

## 4

### Estudo de casos

Este capítulo apresenta estudo de casos para averiguar a eficácia do modelo definido no capítulo 3. Para provar que os conceitos funcionam e que o método é viável, decidiu-se otimizar os seguintes parâmetros:

- otimizar a altura do pé direito da edificação (altura da parede), seguindo as restrições quanto ao valor mínimo e máximo que a mesma pode ter;
- otimizar a espessura dos materiais que constituem as paredes, seguindo restrições quanto aos valores máximo e mínimo que os mesmos podem ter;
- otimizar a largura de uma janela, que deve atender a um percentual mínimo e máximo com relação à largura total da parede em que está inserida;
- otimizar a localização de árvores no entorno da edificação, uma vez que funcionam como anteparos para a radiação solar e a iluminação;
- otimizar a orientação da edificação em relação ao norte geográfico;
- associar o uso de bloqueadores solares internos e sua influência no consumo de energia pelos sistemas de condicionamento de ar e iluminação artificial.

A figura 4.1 ilustra quais os parâmetros que serão otimizados pelo modelo proposto.

Considerando os objetivos anteriormente citados, o passo seguinte é a definição do cromossomo.

#### 4.1

##### Definição do Cromossomo

Como já explicitado na seção 2.1, o cromossomo é constituído de genes, e cada um representa uma variável que se quer otimizar. O cromossomo que é utilizado neste trabalho é formado pelos seguintes genes:

**Orientação da Construção:** 1 gene define a orientação da casa em relação ao Norte geográfico, cuja angulação pode variar entre 0 e 359 graus;

**Janelas:** 1 gene para o percentual da largura total da parede que a janela irá ocupar (número entre 0 e 1);

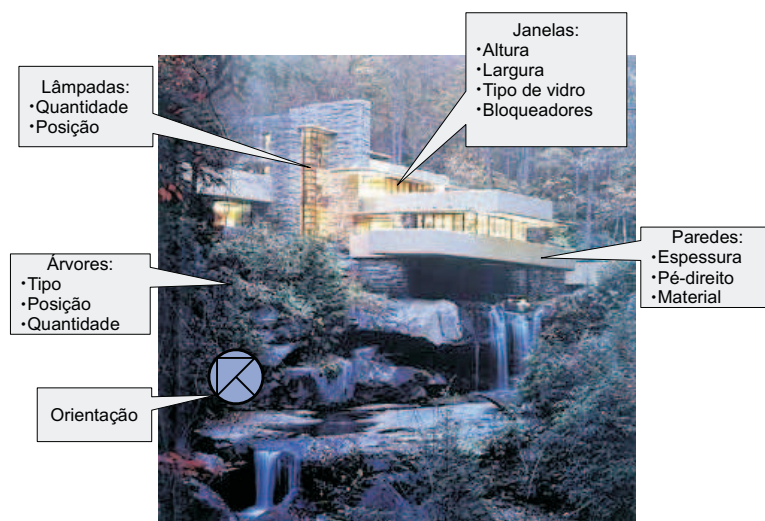


Figura 4.1: Parâmetros otimizados pelo cromossomo do modelo ideal – Casa Kaufmann (ou Casa da Cascata) – Projeto de Frank Lloyd Wright, 1936

**Pé direito:** 1 gene, com restrição para valores mínimo e máximo;

**Árvores:** 2 genes com as coordenadas da árvore;

**Espessura das Paredes:** 1 gene para a espessura de cada um dos materiais que compõe as paredes.

**Bloqueadores:** 1 gene diferente para cada bloqueador de janela, com índice de transmissividade variando entre 0 e 1.

De forma esquemática, o cromossomo pode ser representado como é demonstrado na figura 4.2.

**GENES**

<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>X<sub>4</sub></b>	<b>X<sub>5</sub></b>	<b>X<sub>6</sub></b>	<b>X<sub>7</sub></b>
X <sub>1</sub>	Orientação da construção (0 < α < 359°)					
X <sub>2</sub>	Largura da janela (0 a 1)					
X <sub>3</sub>	Pé direito					
X <sub>4</sub>	Árvore (coordenada X – relativa ao proj. original)					
X <sub>5</sub>	Árvore (coordenada Y – relativa ao proj. original)					
X <sub>6</sub>	Espessura dos materiais das paredes					
X <sub>7</sub>	Bloqueadores (transmissividade de 0 a 1)					

Figura 4.2: Definição do Cromossomo

Para se realizar a avaliação, o otimizador gera um arquivo de entrada para o EnergyPlus e requisita que o mesmo faça os cálculos necessários para o consumo de energia elétrica relativo ao uso de iluminação e em sistemas de aquecimento e

refrigeração. Neste trabalho, estes cálculos são feitos com base em dados meteorológicos da cidade do Rio de Janeiro coletados pela Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization region and Country – WMO). Os dados meteorológicos usados pelo EnergyPlus estão em formato de texto, baseado no formato meteorológico do TMY (Typical Meteorological Year 2). No caso do Brasil, são utilizados dados típicos recolhidos de hora em hora, anualmente. Estes dados estão disponíveis através do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), projeto este financiado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas.

## 4.2

### Função de Avaliação

Como dito anteriormente, a função de avaliação tem como objetivo calcular a aptidão dos indivíduos da população em relação ao ambiente em que ele está inserido.

No estudo de casos deste trabalho, utilizou-se dois tipos de função de avaliação, dependentes do tipo de problema estudado. Visando sempre a redução do consumo de energia em uma edificação, o primeiro problema estudado utiliza uma função de avaliação definida para uma situação em que se deseja diminuir o consumo de energia por condicionamento de ar. Neste caso, a função de avaliação é dada pela equação abaixo:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{365} h_i}{365} \quad (4-1)$$

O segundo problema estudado também visa reduzir o consumo de energia, porém através de sistemas de condicionamento de ar e do uso de iluminação artificial. Para este problema, adota-se a função de avaliação dada pela equação que segue abaixo:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{365} h_i + l_i}{365} \quad (4-2)$$

## 4.3

### Esquema da otimização

A figura 4.3 representa, de forma esquemática, o que está sendo otimizado no estudo de casos analisado neste trabalho.

Como já dito anteriormente, é possível otimizar duas questões importantes levantadas neste trabalho: o consumo de energia e o nível de emissão de poluentes. Entretanto, neste estudo de casos, apenas o consumo de energia será analisado,

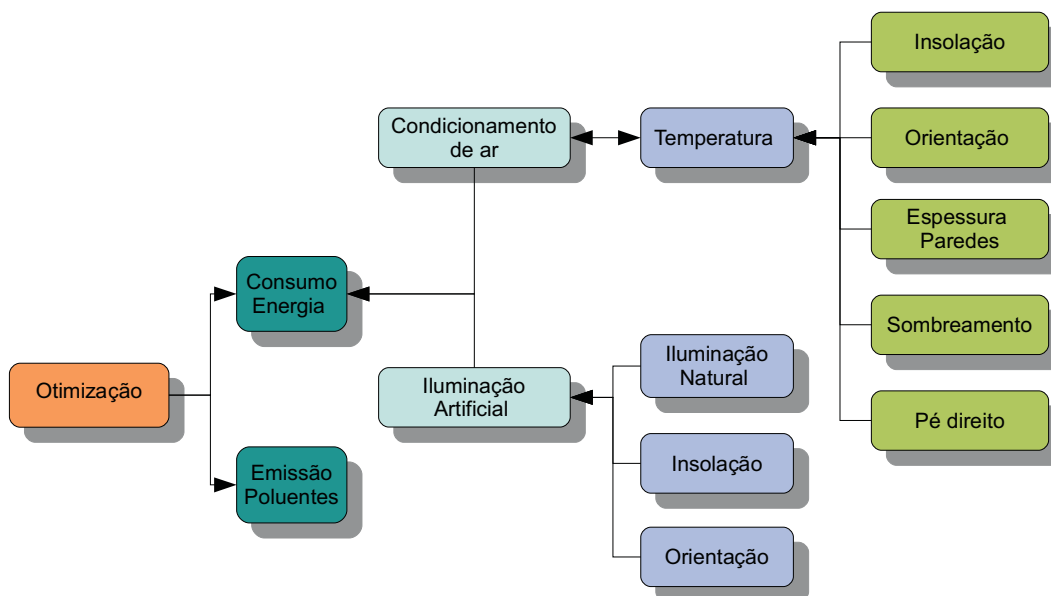


Figura 4.3: Otimização

já que a emissão de poluentes é fortemente influenciada pelo consumo de energia elétrica. O consumo de energia é influenciado diretamente pelo sistema de condicionamento de ar e pelo uso de iluminação artificial. O funcionamento do sistema de condicionamento de ar está intimamente ligado à temperatura do ambiente, que pode ser influenciada pelos seguintes fatores: radiação solar incidente sobre a edificação (insolação); orientação da edificação; espessura das paredes; sombreamento por anteparos e dimensionamento do pé direito. A necessidade da iluminação artificial, por sua vez, está intimamente ligada à iluminação natural, à insolação e à orientação da edificação.

#### 4.4 Estudo de Caso 1

A edificação original, conforme pode ser visto nas figuras 4.4 e 4.5, foi utilizada como desenho base para a realização de quatro testes. O círculo no centro do desenho representa o ponto de medição da intensidade da luz. A medição da intensidade de luz é feita com fotosensores e o sistema de iluminação funciona da seguinte maneira: o projetista deve fornecer uma especificação de lâmpada que seja capaz de prover iluminação suficiente neste ponto de medição quando utilizada em sua capacidade máxima e quando nenhuma outra fonte de luz estiver disponível. Quando outras fontes de iluminação se tornam disponíveis (em geral, a luz do sol através de uma janela), o EnergyPlus simula o uso de *dimmers* para diminuir a iluminação artificial e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica.

A construção apresentada é simples, tratando-se de uma área quadrada de dimensões 3,0 m x 3,0 m. O projetista define, para este desenho, que o mesmo é

constituído de 3 janelas e 1 porta. As janelas têm dimensões 1,0 m x 1,0 m (largura x altura), definidas previamente pelo projetista. A porta tem dimensões 1,0 m x 2,10 m (largura x altura), também definidas pelo projetista. Esta construção possui um sistema de condicionamento de ar, cujo funcionamento está baseado nos seguintes critérios:

- o sistema é acionado, visando aquecer o ambiente, se a temperatura interna da edificação atingir 10 °C;
- o sistema é acionado, visando resfriar o ambiente, se a temperatura interna da edificação atingir 25 °C.

Considerando que os dados climáticos utilizados para a simulação são referentes à cidade do Rio de Janeiro, Brasil, deve-se ter em mente que, no verão, a incidência solar se dá na fachada Sul da edificação original, por aproximadamente duas semanas do ano. Nas demais estações do ano, a insolação incide, na maior parte do ano, nas fachadas Leste, Norte e Oeste.

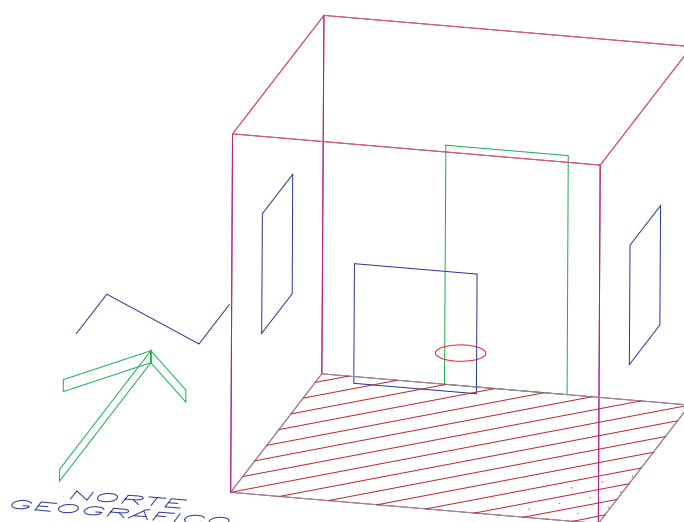


Figura 4.4: Casa Original – Estudo de Caso 1 – Perspectiva

Foram realizados 4 testes onde, para cada um, foram consideradas diferentes características para a otimização, que serão descritas a seguir.

Para os testes 01, 02, 03 e 04, os parâmetros do AG foram definidos da seguinte forma:

- Taxa de steady state = 20%;
- Operadores genéticos utilizados, para uma taxa de *Crossover* de 80% e taxa de mutação de 10%:

*Crossover* Aritmético;

*Crossover* Uniforme;

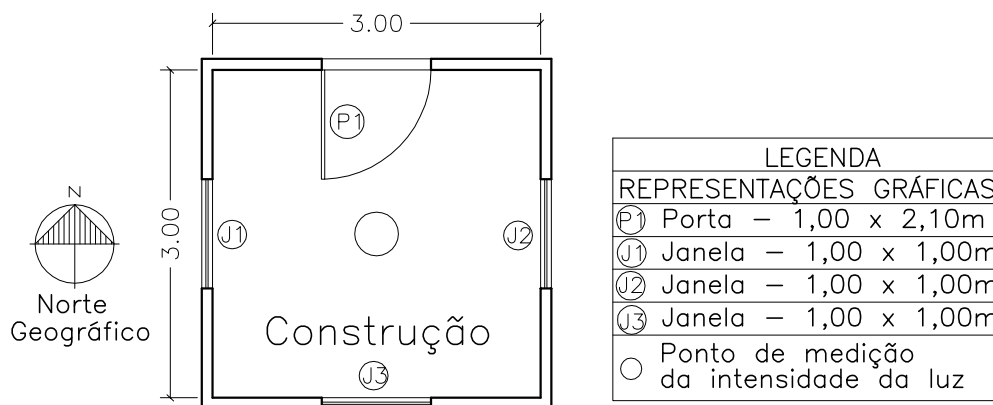


Figura 4.5: Casa Original – Estudo de Caso 1 – Planta Baixa

Mutação Creep;

Mutação Uniforme;

- População Inicial = 50 indivíduos;
- Número de Gerações = 50;
- Média de 10 experimentos.

O projeto final, que foi gerado pelo modelo, representa o melhor indivíduo, da última geração, do melhor experimento.

#### 4.4.1

##### Teste 1

No teste 1, o objetivo é minimizar o custo do sistema HVAC. O teste é realizado sem o uso de bloqueadores solares para as janelas. A potência especificada para as lâmpadas é de 100W. Para este teste, não há restrições para o uso da iluminação artificial, pois a preocupação do AG está na redução de consumo de energia elétrica pelo sistema de condicionamento de ar.

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.6 e 4.7.

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu modificação em relação à sua orientação geográfica, sendo rotacionada em aproximadamente 90°, de forma que a incidência solar fosse minimizada. Como o Rio de Janeiro fica sobre a linha do trópico, a maior parte da radiação solar incide no Leste, Oeste e Norte. Desta maneira, o sistema manteve a janela de maior abertura orientada na direção Sul;
2. o tamanho das janelas foi otimizado, de forma a minimizar a entrada de calor no ambiente. As janelas das fachadas Leste (que recebe o sol matinal) e Norte,

são mínimas. A porta, por ser opaca e não permitir a entrada de calor de forma relevante, foi posicionada na fachada Oeste, que recebe a maior incidência solar, evitando assim que haja substancial entrada de calor no ambiente. A fachada Sul, que recebe pouca insolação, apresenta uma janela com largura um pouco maior que as demais;

3. arquitetonicamente, as janelas das fachadas Leste e Norte seriam dispensáveis, pelo fato de suas dimensões não proporcionarem nenhum benefício estético e funcional.

Nas tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, e 4.8, apresenta-se os valores médios de consumo em kW/dia. Os dados das colunas “Luz”, “HVAC” e “AG Total” representam o consumo de energia da edificação otimizada, referente ao sistema de iluminação artificial (Luz), ao sistema de condicionamento de ar (HVAC) e ao consumo total por estes dois sistemas (AG Total). Os dados das colunas “Ref. Luz”, “Ref. HVAC” e “Ref. Total”, representam o consumo da edificação original, desenvolvida pelo projetista, também quanto ao sistema de iluminação artificial, de condicionamento de ar e consumo total, respectivamente. Os dados da coluna “Dif.%”, representam a diferença entre o consumo dos dois sistemas.

Para o teste 1, a edificação otimizada teve seu consumo de energia reduzido em 14,82%, com relação à edificação original, conforme pode ser visto na tabela 4.1.

A figura 4.8 mostra um gráfico comparativo entre a busca aleatória e o algoritmo genético. Este gráfico mostra que o AG consegue resultados melhores do que um algoritmo de busca ingênuo.

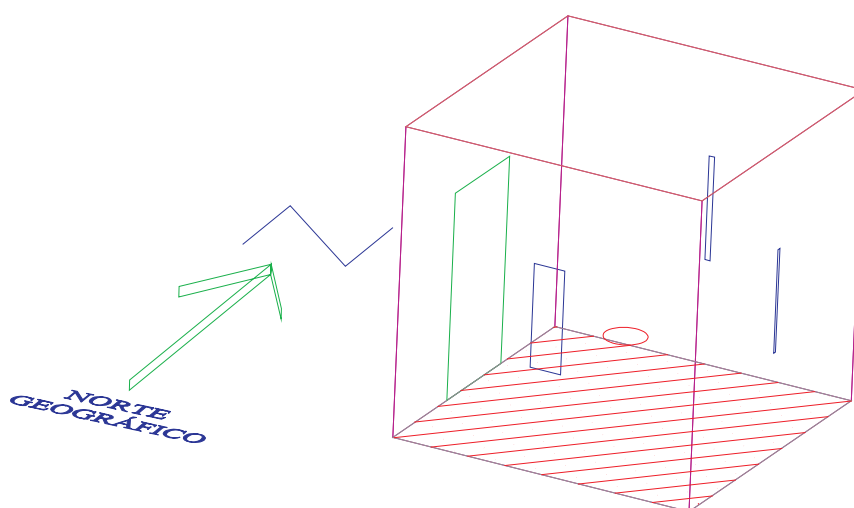


Figura 4.6: Teste 1 – Perspectiva

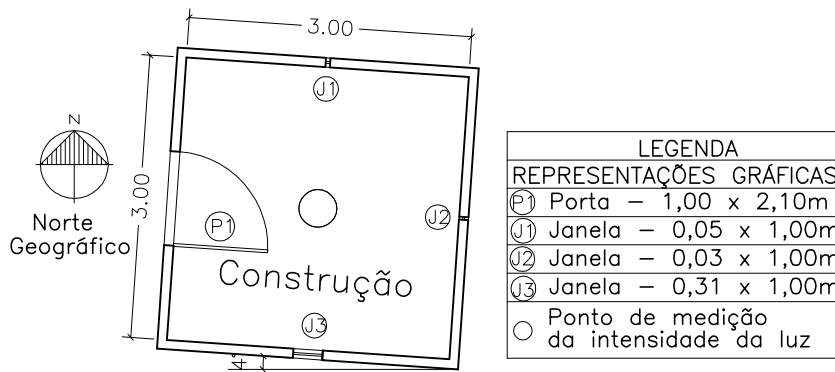


Figura 4.7: Teste 1 – Planta Baixa

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
1	3.61	1.44	5.05	3.17	2.76	5.93	14.82

Tabela 4.1: Valores médios de consumo – Teste 1

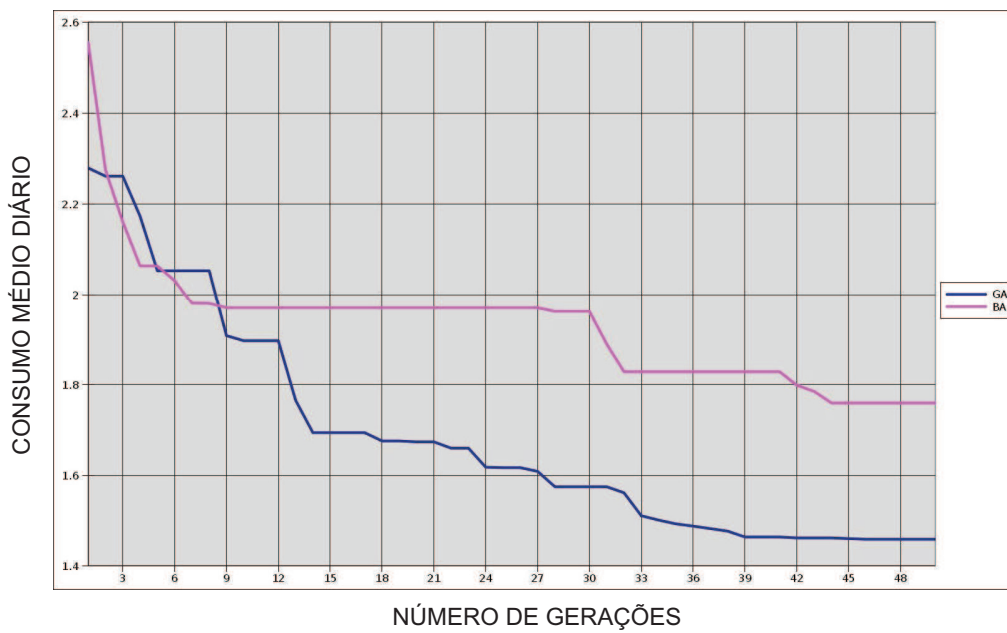


Figura 4.8: Resultado Teste 1 – Algoritmo Genético e Busca Aleatória



#### 4.4.2 Teste 2

No teste 2, o objetivo é minimizar o consumo do sistema HVAC e o consumo com iluminação artificial. Este objetivo é conflitante, pois ao se dar preferência a um sistema, o outro sairá prejudicado. Este teste também é realizado sem o uso de bloqueadores nas janelas. A potência da lâmpada utilizada é de 100W.

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.9 e 4.10.

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu pequena modificação em relação à sua orientação geográfica, uma vez que o AG busca otimizar a insolação nas fachadas, A rotação se deu em aproximadamente 12°, de forma que a radiação solar fosse minimizada, mas que se aproveitasse ao máximo a iluminação natural, principalmente no final do dia, adiando ao máximo a necessidade de se optar pelo uso da iluminação artificial;
2. o tamanho das janelas foi otimizado, de forma a minimizar, ao máximo, a entrada de calor no ambiente pelas janelas das fachadas Leste (que recebe o sol matinal) e Oeste (que recebe o Sol na maior parte da tarde). Ao mesmo tempo que evita a entrada de calor, diminui a entrada de luz natural. A porta, por ser opaca e não permitir a entrada de calor e nem da luz natural de forma relevante, foi mantida na fachada Norte. A fachada Sul, apesar de receber pouca insolação, permite que se aproveite por mais tempo (mais horas do dia) a luz natural, evitando que se tenha que acender as luzes da casa muito cedo. Portanto, o AG permite a entrada de luz, sem prejuízo quanto à entrada de calor.
3. arquitetonicamente, a janela da fachada Leste seria dispensável, por sua dimensão não proporcionar nenhum benefício estético e funcional, uma vez que não auxilia na iluminação natural nem prejudica o conforto térmico.

Na tabela 4.2, apresenta-se os valores médios de consumo, em kW/dia, para o teste 2. Neste teste, a edificação otimizada teve seu consumo de energia reduzido em 13,93%, com relação à edificação original. Comparando-se os resultados do teste 1 com os do teste 2, pode-se perceber que o AG continua dando preferência à economia com o sistema de condicionamento de ar.

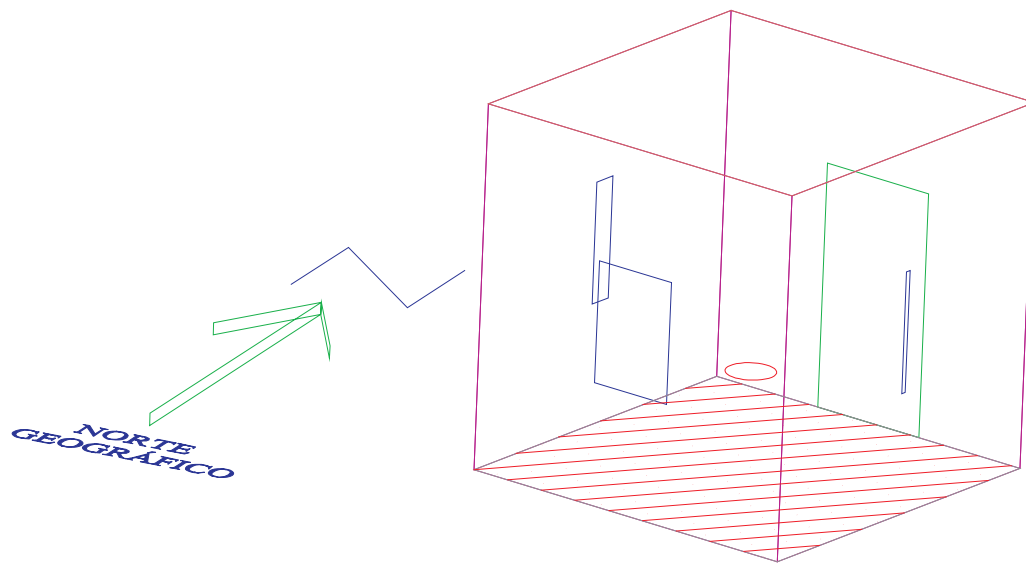


Figura 4.9: Teste 2 – Perspectiva

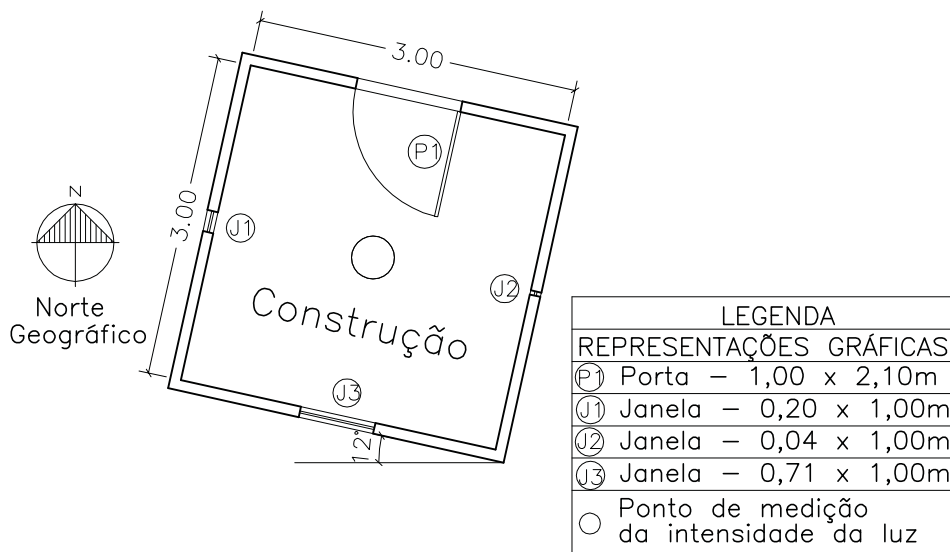


Figura 4.10: Teste 2 – Planta Baixa

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
2	3.30	1.80	5.10	3.17	2.76	5.93	13.93

Tabela 4.2: Valores médios de consumo – Teste 2

### 4.4.3 Teste 3

No teste 3, o objetivo é minimizar o custo do sistema HVAC. O teste é realizado com o uso de bloqueadores solares nas janelas, como por exemplo, cortinas. A potência da lâmpada utilizada é de 100W. Como o objetivo do AG é minimizar o custo do sistema HVAC, ele tem liberdade para utilizar a iluminação artificial.

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.11 e 4.12.

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu modificação em relação à sua orientação geográfica, sendo rotacionada em aproximadamente 98°;
2. com o uso de bloqueadores, reduz-se a incidência solar, uma vez que a transmissividade do vidro, que é alta, é compensada pela baixa transmissividade do bloqueador, reduzindo a entrada de calor no ambiente. O AG, portanto, controla os bloqueadores (otimiza a transmissividade), de forma a permitir entrada de luz e regular entrada de calor. Neste teste, o tamanho das janelas foi otimizado de forma que a janela da fachada Norte seja mínima, para evitar a entrada de calor, uma vez que a incidência solar nesta fachada se dá em longo período do dia, conforme a movimentação solar. A porta foi posicionada na fachada Oeste, que também recebe grande incidência solar, evitando assim que haja substancial entrada de calor no ambiente. A fachada Sul, que recebe pouca insolação, apresenta uma janela maior, pois o controle dos bloqueadores evita a entrada de calor que prejudique a economia de energia pelo sistema; a fachada Leste, que recebe o Sol da manhã apresenta uma janela cuja largura é maior do que a da fachada Norte, por sofrer menor influência da incidência solar, em termos de calor.
3. arquitetonicamente, a janela da fachada Norte seria dispensável, por sua dimensão não proporcionar nenhum benefício estético e funcional.

Na tabela 4.3, apresenta-se os valores médios de consumo do teste 3. Para a edificação otimizada, houve redução no consumo de iluminação artificial e de condicionamento do ar, redução esta no valor de 26,45% em relação à edificação original.

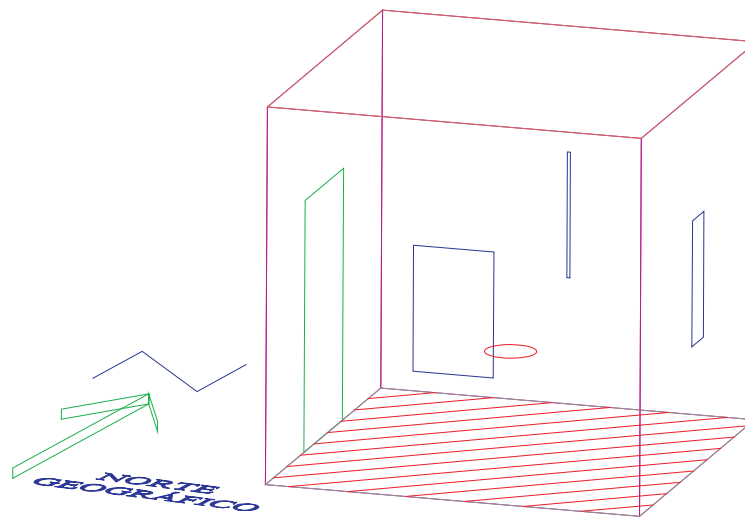


Figura 4.11: Teste 3 – Perspectiva

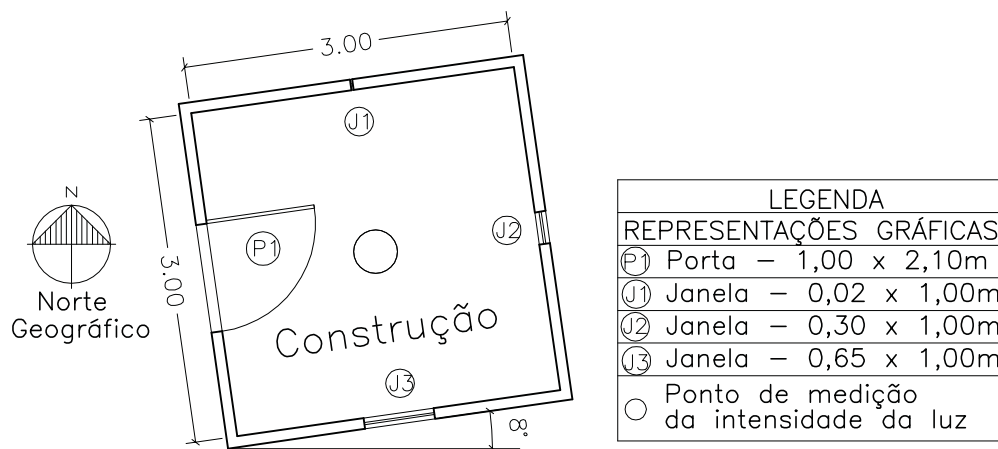


Figura 4.12: Teste 3 – Planta Baixa

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
3	3.55	1.65	5.20	4.39	2.69	7.08	26.45

Tabela 4.3: Valores médios de consumo – Teste 3

#### 4.4.4 Teste 4

No teste 4, o objetivo é minimizar o consumo do sistema HVAC e o consumo com iluminação artificial. Este teste também é realizado com o uso de bloqueadores. A potência da lâmpada utilizada é de 100W.

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.13 e 4.14.

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu modificação em relação à sua orientação geográfica, sendo rotacionada em aproximadamente 250°;
2. com o uso de bloqueadores, reduz-se a incidência solar, porém a incidência da luz natural também é reduzida. O AG reduz ao mínimo as janelas das fachadas Norte e Sul, evitando a entrada de calor excessivo tanto no verão quanto no inverno. Na fachada Oeste, o AG otimiza a janela de forma a compensar a iluminação natural e a transmissividade do bloqueador solar, de forma a evitar a entrada excessiva de calor no ambiente.
3. arquitetonicamente, a janela da fachada Sul seria dispensável, por sua dimensão não proporcionar nenhum benefício estético e funcional.

A tabela 4.4 apresenta os valores médios de consumo para o teste 4. Como o teste 2, o teste 4 também visa o custo para os sistemas de iluminação artificial e de condicionamento de ar. O que difere o teste 4 do teste 2 é o uso de bloqueadores solares nas janelas. Comparando-se os resultados das edificações otimizada e original, pode-se perceber que a redução no consumo de energia foi de 25,12%, favorável à edificação otimizada.

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
4	3.33	1.97	5.30	4.39	2.69	7.08	25.12

Tabela 4.4: Valores médios de consumo – Teste 4

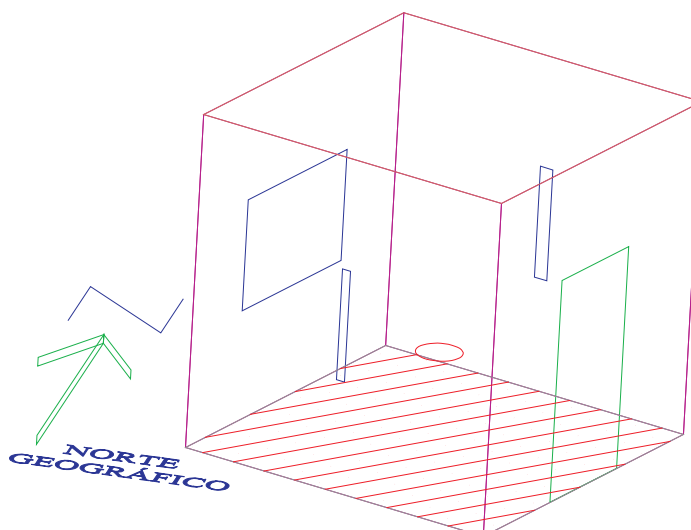


Figura 4.13: Teste 4 – Perspectiva

## 4.5 Estudo de Caso 2

A edificação original pode ser vista nas figuras 4.15 e 4.16, e na figuras 4.17 e 4.18, utilizadas como desenho base para a realização dos testes. As figuras 4.15 e 4.16 diferem das figuras 4.17 e 4.18 por possibilitarem a otimização de árvores no entorno da edificação. O círculo no centro do desenho representa o ponto de medição da intensidade da luz. A medição da intensidade de luz é feita como já explicado na seção 4.4.

Este desenho trata de uma casa mais complexa, com dimensões de 8,0 m x 6,0 m, onde o projetista define que a mesma é constituída por 1 banheiro, 1 quarto e 1 sala. As janelas estão dispostas da seguinte forma: 1 janela no banheiro, 2 janelas no quarto, 2 janelas na sala e 1 porta na sala funcionando como acesso (entrada/saída). As portas internas não influenciam nos cálculos de consumo. As dimensões originais das janelas foram definidas pelo projetista e têm as seguintes medidas: 1,00 m x 1,00 m ( largura x altura). As portas também tiveram suas dimensões definidas pelo projetista: 1,00 m x 2,10 m (largura x altura). A potência das lâmpadas varia de acordo com o teste. Para o teste 5, foram utilizadas lâmpadas de 100W de potência. Para os testes 6 e 7 foram utilizadas lâmpadas de 15W de potência. A edificação possui um sistema de condicionamento de ar, cujo funcionamento está baseado nos mesmos critérios do estudo de caso 1:

- o sistema de aquecimento é acionado, se a temperatura interna da edificação atingir 10°C;
- o sistema de refrigeração é acionado, se a temperatura interna da edificação atingir 25°C;

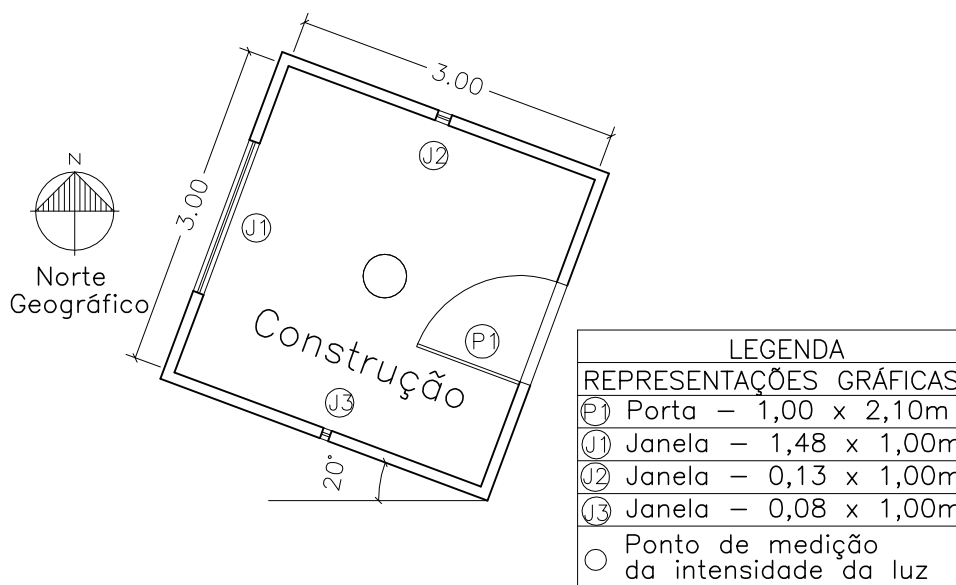


Figura 4.14: Teste 4 – Planta Baixa

O banheiro da edificação não tem termostatos e não tem sistema de aquecimento ou refrigeração disponíveis.

Foram realizados 3 testes. Para todos os testes (testes 01, 02, 03), os parâmetros do AG foram definidos da seguinte forma:

- Taxa de steady state = 20%;
- Operadores genéticos utilizados, para uma taxa de *Crossover* de 80% e taxa de mutação de 10%:
  - Crossover* Atitmético;
  - Crossover* Uniforme;
  - Mutação Creep;
  - Mutação Uniforme;
- População Inicial = 30 indivíduos;
- Número de Gerações = 40;
- Média de 10 experimentos.

O projeto final, que foi gerado pelo modelo, representa o melhor indivíduo, da última geração, do melhor experimento.

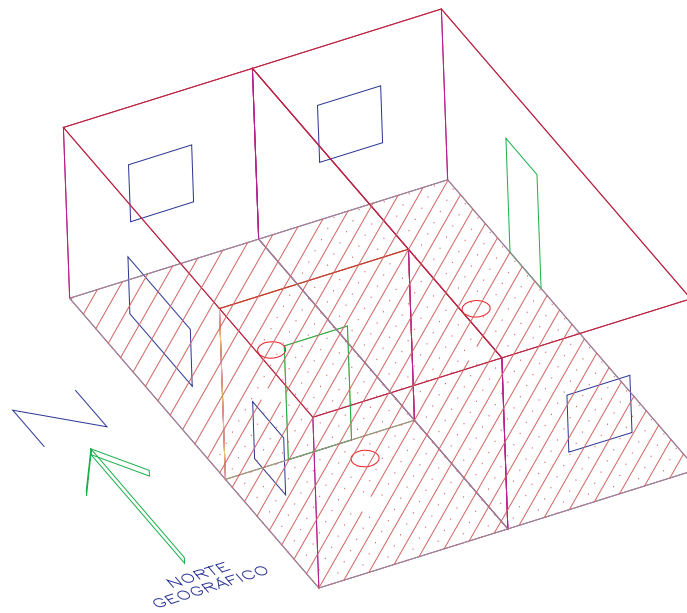


Figura 4.15: Casa Original – Estudo de Caso 2 – Perspectiva

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711220/CA

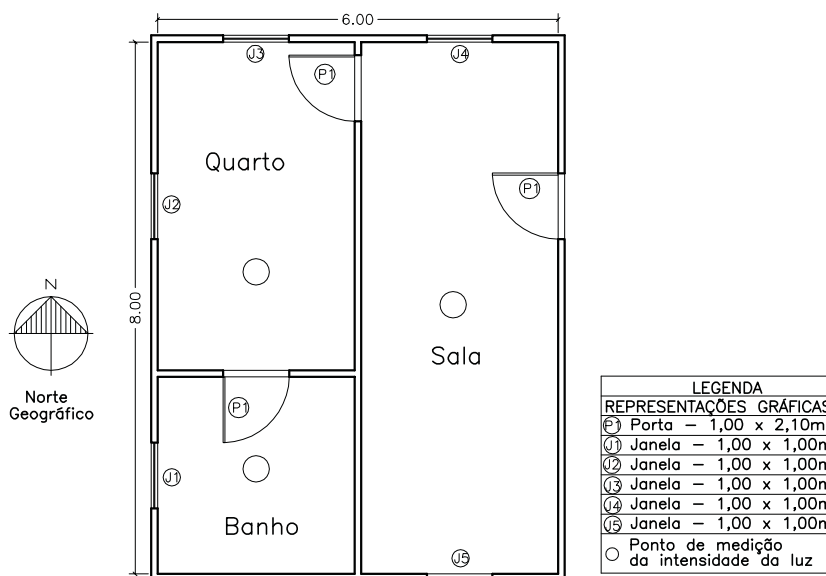


Figura 4.16: Casa Original – Estudo de Caso 2 – Planta Baixa



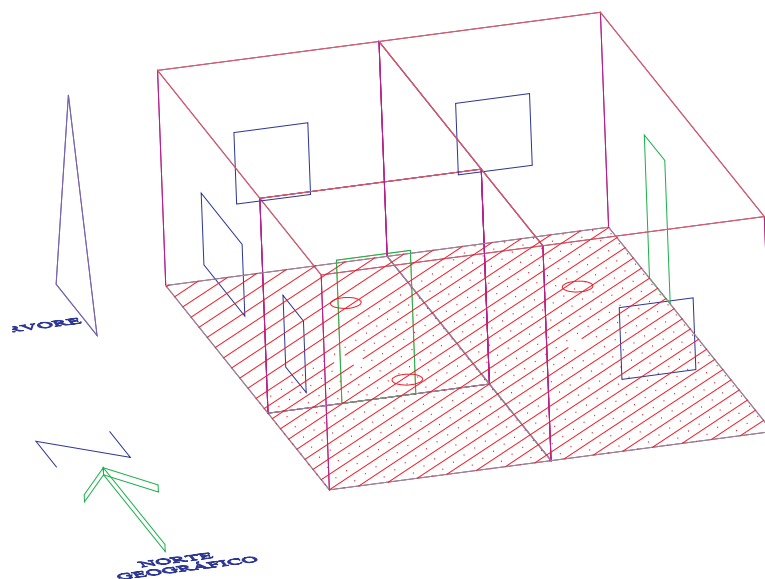


Figura 4.17: Casa Original com Árvore – Estudo de Caso 2 – Planta Baixa

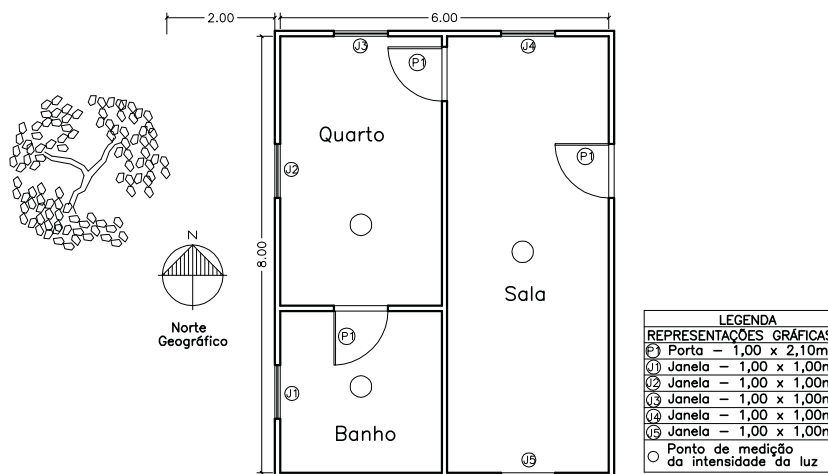


Figura 4.18: Casa Original com Árvore – Estudo de Caso 2 – Planta Baixa

#### 4.5.1 Teste 5

No teste 5, o objetivo é minimizar o consumo do sistema HVAC e o consumo com iluminação artificial. Este teste é realizado sem o uso de bloqueadores. Foram utilizadas lâmpadas de 100W.

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.19 e 4.20.

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu modificação em relação à sua orientação geográfica, sendo rotacionada em aproximadamente 240°;

2. no banheiro, o AG privilegia ao máximo a iluminação natural, pois não há sistema de condicionamento de ar;
3. para o quarto, por ser um cômodo de permanência noturna, o AG otimiza as janelas, permitindo a iluminação natural no período da manhã e conforto térmico à noite;
4. para a sala, por ser um cômodo de permanência diurna, o AG dá preferência à iluminação natural. Portanto, otimiza as janelas da fachada Noroeste e da fachada Sudeste, diminuindo a entrada do calor na casa no período da manhã.
5. arquitetonicamente, as janelas da fachada Sudeste seriam dispensáveis, por sua dimensão não proporcionar nenhum benefício estético e funcional.
6. as portas internas não influenciam no cálculo do consumo de energia

A tabela 4.5 apresenta os valores de consumo para o teste 5. A edificação otimizada reduziu em 25,30% o consumo de energia, em relação à edificação original.

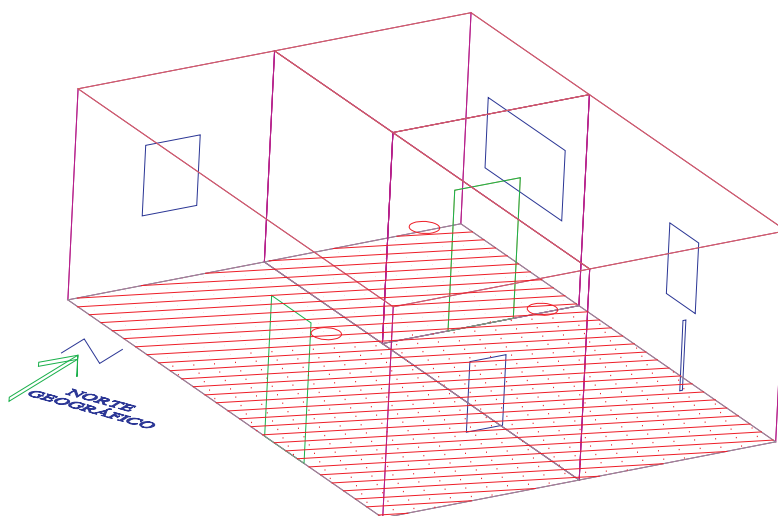


Figura 4.19: Teste 5 – Perspectiva

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
5	4.52	0.89	5.41	4.42	2.83	7.25	25.30

Tabela 4.5: Valores médios de consumo – Teste 5

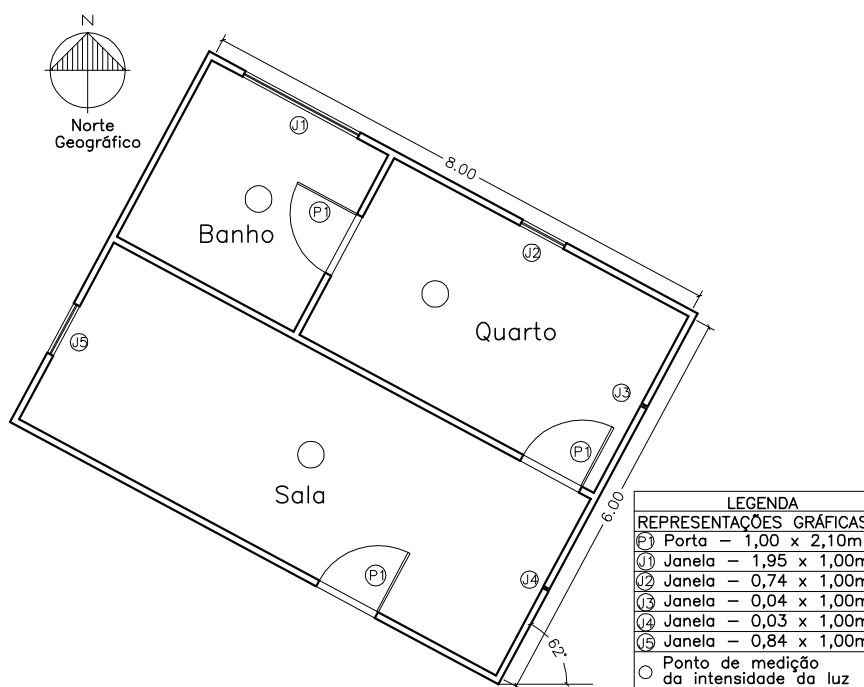


Figura 4.20: Teste 5 – Planta Baixa

#### 4.5.2 Teste 6

No teste 6, o objetivo é minimizar o consumo do sistema HVAC e o consumo com iluminação artificial. Este teste é realizado sem o uso de bloqueadores. Foram utilizadas lâmpadas de 15W, pois este tipo de lâmpada consome menos energia que a de 100W para proporcionar a mesma iluminação de 50 lux. .

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.21 e 4.22.

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu pequena modificação em relação à sua orientação geográfica, sendo rotacionada em 7°;
2. no quarto, o AG minimiza as janelas de forma evitar a entrada de calor, seja na fachada Norte, seja na fachada Oeste, dando preferência ao sistema HVAC, uma vez que, diminuindo a largura das janelas, diminui a entrada da iluminação natural neste cômodo;
3. na sala, como na fachada Sul a insolação se dá por poucas semanas, a janela desta fachada tem maior dimensão, não prejudicando o conforto térmico do ambiente e permitindo que haja iluminação natural através da mesma, por mais horas do dia. Na fachada Norte, o AG minimiza a janela de forma que entre o mínimo de calor possível;

4. no banheiro ocorre o mesmo que no teste anterior: o AG privilegia ao máximo a iluminação natural, pois não há sistema de condicionamento de ar, permitindo que a largura da janela seja de grande dimensão;
5. arquitetonicamente, as janelas da fachada Norte poderiam ser dispensadas, por sua dimensão não proporcionar nenhum benefício estético e funcional.
6. as portas internas não influenciam no cálculo do consumo de energia.

A tabela 4.6 apresenta os valores de consumo para o teste 6. A redução no consumo de energia entre as edificações otimizada e original foi de 74,21%.

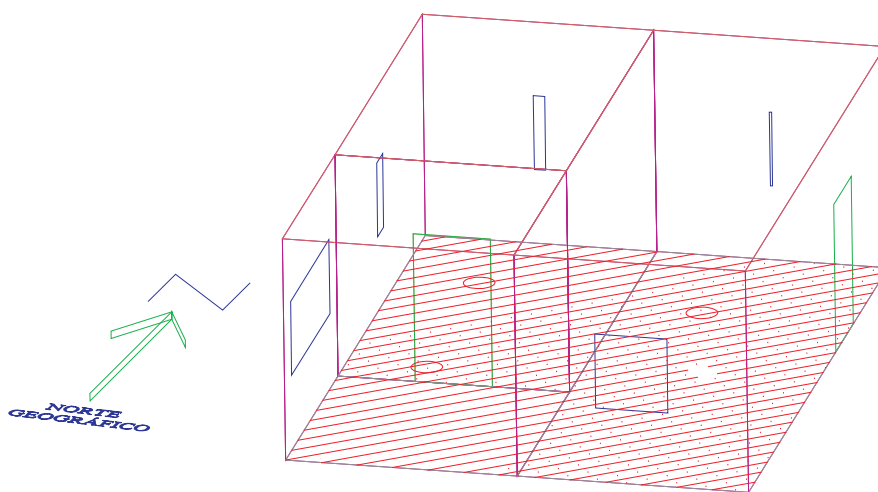


Figura 4.21: Teste 6 – Perspectiva

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
6	0.71	0.00	0.71	0.66	2.07	2.73	74.21

Tabela 4.6: Valores médios de consumo – Teste 6

### 4.5.3 Teste 7

No teste 7, o objetivo é minimizar o consumo do sistema HVAC e o consumo com iluminação artificial. Este teste é realizado sem o uso de bloqueadores. Porém, diversificando-o em relação ao teste anterior, utiliza-se uma árvore (elemento sombreante), para que seu posicionamento seja otimizado no entorno da edificação. Foram utilizadas lâmpadas de 15W, pois este tipo de lâmpada consome menos energia que a de 100W para proporcionar a mesma iluminação de 50 lux, conforme já dito anteriormente, no teste 6.

O modelo evolucionário gerou, como resultado, os desenhos que podem ser vistos nas figuras 4.23 e 4.24.

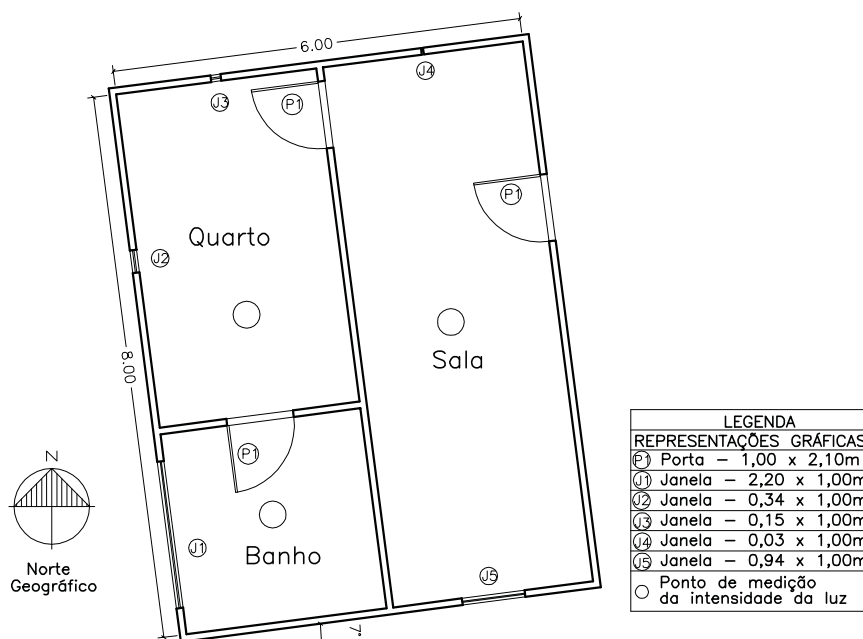


Figura 4.22: Teste 6 – Planta Baixa

Analisando o desenho gerado pelo modelo evolucionário, faz-se as seguintes análises:

1. a edificação sofreu uma modificação em relação à sua orientação geográfica, sendo rotacionada em aproximadamente 200°;
2. no quarto, na fachada Nordeste, o AG trata a janela de forma a dar preferência à iluminação natural permitindo que a mesma tenha maior largura. Porém, a janela da fachada Sudeste é minimizada pelo AG, evitando a entrada de calor, no verão.
3. na sala, na fachada Sudeste, o AG minimiza a janela para evitar a entrada de calor e posiciona o elemento sombreante (árvore) de forma a diminuir a incidência solar direta no cômodo, no verão. Na fachada Noroeste, o AG dá preferência à entrada de iluminação natural, uma vez que o cômodo é de permanência diurna, não realizando grandes alterações na dimensão da janela.
4. arquitetonicamente, as janelas da fachada Norte poderiam ser dispensadas, por sua dimensão não proporcionar nenhum benefício estético e funcional.
5. as portas internas não influenciam no cálculo do consumo de energia;
6. o posicionamento da árvore foi otimizado, passando a sombrear a janela da sala que está voltada para o Sudeste.

A tabela 4.7 apresenta os valores de consumo para o teste 7. A edificação otimizada reduziu em 65,23% o consumo de energia, em relação à edificação original.

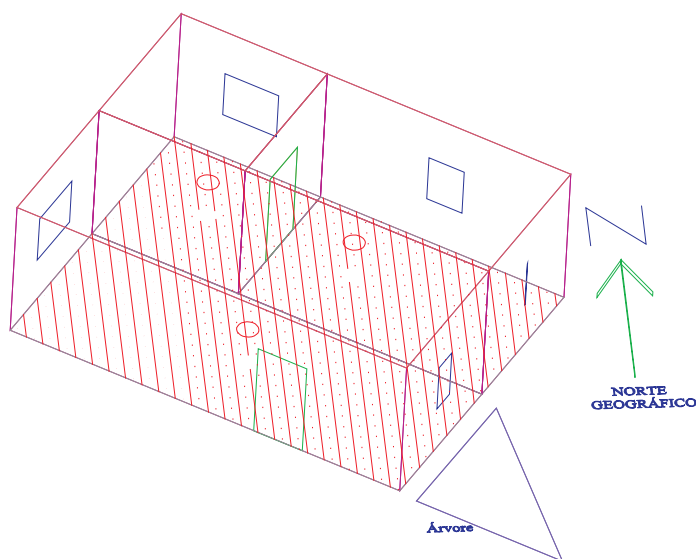


Figura 4.23: Teste 7 – Perspectiva

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
7	0.87	0.00	0.87	0.66	1.84	2.50	65.23

Tabela 4.7: Valores médios de consumo – Teste 7

#### 4.6 Resultados Comparativos

Na tabela 4.8, apresenta-se todos os valores do consumo de energia de cada edificação testada, comparando o consumo das edificações originais, desenhadas por projetista e das edificações otimizadas pelo modelo proposto.

Analisando esta tabela, tem-se:

- Nos testes 1 e 2, o consumo de energia, na edificação original, é o mesmo, pois não há qualquer mudança no projeto da edificação para estes testes. Porém, quando se trata da edificação otimizada, no teste 1, pretende-se reduzir apenas o custo com o condicionamento de ar, sendo o custo com iluminação artificial livre. Portanto, pode-se notar um maior consumo com relação a este sistema. No teste 2, por sua vez, como o modelo deve levar em consideração os dois sistemas, há um aumento no consumo com o condicionamento de ar para que haja uma redução no consumo com a iluminação artificial.

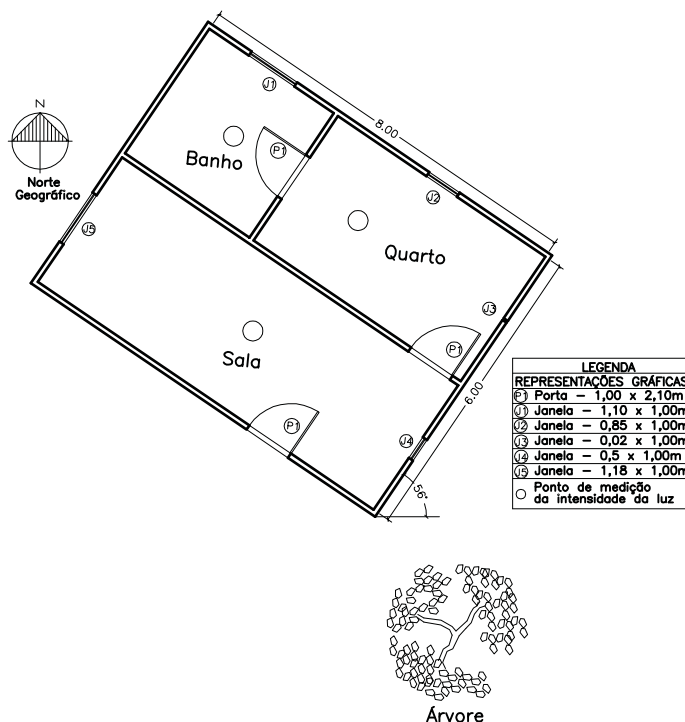


Figura 4.24: Teste 7 – Planta Baixa

Valores médios de consumo (kW/dia)							
Teste	Luz	HVAC	AG Total	Ref. Luz	Ref. HVAC	Ref. Total	Dif.(%)
1	3.61	1.44	5.05	3.17	2.76	5.93	14.82
2	3.30	1.80	5.10	3.17	2.76	5.93	13.93
3	3.55	1.65	5.20	4.39	2.69	7.08	26.45
4	3.33	1.97	5.30	4.39	2.69	7.08	25.12
5	4.52	0.89	5.41	4.42	2.83	7.25	25.30
6	0.71	0.00	0.71	0.66	2.07	2.73	74.21
7	0.87	0.00	0.87	0.66	1.84	2.50	65.23

Tabela 4.8: Valores médios de consumo – Resultados Comparativos

- Nos testes 3 e 4, há uma modificação na edificação original, através do uso de bloqueadores solares nas janelas. Pode-se notar que os valores no consumo diferem dos valores obtidos nos testes 1 e 2. Os bloqueadores auxiliam na redução do consumo com o sistema de condicionamento de ar, porém provocam um aumento do consumo com a iluminação artificial. Analisando os resultados obtidos na edificação otimizada, no teste 3, o AG consegue reduzir o consumo com o sistema de condicionamento de ar de forma considerável. Além disso, mesmo o custo com a iluminação artificial sendo livre, também há redução no consumo de energia deste sistema. No teste 4, como ocorreu no teste 2, há um aumento no consumo com o condicionamento de ar para que haja uma redução no consumo com a iluminação artificial, uma vez que o objetivo é otimizar ambos os sistemas, o que é alcançado com sucesso.

- No teste 5, utilizou-se uma edificação mais complexa. Neste caso, busca-se otimizar o consumo dos sistemas de iluminação artificial e de condicionamento de ar, ao mesmo tempo, porém não se faz uso de bloqueadores solares. Foram utilizadas lâmpadas de 100W nos cômodos. Comparando-se os resultados obtidos na edificação otimizada, com relação à edificação original, nota-se que houve grande redução no consumo de energia, principalmente com o sistema de condicionamento de ar.
- No teste 6, os objetivos são os mesmos do teste 5, mas neste caso, passa-se a utilizar lâmpadas de 15W, com a mesma capacidade de iluminação da lâmpada de 100W, porém, de forma mais econômica. Nota-se que o consumo de energia pelo sistema de iluminação artificial, na casa original, é bem menor do que o do teste 5. Quanto à edificação otimizada, o custo com o sistema de condicionamento de ar é nulo, ou seja, a otimização dos parâmetros pelo AG neste teste propiciou um conforto térmico tal que não foi utilizado o sistema de condicionamento de ar.
- No teste 7, os objetivos e a definição do tipo de lâmpada utilizada são os mesmos do teste 6. O que os diferencia é que, neste teste, acrescenta-se mais um parâmetro a ser otimizado, que é o posicionamento de um elemento sombreante (árvore), no entorno da edificação. Nota-se que o uso do elemento sombreante auxilia na diminuição da entrada de calor em um ambiente, pois há redução no consumo de energia pelo sistema de condicionamento de ar, analisando-se os resultados obtidos na edificação original. Com relação à edificação otimizada, percebe-se que o posicionamento do elemento sombreante teve grande influência no conforto térmico da edificação, permitindo que o sistema de condicionamento de ar não fosse acionado. Porém, pode-se perceber que tal elemento prejudica a entrada de iluminação natural, provocando um aumento no consumo de energia com o sistema de iluminação artificial.

Após analisar os testes realizados e seus respectivos resultados, aqueles obtidos pelas edificações otimizadas são bem melhores do que os das edificações desenvolvidas pelo projetista, ou seja, as casas otimizadas consomem menos energia com os sistemas de condicionamento de ar e/ou com os sistemas de iluminação artificial, mostrando a eficácia do modelo desenvolvido e constituindo-se em edificações com maior eficiência energética.