrutura é a mesma (CONSTRUÇÃO CIVIL PET, 2012).



Figura 2 - Casa acabada com paredes de garrafas PET

Fonte: MDIG (2012)

#### 4.3.2 Uso de garrafas na iluminação Solar

A posição e extensão geográfica do Brasil proporciona a captação de grande quantidade de incidência solar em boa parte de seu território. Este fato, somado à grande disponibilidade de garrafas PET, podem ter sido fatores que em conjunto propiciaram o surgimento de iniciativas espontâneas por parte da população em utilizar este material para o aproveitamento da luz natural no interior das edificações.

As garrafas utilizadas na iluminação zenital destas construções são preenchidas com água sanitária, o que evita que possa haver a proliferação de algas, mantendo a cristalinidade da água. (FERREIRA FILHO, 2001). A garrafa PET é fixada no telhado da casa ou qualquer ambiente que se deseja iluminar. A telha que melhor se encaixa no processo é a de fibrocimento, pois a execução do recorte onde se insere a garrafa é de execução mais fácil. Para a fixação, pode ser usada uma haste de metal, como ilustra a Figura 3 abaixo; alternativamente, pode ser usada simplesmente massa de vedação epóxi.



Figura 3 - Galpão de instalações provisórias de uma obra com a fixação de garrafas PET com hastes metálicas

Fonte: Equipe de obra (2012).

Nos estados do Norte, Nordeste e Centro Oeste, nos quais praticamente inexistem diferenças sazonais de incidência solar, o procedimento pode gerar alguma economia final (EQUIPE DE OBRA, 2012). Na Figura 4, as garrafas PET foram postas por cima do telhado e atravessadas até atingir o interior da residência (EQUIPE DE OBRA, 2012).



Figura 4 - Interior de uma residência com iluminação com garrafas PET

Fonte: RECICLA E DECORA (2012).

O custo do processo é irrisório, pois o material empregado é reciclado ou de baixo custo. Como exemplo, na Figura 3 apresentada anteriormente, está ilustrada a fixação das garrafas com hastes metálicas, advindas de sobras na obra. O único valor agregado maior é na compra da água sanitária. No entanto, este custo é muito baixo, pois a quantidade é de aproximadamente de 5ml por garrafa (EQUIPE DE OBRA, 2012). A execução em cinco passos é apresentada na Figura 5 a seguir, que exemplifica a instalação. Primeiramente, é marcado o diâmetro das garrafas e, após isso, é furada a telha com uma furadeira e uma serra copos. A perfuração é o passo mais trabalhoso nessa execução (EQUIPE DE OBRA, 2012). No passo 3, é feita a colocação de um arame na tampa da



garrafas para posterior fixação numa haste. No passo 4, é realizada a vedação das garrafas ao telhado para evitar qualquer infiltração de água (EQUIPE DE OBRA, 2012).

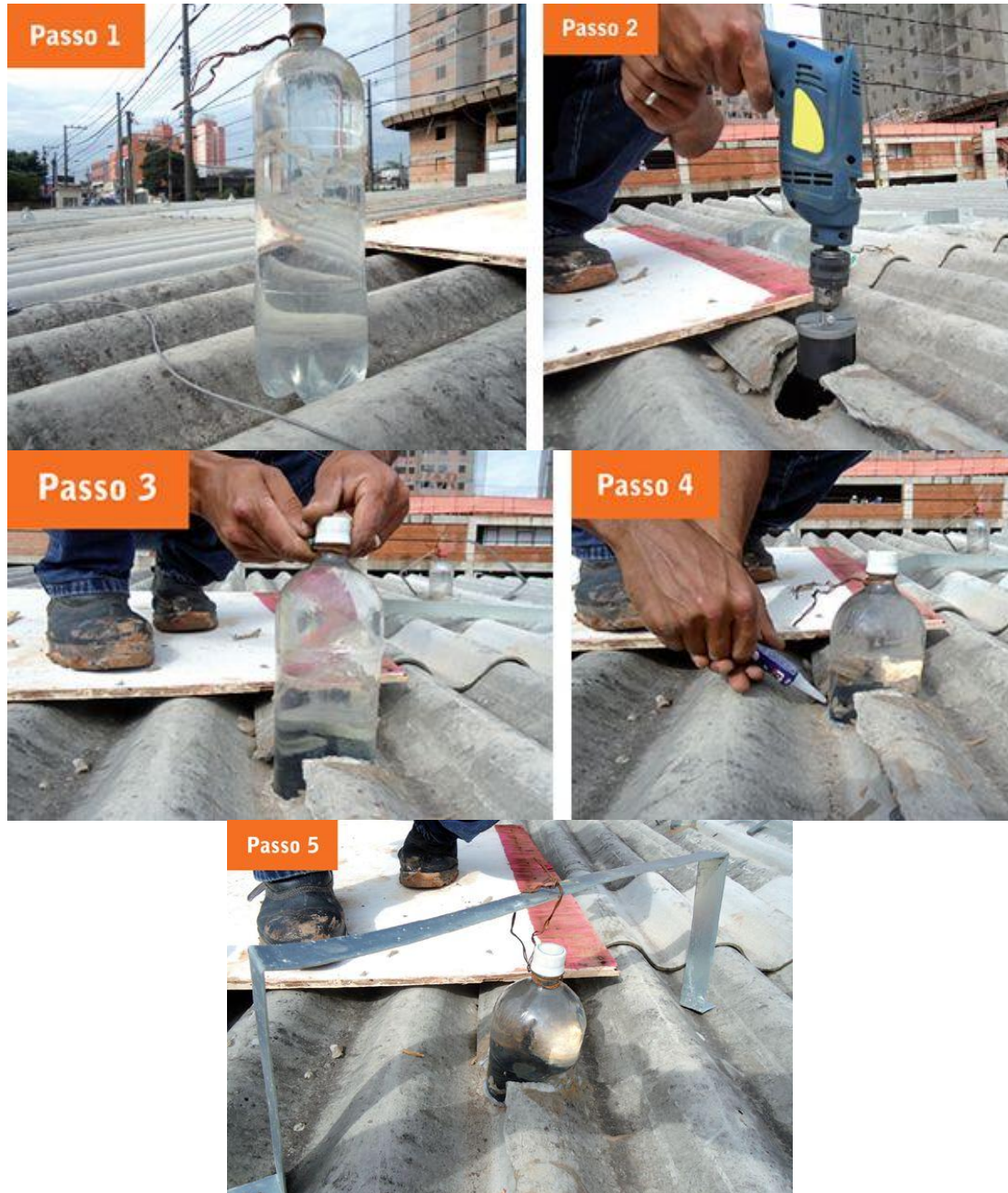


Figura 3 - Passos 01 a 05, mostrando a garrafa pronta, perfuração da telha, preparação da garrafa e sua fixação com haste metálica.

Fonte: Equipe de obra (2012).

No último passo, é amarrado o arame numa espécie de pórtico metálico com o objetivo de fixar a garrafa para resistir seu próprio peso (EQUIPE DE OBRA, 2012). O ganho de energia por iluminação natural durante o dia é de 100%, considerando o céu sem nuvens (céu encoberto), reduzindo proporcionalmente o custo de uso da obra (Figura 6). Para uma residência, o custo de iluminação ao dia é praticamente inexistente. No exemplo da obra apresentada, localizada no estado de São Paulo, foram usadas 8 garrafas PET em 40 m<sup>2</sup> de construção, e o resultado foi uma média de 200 lux de iluminância no ambiente. A NBR 5413 recomenda um valor médio de 150 lux para depósitos, conforme o Quadro 1 anteriormente apresentado (EQUIPE DE OBRA, 2012).



Figura 4 - Casa acabada com paredes de garrafas PET

Fonte: Equipe de obra (2012).

Os resultados foram obtidos com portas e janelas fechadas, tentando-se com isso simular a iluminação artificial por luminárias. O horário de utilização foi entre as 9h30min e 13h50min. Os dias de análise estavam com períodos ensolarados e com algumas nuvens (EQUIPE DE OBRA, 2012).

#### 4.4 SUSTENTABILIDADE: USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E RECICLAGEM DE MATERIAIS

O setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. A indústria da construção é um dos setores de atividade que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Para minimizar esses impactos ambientais provocados pela construção, surge a questão de se implantar o modelo de construção sustentável. Ao fazer essa implantação, pode-se considerar o contexto do desenvolvimento sustentável associado à reciclagem. Para isso, a sustentabilidade ambiental deve estar relacionada com a sustentabilidade econômica e social. Os objetivos para o setor da construção são muitos e, em síntese, consistem em reduzir e otimizar o consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído (SINDUSCONSP, 2013), (INFOHAB, 2013).

##### 4.4.1 Classificação dos Resíduos

A Resolução do CONAMA 307, de 5 de julho de 2002, classifica os vários tipos de resíduos da construção civil e estabelece as diretrizes de critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

No artigo 3º desta resolução, os resíduos são classificados em quatro tipos:

Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

Classe D: resíduos perigosos advindos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONAMA, 2002).

#### 4.4.2 Reciclagem e Reutilização de Materiais

A importância da reciclagem é fundamental porque transforma quantidades enormes de resíduos de construção em pilhas de matéria-prima, que abastecerão novos empreendimentos, tendo como consequência direta a diminuição da pressão sobre o consumo destes bens naturais. Esse aspecto de gerenciamento é recomendado pela resolução do CONAMA 307. (SINDUSCONPR, 2013). A reutilização é um processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo. Consiste no aproveitamento do resíduo nas condições em que é descartado, sem qualquer



alteração física, submetendo-o a pouco ou nenhum tratamento; exigindo apenas operações de limpeza, embelezamento, identificação, entre outras, modificando ou não a sua função original (SINDUSCONPR, 2013).

A reciclagem é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. O resíduo retorna ao sistema produtivo como matéria prima. Pode ser considerada como uma forma de tratamento de parte do resíduo sólido gerado (SINDUSCONPR, 2013).

Uma vez que o reaproveitamento não incorre em geral em uso intensivo de energia, este apresenta vantagens em relação ao processo de reciclagem. O presente trabalho objetiva o estudo de resíduos Classe B, com seu reaproveitamento direto, sem passar por nenhum processo de transformação ou reciclagem (SINDUSCONPR, 2013).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa envolveu três fases: construção de um protótipo de testes em escala reduzida; ensaios com o protótipo para verificar sua eficácia de vedação e posterior análise dos resultados.

Por haver a necessidade da construção do protótipo para realizar os ensaios com as garrafas PET, foi construída uma caixa de madeira totalmente vedada à luz ambiente, cujo interior era acessível à luz solar zenital passante exclusivamente por um orifício central em sua parte superior (Figura 7).

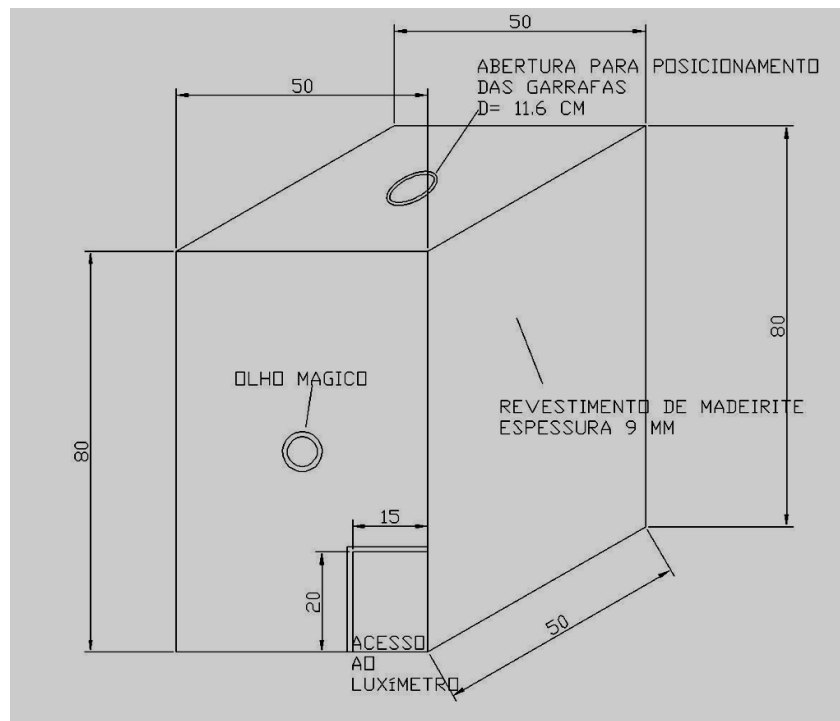


Figura 5 - Protótipo de ensaio, medidas em centímetros.

Fonte: acervo próprio (2012).

Para a construção do protótipo em escala reduzida (Figuras 8 e 9) empregaram-se os seguintes materiais: peças de madeirite (120x244x0,9cm); tinta acrílica branca; tecido moletom cor preta, para a vedação da entrada de luz; molinete, para regular a altura da garrafa no ambiente; portinhola com fechadura; olho mágico.



Figura 6- Interior da caixa.

Fonte: acervo próprio (2012).

Sobre o conjunto, afixou-se um relógio solar (Figura 10), obtido a partir do software Luz do Sol (RORIZ, 1995), com o qual se testaram diferentes exposições solares nos ensaios. O relógio do sol permitiu a simulação de diferentes épocas do ano e horários do dia para a latitude de Curitiba (25,5° S).



Figura 7– Protótipo de ensaio com relógio de sol e garrafa PET.

Fonte: acervo próprio (2012).

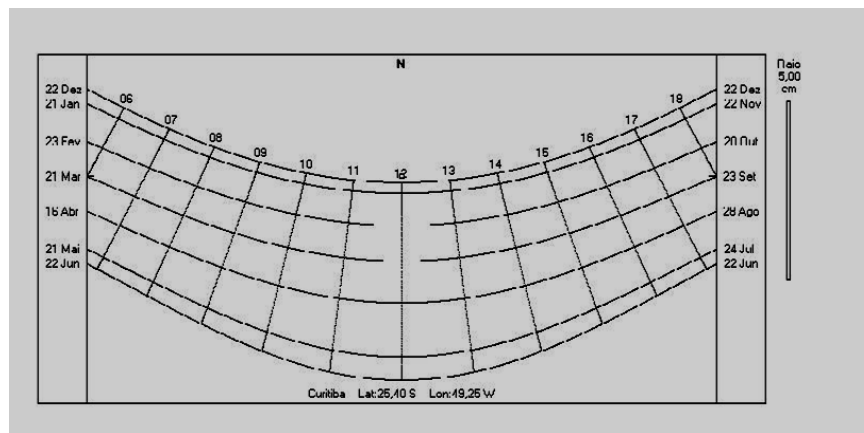


Figura 8– Relógio solar para a latitude de Curitiba.

Fonte: acervo próprio (2012).

O volume interno do protótipo de testes é de 0,2 m<sup>3</sup>. Nesse ambiente, inseriu-se a garrafa segundo 4 configurações, descritas adiante, por um orifício zenital. Por uma pequena abertura na face posterior, pôde-se inserir o sensor do luxímetro da marca

ICEL modelo LD 520. Para a análise de distribuição de luz no ambiente (análise qualitativa) trabalhou-se com um 'olho mágico', pelo qual foram tiradas as fotografias internas. A Figura 11 ilustra uma fotografia interna retirada do ambiente interno do protótipo por meio do olho mágico.

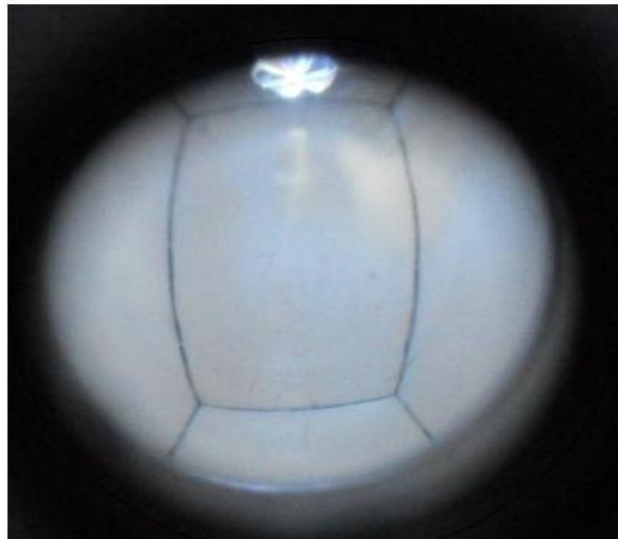


Figura 9- Fotografia interna do ambiente de ensaio obtida pelo olho mágico, com o interior da caixa e o fundo da garrafa transmitindo a luz natural.

Fonte: acervo próprio (2012).

Para se obter as medições para dias e meses do ano variados, o ambiente de ensaio foi apoiado sobre um tripé de teodolito (Figura 12), para que fosse girado em diversos ângulos, adquirindo as posições do relógio de sol.

Para fins de comparação entre o nível de luminosidade natural e artificial produzido no ambiente, foi utilizada uma lâmpada econômica de 14 watts da marca Taschibra. Essa lâmpada, de acordo com o fabricante, possui a mesma iluminância se comparada a uma lâmpada incandescente de 60 watts. Adicionalmente, foi feita uma comparação com a abertura superior sem a garrafa, simulando iluminação zenital por vidro transparente. No caso, utilizou-se um filme de PVC transparente para cobrir o orifício.



Figura 10 – Protótipo montado sobre o teodolito

Fonte: acervo próprio (2012).

## 5.1 MEDIÇÕES DE INTENSIDADES LUMINOSAS

Os dados coletados no campo foram as intensidades luminosas, dadas em lux, no interior do protótipo. A intensidade de radiação global no plano de medição foi obtida do site do INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. O plano de leitura seguiu a cada vez o plano de inclinação do protótipo, conforme horário e período de análise. Para as cinco configurações, foram adotados dois horários (8h e 12h) e duas estações (inverno e verão) diferentes, totalizando 20 medições. As medições foram realizadas no dia 15 de abril de 2013, durante o qual as condições do tempo eram de céu claro.

Para que se tivesse um local sem interferências de edifícios e árvores, as medições foram realizadas no terraço do bloco IJ do campus Ecoville da UTFPR. As configurações avaliadas no experimento (Figura 13) foram as seguintes: 1) garrafa com água; 2) garrafa com água, revestida com folha de papel alumínio, parte brilhante voltada para dentro; 3) garrafa com água e pintura cromo; 4) garrafa vazia com papel alumínio; 5) abertura coberta com plástico transparente.



Figura 11 – Configurações da garrafa PET: 4,1,2,3.

Fonte: acervo próprio (2012).

#### 5.1.1 Coleta dos Dados Zenitais

A coleta é feita posicionando-se o conjunto na posição indicada para uma data do ano no relógio solar. As datas escolhidas foram 22 de junho, representando o solstício de inverno, e 21 de dezembro, representando o solstício de verão. Os horários escolhidos foram às 8h e às 12 h, conforme ilustrado abaixo (Figura 14). Estes horários foram escolhidos para representar a manhã, de intensidade baixa, e o meio do dia, de intensidade máxima.



Figura 12– Posição do protótipo às 8h para 21 de dezembro.

Fonte: acervo próprio (2013).

O Quadro 2 ilustra os dados coletados e a forma como as configurações foram testadas.

MEDIÇÕES DE CAMPO, DIA 15 DE ABRIL DE 2013				
TIPO CONFIGURAÇÃO	INVERNO 22/ JUNHO		VERAO 22/ DEZ	
	MEDIDA LUX- ÀS 10:00		MEDIDA LUX-ÀS 12:00	
1 GARRAFA COM ÁGUA	HORÁRIO ZENITAL		HORÁRIO ZENITAL	
	8	12	8	12
	<b>1016</b>	<b>1116</b>	<b>1960</b>	<b>3200</b>
2 GARRAFA COM ÁGUA E PAPEL ALUMÍNIO	HORÁRIO ZENITAL		HORÁRIO ZENITAL	
	8	12	8	12
	<b>1145</b>	<b>1740</b>	<b>1650</b>	<b>2280</b>
3 GARRAFA COM ÁGUA E TINTURA CROMO	HORÁRIO ZENITAL		HORÁRIO ZENITAL	
	8	12	8	12
	<b>400</b>	<b>470</b>	<b>445</b>	<b>501</b>
4 GARRAFA COM PAPEL ALUMÍNIO	HORÁRIO ZENITAL		HORÁRIO ZENITAL	
	8	12	8	12
	<b>597</b>	<b>700</b>	<b>1115</b>	<b>1450</b>
5 ABERTURA COM PRÁSTICO TRANSPARENTE	HORÁRIO ZENITAL		HORÁRIO ZENITAL	
	8	12	8	12
	<b>1260,329</b>	<b>1663,501</b>	<b>1882,58</b>	<b>1990,87</b>

Quadro 2 - Medições das intensidades luminosas

Fonte: acervo próprio (2013).

### 5.1.2 Coleta da intensidade luminosa de uma lâmpada



Para fins de comparação, foi realizada a leitura da intensidade luminosa de uma lâmpada fluorescente compacta com equivalência luminosa de 60 Watts. A situação de medição foi no período noturno, ficando a sala totalmente escura. O procedimento usado foi o mesmo das demais medições. Neste caso, a altura da lâmpada em relação à base de leitura foi de cerca de 70 cm. A intensidade luminosa encontrada foi de 1893 lux.

### 5.1.3 Adequação dos dados de medição a condições de irradiância solar de cada período e simulação de condições padrão

Uma vez que a exposição solar era geometricamente equivalente a dos períodos e horários testados, porém com a irradiância era de 15 de abril, adotou-se o software DLN – Disponibilidade de Luz Natural (SCARAZZATO, 1995), para que se pudesse trabalhar com valores reais de irradiância solar global em plano horizontal ( $I_g$  dada em  $W/m^2$ ) para cada época, fornecidos pelo software em termos de iluminância solar externa. Este software, segundo SCARAZZATO (1995), “dá informações sobre a previsão da disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos às edificações.” O software é baseado no documento RP 21-84, intitulado Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability, publicado pela IESNA - Illuminating Engineering Society of North America - em 1984.

A relação entre dados de iluminância com dados de irradiância solar é dada por Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975), conforme a equação: Iluminância (lux) = Radiação solar ( $W/m^2$ ) x 100 (lm/W).

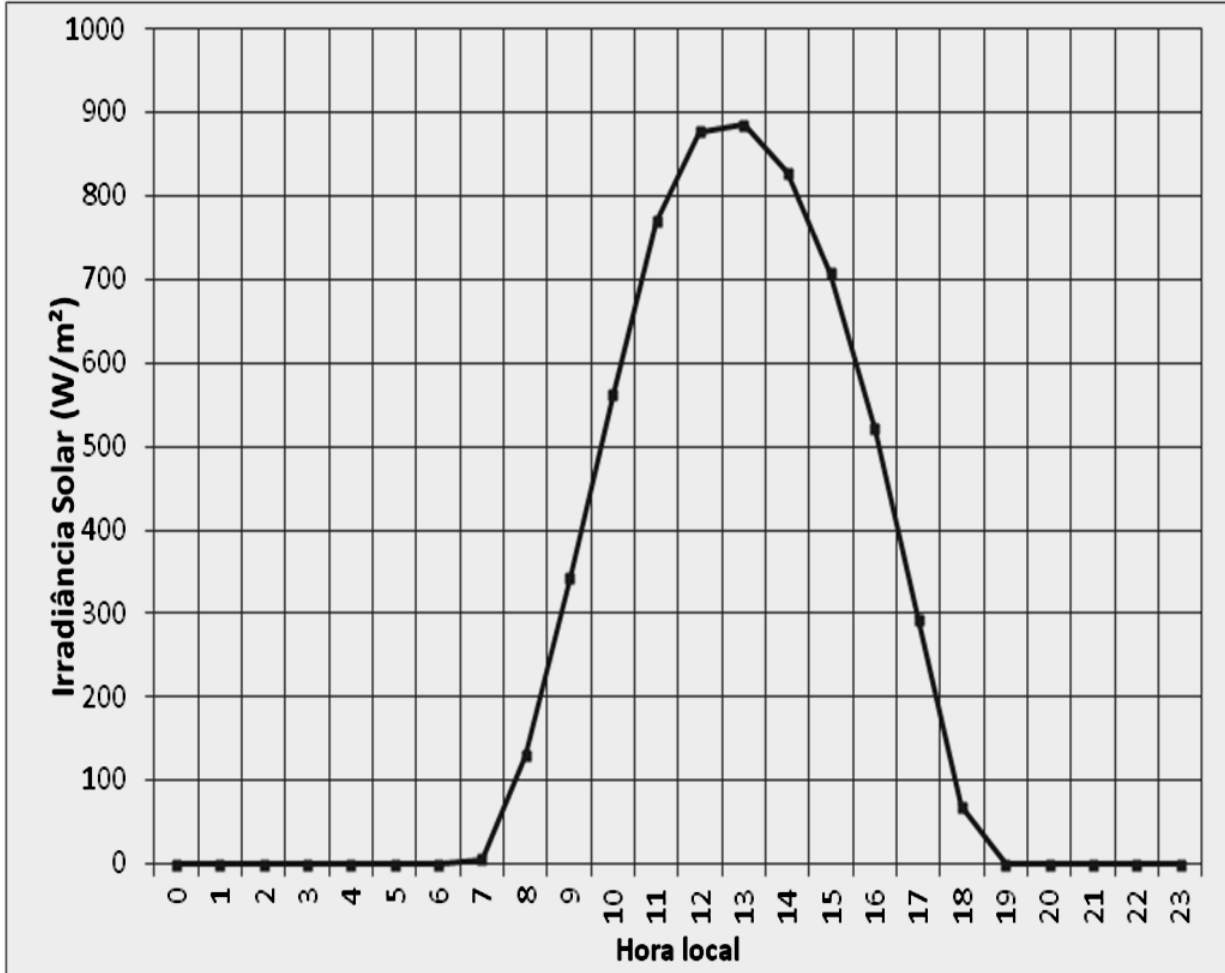


Figura 13 – Irradiância solar global (I<sub>g</sub>) fornecida pelo INMET para o dia 15 de abril de 2013 .

Fonte: acervo próprio (2013).

Usando os dados de radiação solar (I<sub>g</sub>) fornecidos pelo INMET para o dia 15 de abril de 2013 (Figura 15), devidamente convertidos para a iluminância externa E<sub>ext</sub>, verificou-se grande similaridade com os dados calculados pelo DLN para a mesma data, em condições de céu claro (Figura 16).

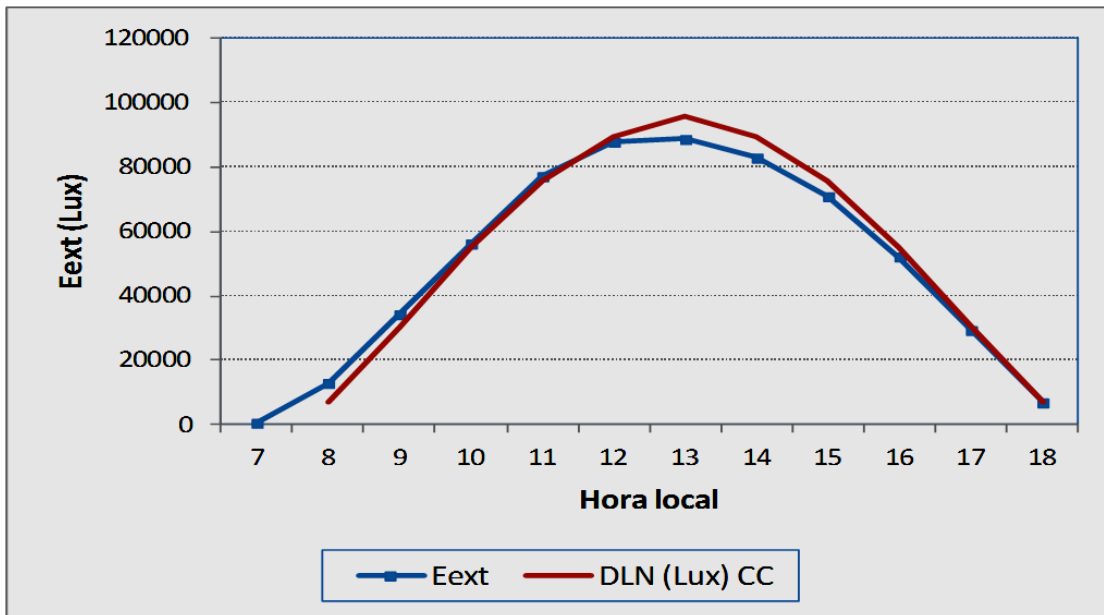


Figura 14– Correspondência entre valores de iluminância externa (Eext) calculados pelo DLN e convertidos dos dados de irradiância solar global (I<sub>g</sub>) fornecidos pelo INMET para o dia 15 de abril de 2013.

Fonte: acervo próprio (2013).

O DLN possibilita também a simulação de situações padrão de céu claro (CC) e céu encoberto (CE), as quais puderam complementar a análise.

## 6 ANÁLISE DE RESULTADOS

O gráfico a seguir mostra as iluminâncias internas (Eint) obtidas diretamente no dia 15 de abril. Como dado referencial, adiciona-se na última coluna a intensidade luminosa da lâmpada usada. Nota-se que, das diversas configurações, apenas na situação de verão, ao meio dia, se obtém valores de Eint superiores aos da iluminação artificial. A configuração 1 (garrafa com água) foi a que mostrou melhor resultado neste caso, seguida pela configuração 2 (garrafa com água, revestida com folha de papel alumínio).

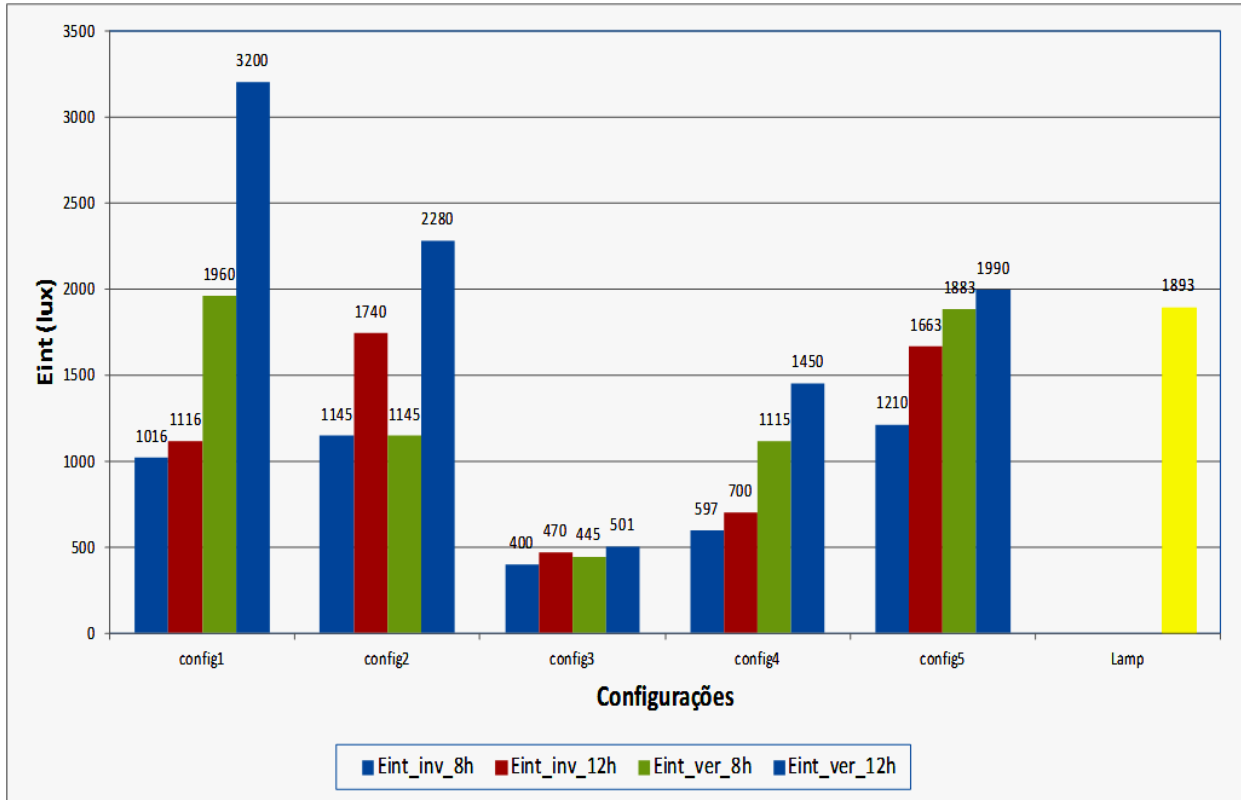


Gráfico 1- Intensidades luminosas das 5 configurações *versus* lâmpada

Fonte: acervo próprio (2013).

Apenas em situação zenital, a configuração, (com a altura solar máxima e nos dois horários de verão), o uso da garrafa PET mostra desempenho superior à abertura zenital sem a garrafa. Porém, em situações de altura solar baixa (inverno), a abertura zenital é mais eficiente que a garrafa.

A menor intensidade luminosa foi a da configuração 3, garrafa com água revestida com pintura spray cromo, obtendo a média máxima de 501 lux. O motivo provável foi que a pintura cromo atenua muito a reflexão da luz incidente, reduzindo proporcionalmente a intensidade da luz no ambiente.

A configuração número 4, garrafa sem água envolta com papel alumínio, ficou com medidas intermediárias. Em comparação à garrafa com água e papel alumínio, verifica-se que a água dentro da garrafa tem a função de refletir a luz, trazendo melhores resultados.

O Gráfico 2 mostra as relações entre  $E_{int}/E_{ext}$  para os horários das medições (final da manhã e começo da tarde), nos quais algumas leituras sofreram algumas pequenas alterações em razão da intensidade de radiação solar em cada momento.

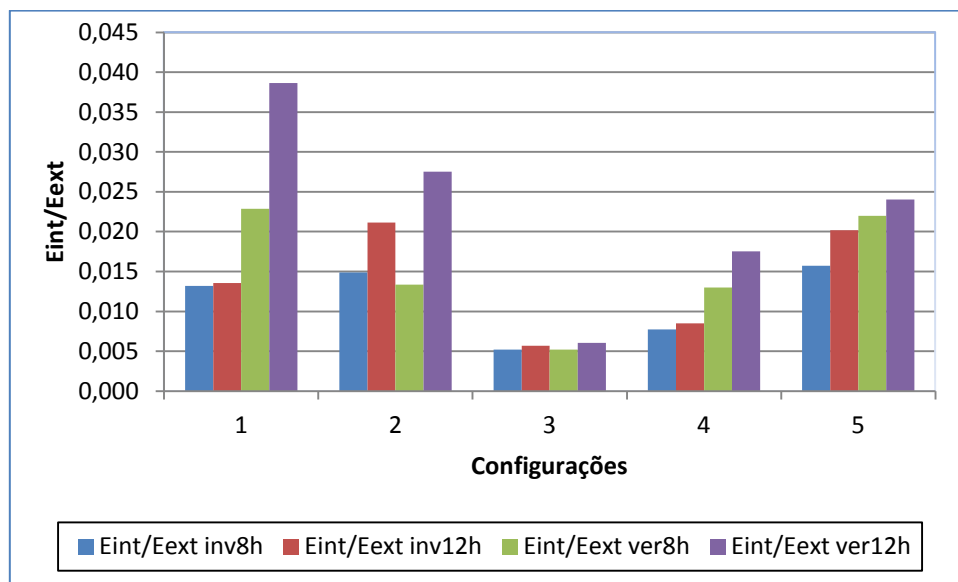


Gráfico 2- Relação  $E_{int}/E_{ext}$  das 5 configurações.

Fonte: acervo próprio (2013).

Com o DLN, puderam então ser realizadas simulações com dados mais realistas de iluminância externa no inverno e no verão para Curitiba. Os Gráficos 3 e 4 mostram esses resultados para céu claro (CC) e céu encoberto (CE), respectivamente. A linha pontilhada representa a primeira iluminância obtida com a lâmpada.

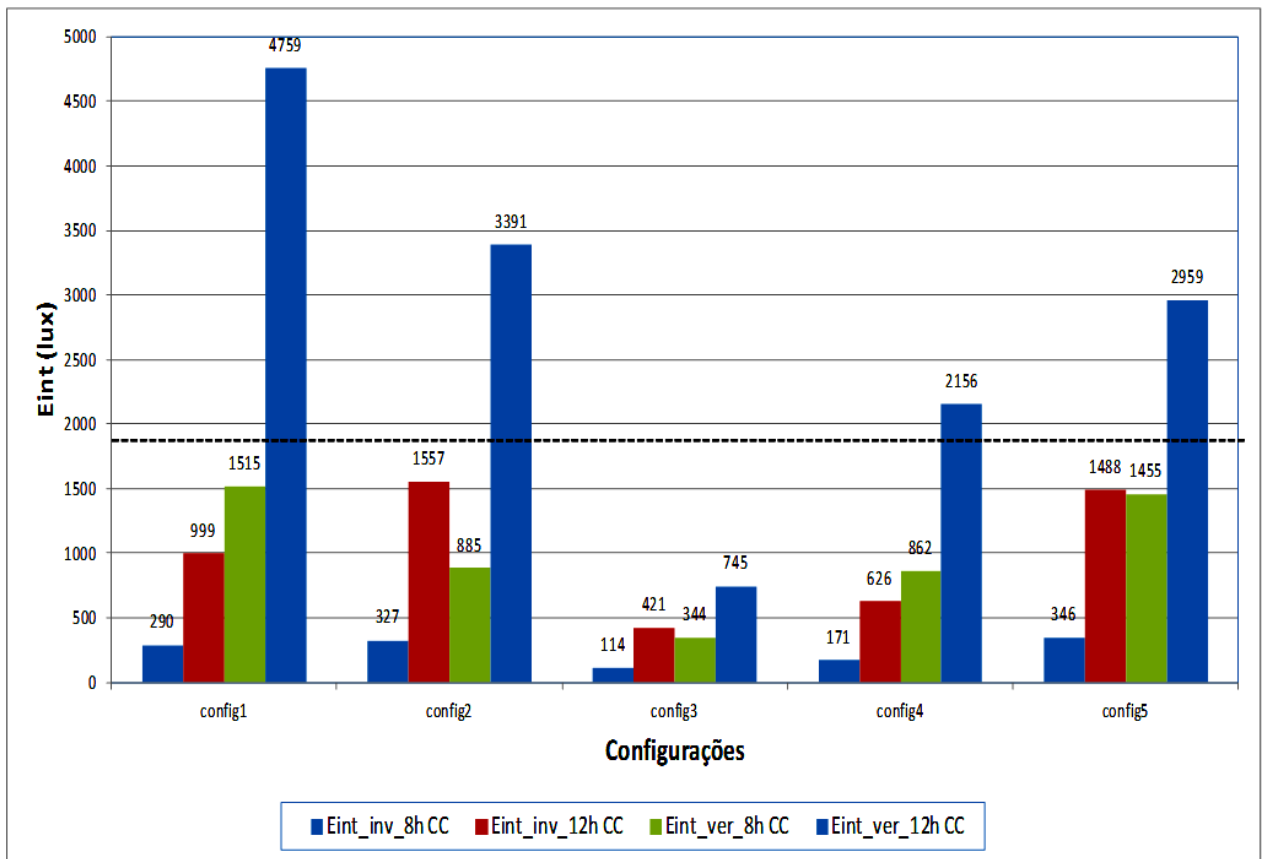


Gráfico 3- Intensidades luminosas das 5 configurações *versus* lâmpada a partir de simulação com o software DLN – situação céu claro (CC).

Fonte: Acervo próprio (2013).

Nota-se que, a menos que o céu esteja claro, e sob condições especiais, o uso da garrafa PET se aproxima à iluminação artificial adotada como referência. Em situação de céu encoberto, o uso da garrafa não proporciona iluminação adequada.

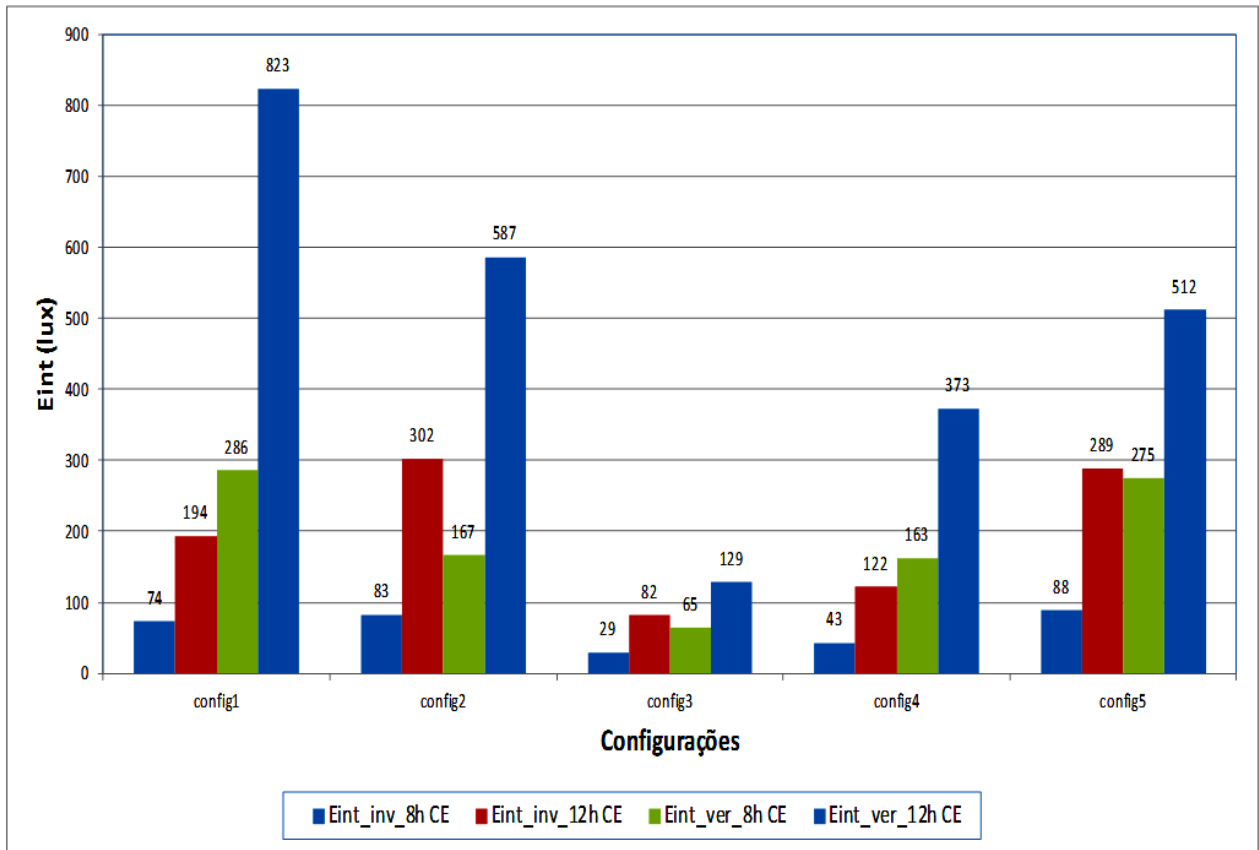


Gráfico 4- Intensidades luminosas das 5 configurações versus lâmpada a partir de simulação com o software DLN – situação céu encoberto (CE).

Fonte: Acervo próprio (2013).

## 6.1 ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA EM CURITIBA

Com a finalidade de avaliar a viabilidade econômica da utilização das garrafas PET como fonte de iluminação zenital, utilizou-se a configuração 1, que obteve melhores resultados, aplicada a uma residência popular para exemplificar o dimensionamento necessário para a aplicação do material. Supôs-se uma casa de 40 m<sup>2</sup>, Figura (17), com 2 quartos, uma sala, cozinha e pequena lavanderia. Tem-se o dimensionamento a seguir.

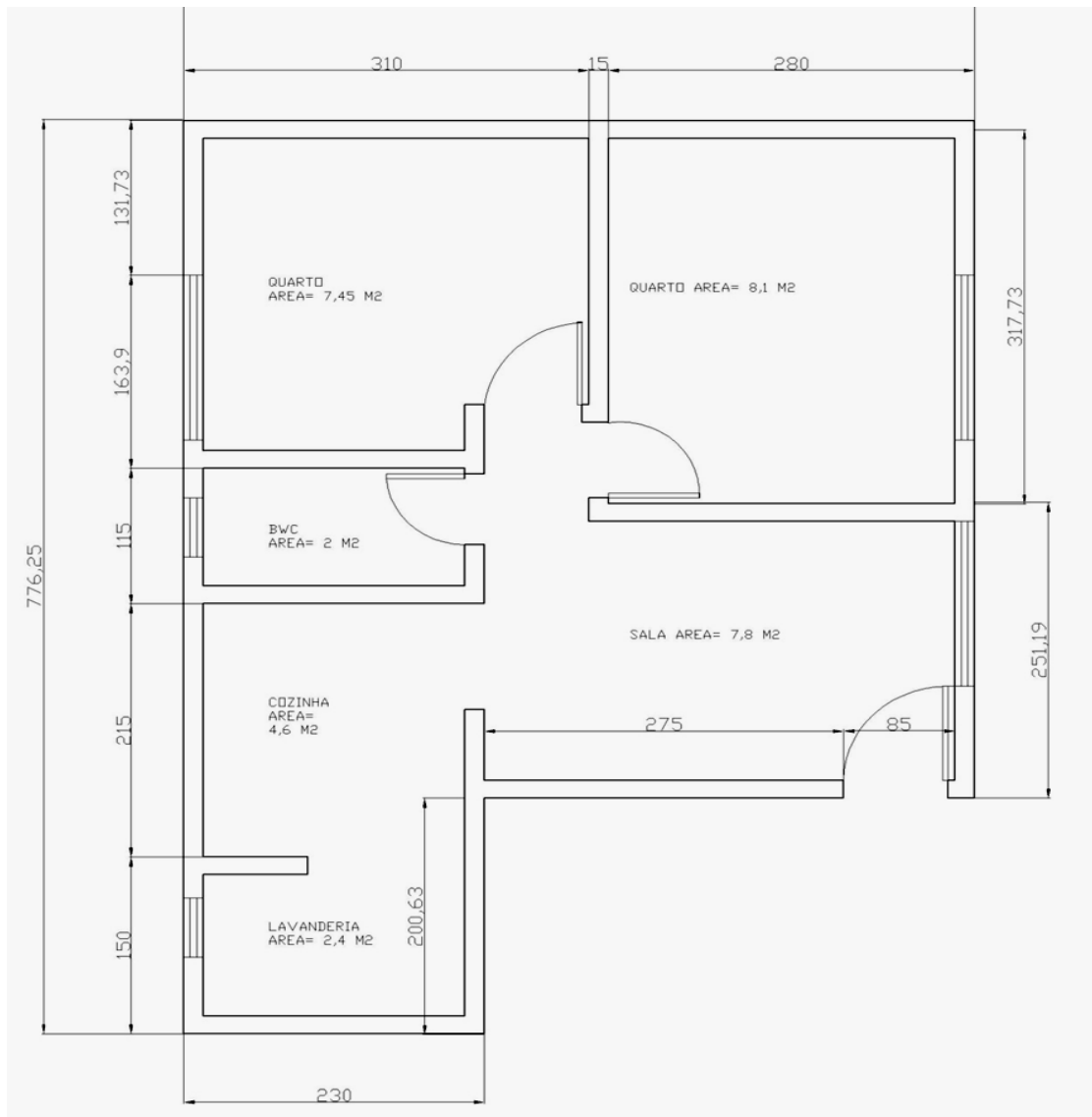


Figura 15- Casa popular de 40 m<sup>2</sup>.

Fonte: acervo próprio (2013).

Segundo a NBR 5410/2004 (Instalações elétricas de baixa tensão), a instalação mínima a ser feita nos primeiros 6m<sup>2</sup> é de 100 watts. No restante da área do cômodo, a cada 4m<sup>2</sup> instala-se uma lâmpada de 60 watts. Como uma garrafa PET com água (configuração 1) praticamente ultrapassa uma lâmpada de 60 watts no verão com céu claro, para essa época, uma garrafa é suficiente para cada 4m<sup>2</sup> de área interna. No entanto, para o período de inverno, seriam necessárias 1,863 garrafas para se atingir a iluminância de referência (60 watts), já que a configuração 1 utilizada para este



comparativo alcança neste período 999 lux às 08:00h da manhã, Assim, para se obter a mesma iluminância obtida no período de verão seria necessário dobrar a quantidade de garrafas utilizadas.

Pode-se assim concluir que para a cidade de Curitiba, seriam necessárias 1,9 (aproximadamente 2 garrafas) para cada 4m<sup>2</sup> de área do ambiente a ser iluminado, de forma a que sejam atendidos os valores de iluminância mínimos recomendados, para as duas situações do ano avaliadas, verão e inverno. Destaca-se que, na situação de céu encoberto, não haverá luminosidade adequada, sendo assim necessária a complementação com luz artificial.

O método de cálculo da quantidade de garrafas PET necessárias pode ser simplificado na equação  $N = [S(m^2)/4] \times 1,9$ , onde N = número de garrafas com água e S=área do ambiente a ser iluminado em m<sup>2</sup>.

Utilizando esta equação para cada ambiente da casa-modelo apresentada neste deste estudo de viabilidade, tem-se os seguintes resultados apresentados a seguir no Quadro 3.

<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Qtde. de Garrafas PET (unid)</b>
Sala	7,80	4
Quarto 1	8,10	4
Quarto 2	7,45	4
Cozinha/Lavanderia	7,00	4

Quadro 3- Correspondência entre áreas o ambientes e a quantidades de garrafas.

Fonte: acervo próprio (2013).

Por fim, deve-se frisar que estas recomendações foram obtidas tendo como referência somente os valores experimentais obtidos durante as sequências de medição realizadas com o protótipo, bem como os valores de referência recomendados pela NBR5410/2004, estando fora da análise quaisquer outros critérios que pudessem influenciar os resultados.

Cabe ainda citar que a luz proveniente das garrafas PET instaladas de forma zenital em um ambiente é isenta da radiação ultravioleta que poderia trazer riscos à saúde dos usuários destes ambientes. Isto ocorre pois para que haja atenuação da radiação é necessário até 2mm de pele humana. Levando em conta que o corpo humano é constituído de cerca de 70% de água, e a garrafa PET possui pelo menos 30 cm preenchidos com este elemento, esta barreira física já seria suficiente para que ocorra esse bloqueio de raios UV (BUSHONG, 2003).

## 7 CONCLUSÕES

O estudo de reutilização de garrafas PET mostrou alguma viabilidade econômica para iluminação interior, mais especificamente para a situação de verão em Curitiba. Para essa estação, apenas uma garrafa PET com água proporciona iluminamento similar ao de uma lâmpada eficiente (equivalente a uma lâmpada incandescente padrão de 60watts). Para as demais épocas do ano, de modo a atingir a iluminação necessária, seria preciso aumentar o número de garrafas no ambiente. Para a classe popular e para galpões industriais, o seu uso poderia representar grande economia diurna. A desvantagem é que o sistema não pode ser usado em residências onde não se tenha o acesso da garrafa na cobertura, como ocorre em apartamentos e em coberturas cuja espessura do telhado ao forros é muito espessa, ultrapassando a altura da garrafa PET.

O uso da garrafa PET na iluminação pode chegar a representar até 100% de economia de energia elétrica, sendo que qualquer morador ou indústria pode adotar o sistema e minimizar o consumo energético durante o dia, período onde há naturalmente um gasto maior. Fazendo isso, pode-se diminuir o consumo de energia, contribuindo com outros fatores que em conjunto poderiam gerar uma maior estabilidade energética para o País.

## REFERÊNCIAS

NBR 5410/2004 (Instalações elétricas de baixa tensão) - ACRESCENTAR

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **NBR 5413**:Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ABIPET. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO PET. Reciclagem**. Disponível em:  
<<http://www.abipet.org.br/index.html>> Acesso em: 15 set. 2013.

BUSHONG, Stewart C. **Magnetic resonance imaging: physical and biological principles**. 3rd ed. St. Louis: Mosby, c2003. 511 p. ISBN 0-323-01485-2

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **RESOLUÇÃO 307**, de 5 de julho de 2002.

CONSTRUÇÃO CIVIL PET. Disponível em:

< <http://construcaocivilpet.wordpress.com/2012/03/18/construa-sua-casa-com-garrafas-pet/>>. Acesso em: 20 set. 2012.

EQUIPE DE OBRA. Disponível em:

<<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/45/artigo251120-1.asp>>. Acesso em: 20 set. 2012.

- FERREIRA FILHO, S.S. Remoção de Compostos Orgânicos Percussores de Subprodutos da Desinfecção e seu Impacto na Formação de Trihalometanos em águas de abastecimentos. Revista. **Engenharia Sanitária e ambiental**, v6, n.1 jan/mar e n2 abr/junho, 2001.
- HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975. 776 p.
- IIDA, I. Ergonomia: **Projeto e produção**. 2ª edição revisada e ampliada. São Paulo. Editora Edgard Blücher, 2005.
- INMET – **INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso em: 20 abr. 2013.
- INFOHAB - **CENTRO DE REFÊRENCIA E INFORMAÇÃO EM HABITAÇÃO**. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/index>>. Acesso em: 02 abr. 2013.
- KOENIGSBERGER, O.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S.V. **Manual of Tropical Housing and Building**. Longman, Londres, 1974.
- MOREIRA, V. A. **Iluminação & fotometria: teoria e aplicação**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: E. Blücher, c1982. 196. p.
- RORIZ, M. **Software Luz do Sol: Radiação Solar e Iluminação Natural**. Versão 1.1. São Carlos/SP, 1995. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/luz-do-sol>> Acesso em: 31 jul. 2012.

SCARAZZATO, P. S. **O Conceito de Dia Típico de Projeto Aplicado à Iluminação Natural**: Dados referenciais para localidades brasileiras. 2v. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1995.

SINDUSCONPR. Disponível em: <<http://www.sindusconpr.com.br/principal/home/?>>. Acesso em: 15 Abr. 2013.

VIANNA, N. S; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. Universidade do Grande ABC. São Paulo: Virtus, 2001.