

AValiação DO APLICATIVO AUTODESK ECOTECH ANALYSIS PARA SIMULAÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR EMPREGANDO DIFERENTES ARQUIVOS CLIMÁTICOS

Rafael P. Cartana (1); Eduardo João Berté (2)

(1) Doutorando, Arquiteto/Professor, cartana@univali.br, UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, Laboratório de Conforto Ambiental – LACA - Curso de Arquitetura e Urbanismo – Campus Balneário Camboriú, 5ª Avenida 1.100, CEP. 88337-300, +55(47) 32611216

(2) Estudante de Arquitetura e Urbanismo, eduardoberte@univali.com, UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, Laboratório de Conforto Ambiental – LACA - Curso de Arquitetura e Urbanismo – Campus Balneário Camboriú, 5ª Avenida 1.100, CEP. 88337-300, +55(47) 32611216

RESUMO

Na Arquitetura, a radiação solar está diretamente relacionada com admissão de calor e iluminação natural, apresentando-se como um dos principais componentes do comportamento ambiental das edificações. Atualmente estão disponíveis ferramentas de simulação computacional que facilitam a compreensão dos fenômenos físicos relacionados ao desempenho das edificações, dentre elas está o *Autodesk Ecotect Analysis*. Em seu funcionamento, aplicativos como o *Ecotect* utilizam arquivos climáticos, contendo informações sobre cada cidade. Atualmente diversas cidades catarinenses já possuem arquivos climáticos, entretanto para serem utilizados com maior confiabilidade, os aplicativos de simulação e os arquivos climáticos devem ser testados a fim de ter seus dados de saída aferidos. O **objetivo** deste trabalho foi testar o aplicativo *Autodesk Ecotect Analysis* quanto a sua possibilidade de simulação da radiação solar, avaliando a confiabilidade dos dados obtidos nas simulações empregando arquivos climáticos “EPW” e “TRY”, comparativamente aos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar. Como **metodologia**: primeiramente foram desenvolvidos modelos computacionais simplificados em 3D correspondentes às principais orientações solares de uma edificação (Norte, Sul, Leste, Oeste e plano horizontal). Posteriormente, tais modelos foram simulados utilizando arquivos climáticos de fontes diferentes, neste trabalho, denominados: “EPW” e “TRY”; por fim, os dados de saída foram comparados com dados conhecidos, presentes nos arquivos anexos do Atlas Brasileiro de Energia Solar desenvolvido por Pereira et al., 2006. Como **resultados** verificou-se que o *Autodesk Ecotect Analysis* apresenta coerência nas simulações da radiação solar incidente em relação às variações anuais, entretanto os valores resultantes das simulações foram normalmente inferiores aos valores de referência. Em relação aos arquivos climáticos utilizados, os arquivos “TRY” apresentaram menores erros em relação aos valores de referência, quando comparadas com as simulações realizadas com os arquivos “EPW”. Desaconselhando o emprego dos arquivos climáticos “EPW” neste tipo de simulação. Considerando que as simulações foram realizadas apenas para a cidade de Florianópolis.

Palavras-chave: radiação solar, *Autodesk Ecotect Analysis*, arquivos climáticos.

ABSTRACT

In architecture, solar radiation is directly related to heat gain and natural lighting, presenting itself as one of the most significant components of the environmental performance of buildings. Currently, there are several computational simulation tools available, that facilitates the comprehension of physical phenomena related to buildings performance, among them is the *Autodesk Ecotect Analysis*. In its operation, softwares such as *Ecotect* uses weather files containing information about each city. Currently many Santa Catarina cities already have weather files for simulation, but to be used with reliability, the simulation software, and the weather files should be tested in order to check their output data. The aim of this study was to test the *Autodesk Ecotect Analysis* software and its possibility of solar radiation simulation, evaluating the simulated data reliability, using “EPW” and “TRY” weather files, compared to Brazilian Atlas Solar Energy data. As methodology: first, simplified 3D computational models were developed, corresponding to the main

orientations of a building (North, South, East, West and horizontal face). After that, the models were simulated in Ecotect, using weather files from different sources, named in this work: : “EPW” and “TRY”; finally, the output data was compared with the known data radiation values presented in the Brazilian Atlas of Solar Energy developed by PEREIRA, et al, 2006. As results the Autodesk Ecotect Analysis showed consistency in the solar radiation simulations in relation to annual variations, however the output values from the simulations were normally lower than the reference values. In relation to climatic files used, the simulations "TRY" files simulation had minor errors in relation to the reference values, when compared to the ones made with the "EPW" files. Advising against the use of the "EPW" weather files in this type of simulation. Considering that the simulations were performed only for Florianopolis.

Keywords: solar radiation, *Autodesk Ecotect Analysis*, weather files.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil as edificações são responsáveis por 47,6% do consumo nacional de eletricidade, sendo as edificações residenciais responsáveis por 23,6%, as comerciais por 16% e as públicas por 8% do consumo (BEN 2013). Estes dados demonstram a importância dos espaços construídos no consumo de energia elétrica nacional.

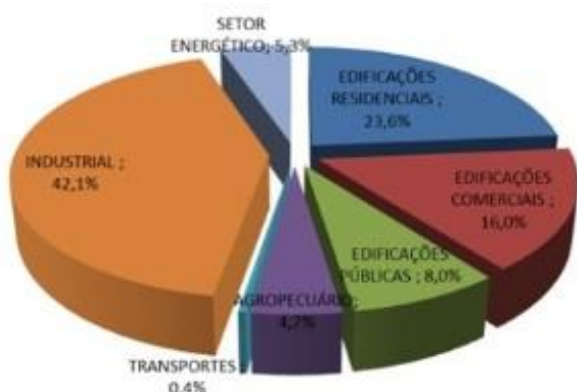


Figura 1 - Consumo de energia elétrica por setor no mercado nacional. Fonte: BEN 2013

Visando facilitar a compreensão e previsão dos fenômenos físicos envolvidos no desempenho das edificações, entre elas a radiação, nos últimos anos foram desenvolvidos diversos aplicativos de simulação computacional, que entre outras funções, fornecem dados sobre radiação incidente nas edificações, gerando inclusive modelos gráficos que permitem a visualização deste fenômeno. Greenberg et al. (2013) identificam a dificuldade de visualização dos resultados de simulações como um dos “gargalos” para a integração de simulações computacionais no processo de projeto.

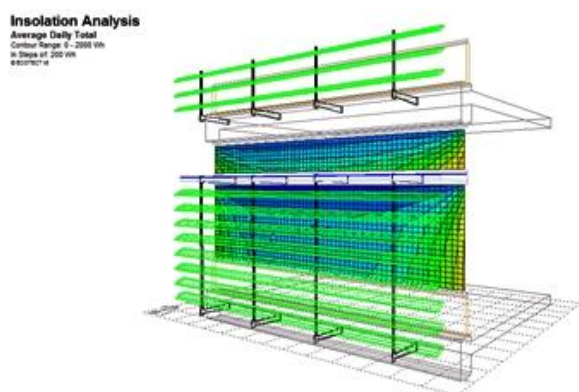


Figura 2 - Autodesk Ecotect Analysis, modelo de radiação incidente em uma fachada. Fonte:

http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Display_Solar_Radiation_Values

O desempenho energético das edificações está diretamente relacionado a seu conforto ambiental: quanto mais confortáveis em termos térmicos e lumínicos forem as edificações menor será a solicitação de uso dos sistemas artificiais de iluminação e climatização. Relativamente às questões de conforto térmico, o fator que determina a demanda de utilização dos aparelhos de ar condicionado em uma edificação é sua carga térmica, já entre os fatores que determinam a carga térmica, muitas vezes a radiação solar é o mais significativo. Segundo Lamberts et al. (2014) a radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios, constituindo-se também como sua principal fonte de luz natural.

Desenvolvido pelo Prof. Andrew Marsh, PhD, aplicativo *Autodesk Ecotect Analysis* possui como uma das suas principais características a possibilidade de visualização dos fenômenos físicos envolvidos no desempenho das edificações, facilitando assim sua compreensão e incorporação no processo de projeto. Em 2011 o *Ecotect Analysis* foi incorporado pela *Autodesk* que atualmente está integrando suas ferramentas de análise na suíte do *Autodesk Revit*. Segundo Yang et al. (2013) o *Ecotect* demonstra-se como uma excelente e versátil ferramenta de análise ambiental. Inclui uma grande variedade de detalhadas análises, apresentando seus resultados com esquemas gráficos, possibilitando, de maneira rápida e intuitiva, a visualização dos resultados das simulações, tornando-o ideal para as fases de concepção do projeto.

Em seu funcionamento, os aplicativos de simulação computacional utilizam **arquivos climáticos**, que são bases de dados digitais contendo informações específicas sobre os condicionantes climáticos de cada cidade. Atualmente grande parte das cidades catarinenses já possui arquivos climáticos para simulação, entretanto para serem utilizados com maior confiabilidade, os aplicativos de simulação e seus respectivos arquivos climáticos devem ser testados a fim de ter seus dados de saída aferidos. No caso deste presente trabalho, os dados simulados foram comparados com dados medidos presentes arquivos anexos do Atlas Brasileiro de Energia Solar desenvolvido por Pereira et al., 2006.

Tendo em vista a interface gráfica de fácil utilização e visualização dos resultados apresentada pelo aplicativo *Autodesk Ecotect Analysis*, juntamente com a importância da compreensão dos efeitos da radiação solar no desempenho energético das edificações, faz-se necessária a aferição desta ferramenta para sua confiável utilização, verificando sua capacidade de simulação do fenômeno da admissão de radiação solar, de acordo com diferentes arquivos climáticos disponíveis para o Brasil, neste trabalho, denominados: “EPW” e “TRY”, como apresentado a seguir.

2. OBJETIVO

O **objetivo** deste trabalho foi testar o aplicativo *Autodesk Ecotect Analysis* quanto a sua possibilidade de simulação da radiação solar, avaliando a confiabilidade dos dados obtidos nas simulações empregando arquivos climáticos “EPW” e “TRY”, comparativamente aos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Desenvolvimento de modelos computacionais simplificados em 3D correspondentes às principais orientações solares para as fachadas e cobertura de uma edificação (Norte, Sul, Leste, Oeste e plano horizontal).
2. Simulação dos modelos no aplicativo *Autodesk Ecotect Analysis* utilizando arquivos climáticos de fontes diferentes, neste trabalho, denominados: “EPW” e “TRY”.
3. Comparação dos dados simulados com dados conhecidos, presentes nos arquivos anexos do Atlas Brasileiro de Energia Solar desenvolvido por Pereira et al., 2006.

3.1. Desenvolvimento de modelos computacionais

O modelo definido para a análise de radiação foi um cubo de aresta igual a 1 metro, conseqüentemente com faces de área igual a 1m², orientadas para Norte, Sul, Leste, Oeste e plano horizontal, facilitando a leitura dos dados, que são gerados em W.h/m² (Watts.hora/metro quadrado).

Para a modelagem 3D, foi utilizado inicialmente o aplicativo *SketchUP*, que apresentou problemas de leitura dos modelos após a exportação para o *Ecotect*, para solucionar esta questão foi feita uma nova modelagem, utilizando as ferramentas 3D do *AutoCAD*, que se apresentou mais compatível com o *Ecotect*, principalmente no que se refere à leitura da radiação incidente nos planos verticais (fachadas). Para a exportação entre o *AutoCAD* e o *Ecotect* os arquivos da modelagem foram salvos na extensão 3Ds.

3.2. Simulação dos modelos no aplicativo *Autodesk Ecotect Analysis*

Para realização das simulações foram utilizados arquivos climáticos para a cidade de Florianópolis no formato EPW (EnergyPlus Weather File), provenientes de duas fontes diferentes encontradas no *website* do LABEEE-UFSC (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – UFSC). A primeira delas, denominada neste trabalho como “EPW” (arquivo: SC_Florianopolis.epw) faz parte da série de arquivos climáticos elaborado pelo Prof. Maurício Roriz, a partir de dados horários, registrados em 411 estações climatológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010. A segunda fonte de arquivos climáticos, denominada neste trabalho como “TRY” (arquivo: FlorianopolisTRY1963_05CSV.epw) faz parte de uma série de arquivos climáticos TRY (Test Reference Year) compilados ou atualizados no ano de 2005.

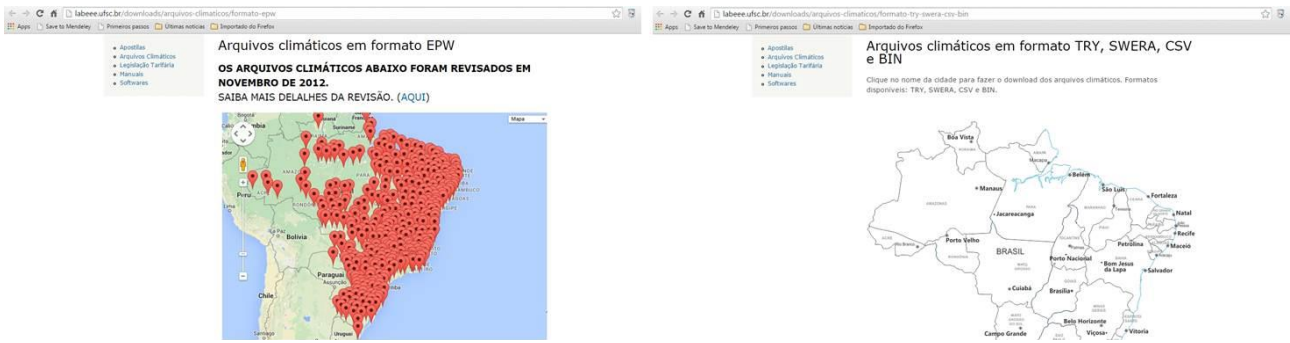


Figura 3 - Fontes dos arquivos climáticos utilizados: “EPW” e “TRY” respectivamente. Fontes: website do LABEEE-UFSC <http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw> e <http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>

Após a escolha dos arquivos climáticos, foram realizadas as simulações no *Ecotect*. Para geração dos dados foi utilizada a ferramenta Análise de Incidência solar (*Solar Access Analysis*) presente na opção *Calculate* na barra superior da interface do programa. A descrição trazida para a ferramenta é a seguinte: “*Solar Access* refere-se à disponibilidade de radiação solar incidente em superfícies e pontos do seu modelo digital”. Os modelos 3D importados do *AutoCAD* foram posicionados de maneira que suas faces verticais estivessem alinhadas para Norte, Sul, Leste e Oeste. Visando estabelecer um comparativo entre os dados simulados e os dados presentes no Atlas Brasileiro de Energia Solar, foram geradas no *Ecotect* as médias diárias mensais para o ano inteiro, primeiramente utilizando o arquivo “EPW” e depois utilizando o “TRY”, como demonstrado abaixo:

Tabela 1 - Valores gerados pela *Solar Access Analysis* utilizando o arquivo climático “EPW”

| MÊS | JANEIRO | FEVEREIRO | MARÇO | ABRIL | MAIO | JUNHO | JULHO | AGOSTO | SETEMBRO | OUTUBRO | NOVEMBRO | DEZEMBRO |
|------------------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| FACE SUPERIOR (WH/M ²) | 4241,36 | 4119,82 | 3270,24 | 2481,79 | 2004,10 | 1318,34 | 1398,18 | 2358,59 | 2811,83 | 3750,60 | 4266,42 | 4049,16 |
| LESTE (WH/M ²) | 2358,87 | 2494,20 | 1944,58 | 1490,66 | 1193,49 | 783,27 | 789,22 | 1423,46 | 1631,17 | 2037,21 | 2289,80 | 2160,13 |
| NORTE (WH/M ²) | 1366,49 | 1442,91 | 1522,58 | 1423,88 | 1287,60 | 886,50 | 874,37 | 1470,90 | 1458,20 | 1555,51 | 1381,05 | 1345,37 |
| OESTE (WH/M ²) | 1319,15 | 1184,20 | 1036,50 | 850,18 | 756,69 | 505,08 | 560,05 | 819,61 | 956,13 | 1206,12 | 1260,89 | 1328,53 |
| SUL (WH/M ²) | 1413,44 | 1192,54 | 1015,41 | 839,07 | 750,50 | 502,77 | 556,92 | 808,65 | 941,35 | 1184,52 | 1291,45 | 1418,01 |

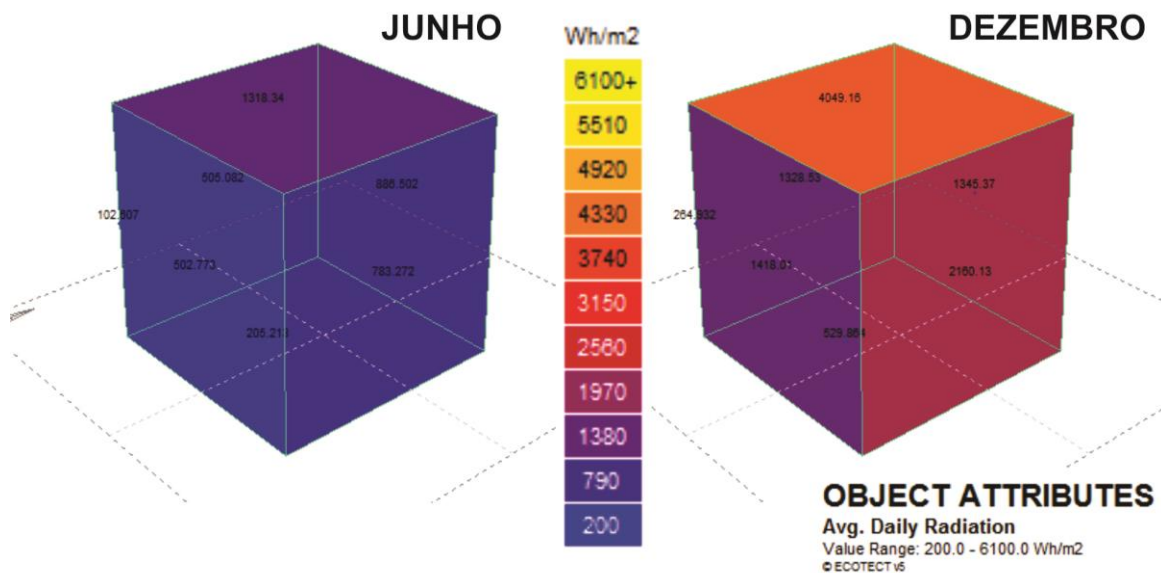


Figura 4 - Simulação gerada pela *Solar Access Analysis* para os meses de junho e dezembro utilizando o arquivo “EPW”

Tabela 2 - Valores gerados pelo *Solar Access Analysis* utilizando o arquivo climático “TRY”

| MÊS | JANEIRO | FEVEREIRO | MARÇO | ABRIL | MAIO | JUNHO | JULHO | AGOSTO | SETEMBRO | OUTUBRO | NOVEMBRO | DEZEMBRO |
|------------------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| FACE SUPERIOR (WH/M ²) | 6058,00 | 5647,65 | 4041,89 | 3882,87 | 2808,08 | 2271,95 | 2114,68 | 2770,54 | 3065,99 | 3621,37 | 4595,35 | 5137,48 |
| LESTE (WH/M ²) | 2861,28 | 2656,38 | 1923,32 | 1911,27 | 1409,10 | 1097,05 | 1034,16 | 1362,88 | 1413,42 | 1751,95 | 2029,53 | 2233,65 |
| NORTE (WH/M ²) | 1670,50 | 1885,68 | 1836,03 | 2603,17 | 2218,66 | 1977,89 | 1709,21 | 1846,70 | 1574,33 | 1452,46 | 1581,28 | 1559,30 |
| OESTE (WH/M ²) | 2309,52 | 2259,12 | 1788,57 | 1757,38 | 1262,53 | 993,02 | 939,27 | 1302,76 | 1401,67 | 1573,82 | 2053,23 | 2191,52 |
| SUL (WH/M ²) | 1775,39 | 1529,84 | 1270,75 | 867,72 | 766,83 | 612,27 | 602,92 | 861,26 | 1045,59 | 1170,05 | 1562,78 | 1659,81 |

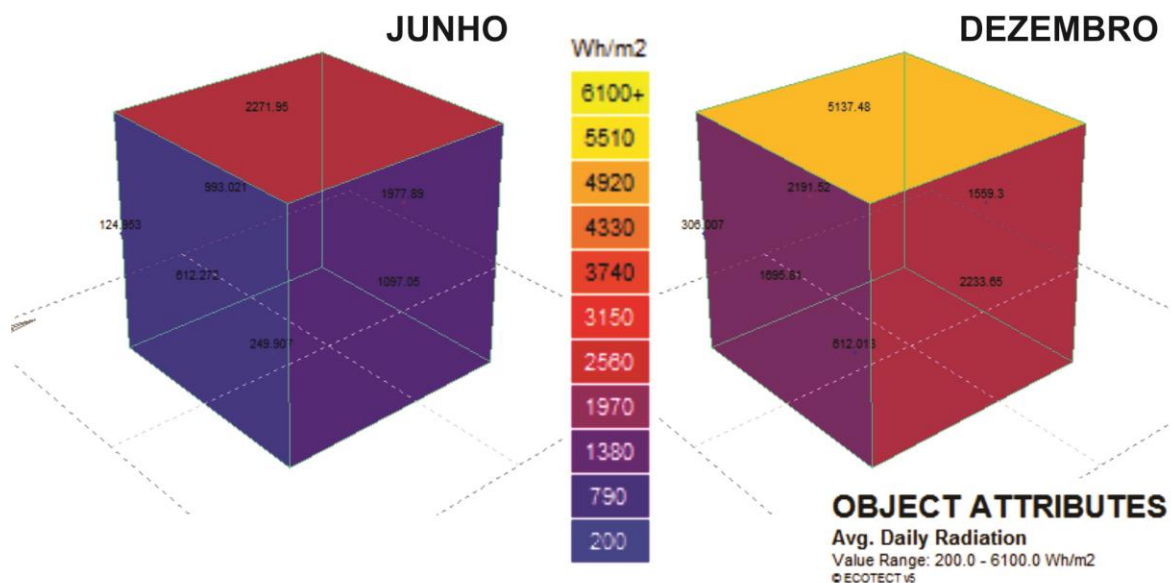


Figura 5 - Simulação gerada pela Solar Access Analysis para os meses de junho e dezembro utilizando o arquivo “TRY”

Pode-se observar nas tabelas acima que quando simulada utilizando o arquivo climático “EPW” a radiação incidente apresenta sempre valores superiores do que quando simulada o arquivo “TRY”. Cabe salientar que o arquivo 3Ds utilizado é o mesmo e os processos de simulação são idênticos, diferenciando apenas o arquivo climático utilizado.

3.3. Comparação dos dados simulados com dados presentes no Atlas Brasileiro de Energia Solar

Visando aferir a precisão dos dados simulados, os mesmos foram comparados com os dados presentes nos arquivos anexos ao Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al, 2006). Tais arquivos em formato XLS (Excel) trazem a radiação global, direta e difusa **para o plano horizontal**, para todo território nacional. Os os dados de irradiação solar global foram coletados com sensores Kipp&Zonen CM21 em estações da rede SONDA; após a coleta, foram submetidos a um controle de qualidade que utiliza critérios estabelecidos pela *World Meteorological Organization (WMO)* para as estações da rede *Baseline Solar Radiation Network (BSRN)*. (PEREIRA et al, 2006).

Para a obtenção dos valores de radiação incidente **nos planos verticais** a partir dos valores informados pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar, foi utilizado o aplicativo Radiasol 1 (LabSOL/UFRGS - Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). A partir da inserção de dados da radiação média diária mensal, o aplicativo realiza cálculos trigonométricos que permitem alcançar os valores de radiação solar para as faces desejadas, seja qual for sua inclinação ou desvio azimutal. O aplicativo foi utilizado para gerar os valores para comparação, referentes às faces: Norte, Sul, Leste e Oeste.



Figura 6 - Interface inicial do aplicativo Radiasol (entrada de dados) e interface do aplicativo Radiasol (definição da inclinação e desvio azimutal).

Complementando o comparativo realizado para a radiação incidente no plano horizontal, foi utilizado o aplicativo *Climate Consultant 5.5*. Desenvolvido pela Universidade da Califórnia Los Angeles – UCLA, o aplicativo trata-se fundamentalmente de um leitor de arquivos climáticos, que exibe através de tabelas e gráficos os dados das diversas variáveis presentes nos arquivos climáticos. Para a obtenção dos valores da radiação incidente no plano horizontal foram carregados no programa os arquivos “EPW” e “TRY” para a cidade de Florianópolis, os mesmos utilizados nas simulações realizadas com o *Ecotect*. Após gerados os valores de radiação para cada um dos meses, nos aplicativos *Ecotect*, *Radiasol* e *Climate Consultant*, utilizando-se o Excel, foram geradas as tabelas e gráficos apresentados a seguir.

Climate Consultant 5.5 (Build 4, May 15, 2014)

File Criteria Charts Help

WEATHER DATA SUMMARY

LOCATION: Florianópolis, SC, BRA
Latitude/Longitude: 27.6° South, 48.55° West, **Time Zone from Greenwich** -3
Data Source: INMET 838970 WMO Station Number, **Elevation** 2 m

| MONTHLY MEANS | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Global Horiz Radiation (Avg Hourly) | 384 | 431 | 379 | 338 | 305 | 229 | 216 | 341 | 340 | 372 | 396 | 358 | Wh/sq.m |
| Direct Normal Radiation (Avg Hourly) | 153 | 191 | 144 | 110 | 83 | 58 | 49 | 111 | 114 | 140 | 166 | 129 | Wh/sq.m |
| Diffuse Radiation (Avg Hourly) | 199 | 188 | 180 | 158 | 147 | 110 | 120 | 154 | 169 | 191 | 191 | 198 | Wh/sq.m |
| Global Horiz Radiation (Max Hourly) | 1086 | 1048 | 945 | 836 | 721 | 699 | 652 | 802 | 914 | 1057 | 1105 | 1081 | Wh/sq.m |
| Direct Normal Radiation (Max Hourly) | 844 | 798 | 671 | 534 | 403 | 330 | 336 | 497 | 635 | 749 | 825 | 840 | Wh/sq.m |
| Diffuse Radiation (Max Hourly) | 462 | 450 | 422 | 377 | 320 | 274 | 302 | 353 | 399 | 435 | 450 | 463 | Wh/sq.m |
| Global Horiz Radiation (Avg Daily Total) | 5217 | 5608 | 4606 | 3840 | 3240 | 2358 | 2265 | 3772 | 4021 | 4725 | 5303 | 4910 | Wh/sq.m |
| Direct Normal Radiation (Avg Daily Total) | 2080 | 2488 | 1758 | 1257 | 887 | 603 | 512 | 1227 | 1346 | 1773 | 2228 | 1772 | Wh/sq.m |
| Diffuse Radiation (Avg Daily Total) | 2696 | 2453 | 2193 | 1793 | 1570 | 1140 | 1260 | 1710 | 2005 | 2430 | 2559 | 2725 | Wh/sq.m |
| Global Horiz Illumination (Avg Hourly) | 41642 | 46196 | 40206 | 34958 | 31477 | 23227 | 22306 | 35160 | 35724 | 40068 | 42698 | 38842 | lux |
| Direct Normal Illumination (Avg Hourly) | 14929 | 18607 | 13942 | 10551 | 7789 | 5395 | 4581 | 10506 | 10894 | 13505 | 16155 | 12539 | lux |
| Dry Bulb Temperature (Avg Monthly) | 24 | 24 | 23 | 22 | 19 | 18 | 17 | 16 | 17 | 21 | 22 | 23 | degrees C |
| Dew Point Temperature (Avg Monthly) | 19 | 19 | 18 | 17 | 13 | 15 | 13 | 11 | 13 | 16 | 16 | 17 | degrees C |
| Relative Humidity (Avg Monthly) | 75 | 73 | 74 | 75 | 72 | 81 | 78 | 71 | 75 | 73 | 70 | 72 | percent |
| Wind Direction (Monthly Mode) | 20 | 170 | 20 | 20 | 20 | 170 | 170 | 170 | 170 | 20 | 20 | 160 | degrees |
| Wind Speed (Avg Monthly) | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | m/s |
| Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths) | 23 | 23 | 22 | 22 | 20 | 19 | 18 | 18 | 18 | 19 | 20 | 21 | degrees C |

Back Next

Figura 8 - Interface do *software Climate Consultant*, destacando os dados utilizados para comparação.

Para a radiação solar incidente no **plano horizontal**, as comparações foram feitas entre os valores do Atlas Brasileiros de Energia Solar e dos aplicativos *Ecotect* e *Climate Consultant*. Foram utilizados os arquivos climáticos “EPW” e “TRY”, produzindo uma tabela para cada arquivo climático. Por fim, foi possível determinar os erros entre os valores simulados em relação aos dados do Atlas.

Para a radiação solar incidente nos **planos verticais** foi utilizada a mesma metodologia das tabelas referentes ao plano horizontal. Porém, agora, os dados utilizados como base comparativa foram apenas os do Atlas Brasileiros de Energia Solar, processados pelo *Radiasol*. Assim como nos itens anteriores, os resultados são apresentados em relação aos dois diferentes arquivos climáticos utilizados.

4. RESULTADOS

4.1. Radiação solar incidente no plano horizontal

Os resultados apresentados nas tabelas e gráficos abaixo demonstram que o *Ecotect* apresentou normalmente valores de radiação inferiores aos trazidos nos arquivos climáticos e apresentados pelo *Climate Consultant*. Calculando o erro médio entre os valores apresentados pelo *Climate Consultant*, que apenas realiza a leitura

das informações dos arquivos climáticos, em comparação com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o mesmo variou entre 10% para o arquivo “EPW”, e 15% para o arquivo “TRY”, mostrando que os próprios arquivos climáticos diferem dos valores de referência do Atlas. As simulações realizadas no *Ecotect* geraram um considerável aumento nessas porcentagens, sendo 22% na média para o arquivo climático “TRY”, e 58% na média para o “EPW”, demonstrando uma maior confiabilidade nas simulações que empregam o arquivo “TRY”. A diferença média geral entre o *Ecotect* e o Atlas Brasileiro de Energia Solar, levando em consideração os dois arquivos climáticos, foi de 40%.

Tabela 3- Comparação entre os dados de radiação solar incidente mês-a-mês do Atlas Brasileiro de Energia Solar e dos aplicativos *Ecotect* e *Climate Consultant*. Arquivo Climático utilizado: “EPW”.

| | ATLAS BRASILEIRO (WH/M ²) | ECOTECT (WH/M ²) | ERRO | CLIMATE CONSULTANT (WH/M ²) | ERRO |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------|------|---|------|
| JANEIRO | 5900,00 | 4241,36 | 39% | 5217,00 | 13% |
| FEVEREIRO | 5530,00 | 4119,82 | 34% | 5608,00 | 1% |
| MARÇO | 4880,00 | 3270,24 | 49% | 4606,00 | 6% |
| ABRIL | 4030,00 | 2481,79 | 62% | 3840,00 | 5% |
| MAIO | 3340,00 | 2004,10 | 67% | 3240,00 | 3% |
| JUNHO | 2900,00 | 1318,34 | 120% | 2358,00 | 23% |
| JULHO | 2850,00 | 1398,18 | 104% | 2265,00 | 26% |
| AGOSTO | 3670,00 | 2358,59 | 56% | 3772,00 | 3% |
| SETEMBRO | 4060,00 | 2811,83 | 44% | 4021,00 | 1% |
| OUTUBRO | 4910,00 | 3750,60 | 31% | 4725,00 | 4% |
| NOVEMBRO | 6060,00 | 4266,42 | 42% | 5303,00 | 14% |
| DEZEMBRO | 6070,00 | 4049,16 | 50% | 4910,00 | 24% |
| MÉDIA | 4516,67 | 3005,87 | 58% | 4155,42 | 10% |

Tabela 4 - Comparação entre os dados de radiação solar incidente mês-a-mês do Atlas Brasileiro de Energia Solar e dos aplicativos *Ecotect* e *Climate Consultant*. Arquivo Climático utilizado: “TRY”.

| | ATLAS BRASILEIRO (WH/M ²) | ECOTECT (WH/M ²) | ERRO | CLIMATE CONSULTANT (WH/M ²) | ERRO |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------|------|---|------|
| JANEIRO | 5900,00 | 6058,00 | 3% | 6270,00 | 6% |
| FEVEREIRO | 5530,00 | 5647,65 | 2% | 5809,00 | 5% |
| MARÇO | 4880,00 | 4041,89 | 21% | 4217,00 | 16% |
| ABRIL | 4030,00 | 3882,87 | 4% | 4576,00 | 12% |
| MAIO | 3340,00 | 2808,08 | 19% | 3511,00 | 5% |
| JUNHO | 2900,00 | 2271,95 | 28% | 3021,00 | 4% |
| JULHO | 2850,00 | 2114,68 | 35% | 2732,00 | 4% |
| AGOSTO | 3670,00 | 2770,54 | 32% | 3160,00 | 16% |
| SETEMBRO | 4060,00 | 3065,99 | 32% | 3245,00 | 25% |
| OUTUBRO | 4910,00 | 3621,37 | 36% | 3703,00 | 33% |
| NOVEMBRO | 6060,00 | 4595,35 | 32% | 4561,00 | 33% |
| DEZEMBRO | 6070,00 | 5137,48 | 18% | 5178,00 | 17% |
| MÉDIA | 4516,67 | 3834,65 | 22% | 4165,25 | 15% |

Os gráficos abaixo para os arquivos “EPW” e “TRY” respectivamente, demonstram que apesar do *Ecotect* apresentar sempre valores de radiação inferiores aos trazidos nos arquivos climáticos, o mesmo foi coerente na representação das variações da radiação incidente ao longo do ano, apresentando menos radiação no inverno e mais no verão. Outro fator importante a ser observado é a maior confiabilidade para simulações geradas utilizando o arquivo “TRY”.

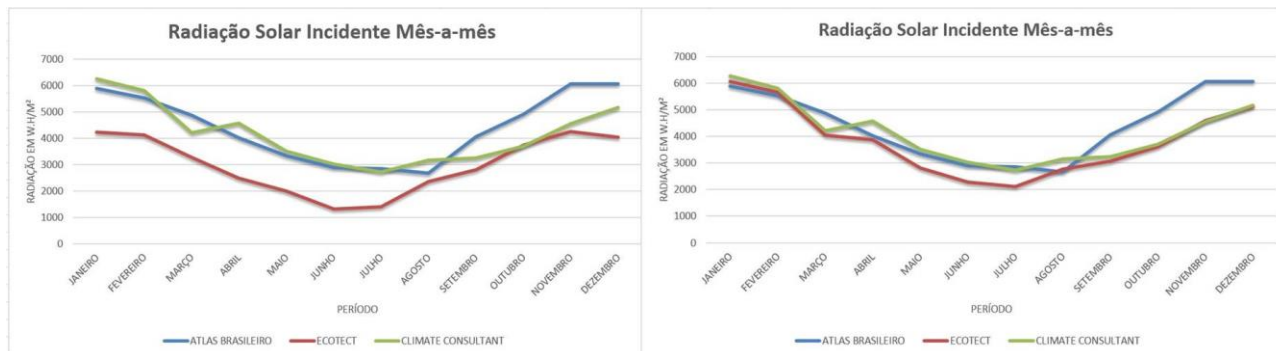


Figura 8 - Gráficos da variação de radiação anual para o plano horizontal, utilizando os arquivos “EPW” e “TRY” respectivamente.

4.1. Radiação solar incidente nos planos verticais

Em relação à radiação solar incidente nos planos verticais, o *Ecotect* apresentou sempre resultados inferiores aos valores do Atlas, neste caso, tratados pelo Radiasol. Em relação aos erros encontrados nas análises para o plano horizontal, as diferenças tiveram uma amplitude maior, principalmente para o arquivo “EPW”, onde foi verificado um erro médio de até 203,81% para o mês de Junho, sendo este o maior valor encontrado. A menor média foi encontrada no mês de fevereiro para o arquivo TRY, totalizando 47,52% de erro, como demonstrado nas tabelas abaixo:

Tabela 5 - Comparação entre os dados de radiação solar incidente mês-a-mês nos planos verticais, arquivo climático: “EPW”.

| | SOFTWARE | LESTE | ERRO | NORTE | ERRO | OESTE | ERRO | SUL | ERRO | RADIAÇÃO MÉDIA | ERRO MÉDIO |
|-----------|-------------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------------------|----------------|
| JANEIRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3544,00 | - | 2844,00 | - | 3544,00 | - | 2878,00 | - | 3202,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2358,87 | 50,24% | 1366,49 | 108,12% | 1319,15 | 168,66% | 1413,44 | 103,62% | 1614,4875 | 107,66% |
| FEVEREIRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3287,00 | - | 2972,00 | - | 3287,00 | - | 2510,00 | - | 3014,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2494,20 | 31,79% | 1442,91 | 105,97% | 1184,20 | 177,57% | 1192,54 | 110,48% | 1578,4625 | 106,45% |
| MARÇO | RADIASOL (WH/M ²) | 2975,00 | - | 3168,00 | - | 2975,00 | - | 2184,00 | - | 2825,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1944,58 | 52,99% | 1522,58 | 108,07% | 1036,50 | 187,02% | 1015,41 | 115,09% | 1379,7675 | 115,79% |
| ABRIL | RADIASOL (WH/M ²) | 2516,00 | - | 3260,00 | - | 2516,00 | - | 1784,00 | - | 2519,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1490,66 | 68,78% | 1423,88 | 128,95% | 850,18 | 195,94% | 839,07 | 112,62% | 1150,9485 | 126,57% |
| MAIO | RADIASOL (WH/M ²) | 2083,00 | - | 3294,00 | - | 2083,00 | - | 1440,00 | - | 2225,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1193,49 | 74,53% | 1287,60 | 155,82% | 756,69 | 175,28% | 750,50 | 91,87% | 997,07 | 124,38% |
| JUNHO | RADIASOL (WH/M ²) | 1857,00 | - | 3148,00 | - | 1857,00 | - | 1284,00 | - | 2036,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 783,27 | 137,08% | 886,50 | 255,10% | 505,08 | 267,66% | 502,77 | 155,39% | 669,405 | 203,81% |
| JULHO | RADIASOL (WH/M ²) | 1832,00 | - | 2850,00 | - | 1832,00 | - | 1356,00 | - | 1967,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 789,22 | 132,13% | 874,37 | 225,95% | 560,05 | 227,11% | 556,92 | 143,48% | 695,14 | 182,17% |
| AGOSTO | RADIASOL (WH/M ²) | 2241,00 | - | 3234,00 | - | 2241,00 | - | 1590,00 | - | 2326,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1423,46 | 57,43% | 1470,90 | 119,87% | 819,61 | 173,42% | 808,65 | 96,62% | 1130,655 | 111,84% |
| SETEMBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 2557,00 | - | 2912,00 | - | 2557,00 | - | 1994,00 | - | 2505,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1631,17 | 56,76% | 1458,20 | 99,70% | 956,13 | 167,43% | 941,35 | 111,82% | 1246,7125 | 108,93% |
| OUTUBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3000,00 | - | 2920,00 | - | 3000,00 | - | 2354,00 | - | 2818,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2037,21 | 47,26% | 1555,51 | 87,72% | 1206,12 | 148,73% | 1184,52 | 98,73% | 1495,84 | 95,61% |
| NOVEMBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3586,00 | - | 2868,00 | - | 3586,00 | - | 2722,00 | - | 3190,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2289,80 | 56,61% | 1381,05 | 107,67% | 1260,89 | 184,40% | 1291,45 | 110,77% | 1555,7975 | 114,86% |
| DEZEMBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3616,00 | - | 2806,00 | - | 3616,00 | - | 2964,00 | - | 3250,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2160,13 | 67,40% | 1345,37 | 108,57% | 1328,53 | 172,18% | 1418,01 | 109,03% | 1563,01 | 114,29% |
| | | | | | | | | | | | |
| | | Erro Médio Leste | 69% | Erro Médio Norte | 134% | Erro Médio Oeste | 187% | Erro Médio Sul | 113% | Erro Médio Geral | 126,03% |

Tabela 6 - Comparação entre os dados de radiação solar incidente mês-a-mês nos planos verticais, arquivo climático: “TRY”.

| | SOFTWARE | LESTE | ERRO | NORTE | ERRO | OESTE | ERRO | SUL | ERRO | RADIAÇÃO MÉDIA | ERRO MÉDIO |
|-----------|-------------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-----------------------|------------|-------------------------|---------------|
| JANEIRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3544,00 | - | 2818,00 | - | 3544,00 | - | 2878,00 | - | 3196,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2861,28 | 23,86% | 1670,50 | 68,69% | 2309,52 | 53,45% | 1775,39 | 62,11% | 2154,1725 | 52,03% |
| FEVEREIRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3287,00 | - | 2956,00 | - | 3287,00 | - | 2510,00 | - | 3010,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2656,38 | 23,74% | 1885,68 | 56,76% | 2259,12 | 45,50% | 1529,84 | 64,07% | 2082,755 | 47,52% |
| MARÇO | RADIASOL (WH/M ²) | 2975,00 | - | 3148,00 | - | 2975,00 | - | 2184,00 | - | 2820,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1923,32 | 54,68% | 1836,03 | 71,46% | 1788,57 | 66,33% | 1270,75 | 71,87% | 1704,6675 | 66,08% |
| ABRIL | RADIASOL (WH/M ²) | 2516,00 | - | 3240,00 | - | 2516,00 | - | 1784,00 | - | 2514,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1911,27 | 31,64% | 2603,17 | 24,46% | 1757,38 | 43,17% | 867,72 | 105,60% | 1784,885 | 51,22% |
| MAIO | RADIASOL (WH/M ²) | 2083,00 | - | 3076,00 | - | 2083,00 | - | 1440,00 | - | 2170,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1409,10 | 47,82% | 2218,66 | 38,64% | 1262,53 | 64,99% | 766,83 | 87,79% | 1414,28 | 59,81% |
| JUNHO | RADIASOL (WH/M ²) | 1857,00 | - | 3048,00 | - | 1857,00 | - | 1284,00 | - | 2011,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1097,05 | 69,27% | 1977,89 | 54,10% | 993,02 | 87,01% | 612,27 | 109,71% | 1170,0575 | 80,02% |
| JULHO | RADIASOL (WH/M ²) | 1832,00 | - | 2754,00 | - | 1832,00 | - | 1356,00 | - | 1943,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1034,16 | 77,15% | 1709,21 | 61,13% | 939,27 | 95,05% | 602,92 | 124,91% | 1071,39 | 89,56% |
| AGOSTO | RADIASOL (WH/M ²) | 2241,00 | - | 3142,00 | - | 2241,00 | - | 1590,00 | - | 2303,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1362,88 | 64,43% | 1846,70 | 70,14% | 1302,76 | 72,02% | 861,26 | 84,61% | 1343,4 | 72,80% |
| SETEMBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 2557,00 | - | 2830,00 | - | 2557,00 | - | 1994,00 | - | 2484,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1413,42 | 80,91% | 1574,33 | 79,76% | 1401,67 | 82,43% | 1045,59 | 90,71% | 1358,7525 | 83,45% |
| OUTUBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3000,00 | - | 2904,00 | - | 3000,00 | - | 2354,00 | - | 2814,50 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 1751,95 | 71,24% | 1452,46 | 99,94% | 1573,82 | 90,62% | 1170,05 | 101,19% | 1487,07 | 90,75% |
| NOVEMBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3586,00 | - | 2838,00 | - | 3586,00 | - | 2722,00 | - | 3183,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2029,53 | 76,69% | 1581,28 | 79,47% | 2053,23 | 74,65% | 1562,78 | 74,18% | 1806,705 | 76,25% |
| DEZEMBRO | RADIASOL (WH/M ²) | 3616,00 | - | 2784,00 | - | 3616,00 | - | 2964,00 | - | 3245,00 | - |
| | ECOTECT (WH/M ²) | 2233,65 | 61,89% | 1559,30 | 78,54% | 2191,52 | 65,00% | 1659,81 | 78,57% | 1911,07 | 71,00% |
| | | | | | | | | | | | |
| | | Erro Médio Leste | 57% | Erro Médio Norte | 65% | Erro Médio Oeste | 70% | Erro Médio Sul | 88% | Erro Médio Geral | 70,04% |

Assim como para o plano vertical, as simulações realizadas utilizando o arquivo climático “TRY” apresentaram um erro inferior às simulações realizadas utilizando o arquivo climático “EPW”.

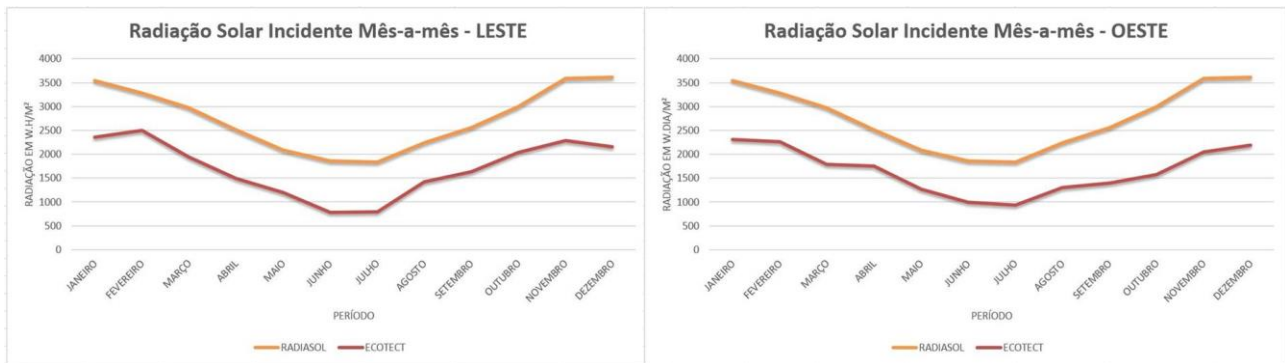


Figura 9 - Graficos da variação de radiação anual para os planos verticais Leste e Oeste utilizando os arquivos “EPW” e “TRY” respectivamente.

Quanto ao comportamento dos gráficos, ressalta-se, respectivamente, para os arquivos “EPW” e “TRY”, o desempenho coerente das simulações do *Ecotect* em relação às variações anuais apresentadas nos planos verticais Leste e Oeste. Comportamento que se repete também na fachada sul, não apresentada em forma de gráfico neste trabalho.

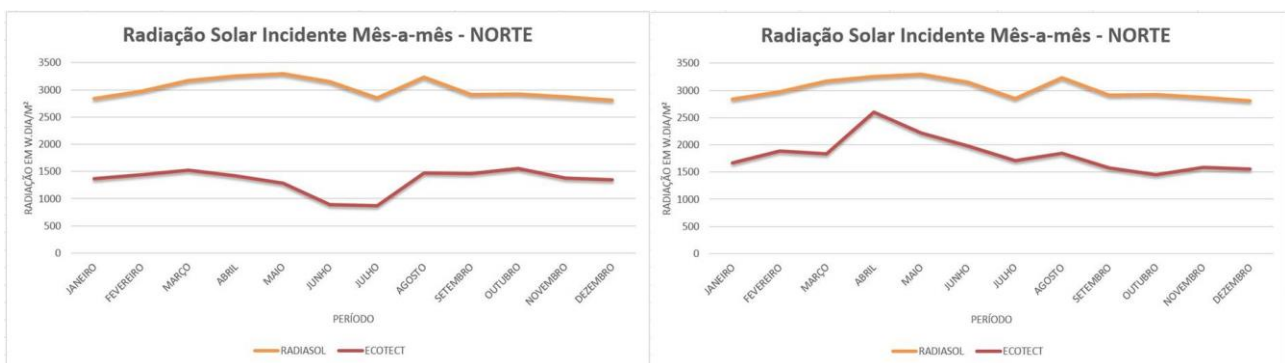


Figura 10 - Graficos da variação de radiação anual para o plano vertical Norte utilizando arquivos “EPW” e “TRY” respectivamente.

Já o plano vertical norte foi o que apresentou maiores divergências em relação aos valores de referencia. Entretanto, pode-se observar que da mesma maneira que ocorreu em relação ao plano horizontal, as simulações realizadas com o arquivo climático “TRY” apresentaram valores mais próximos e um comportamento mais semelhante aos valores de referencia.

5. CONCLUSÕES

Os resultados das análises de radiação incidente no plano horizontal demonstraram que o *Autodesk Ecotect Analisis* apresenta coerência nas simulações em relação às variações anuais, entretanto verificou-se que os valores resultantes das simulações foram normalmente inferiores aos valores de referencia, tanto dos próprios arquivos climáticos utilizados (lidos através do aplicativo *Climate Consultant*), quanto em relação aos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar. As simulações para o plano horizontal geraram erros médios anuais de 58%, para o arquivo “EPW” e 22%, para o arquivo “TRY” em relação aos valores de referencia do Atlas.

Para a radiação incidente nos planos verticais, o *Ecotect* seguiu apresentando coerência em relação às variações anuais para os planos Leste, Oeste e Sul, já para o plano vertical Norte este comportamento não é tão evidente, principalmente quando utilizado o arquivo climático “EPW”. Os valores resultantes das simulações nos planos verticais foram sempre inferiores aos valores de referencia, neste caso sendo comparados apenas aos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, tratados no aplicativo *Radiasol*. As simulações para os planos verticais geraram erros médios anuais 126,03% para o arquivo “EPW” e 70,04% para o arquivo “TRY” em relação aos valores de referencia do Atlas. O que indica que o *Ecotect* apresentou-se mais preciso para simulações da radiação incidente no plano horizontal que nos planos verticais.

Como uma das principais conclusões deste estudo, pode-se observar que em todos os casos as simulações realizadas com os arquivos “TRY” apresentaram menores erros em relação aos valores de

referencia, quando comparadas com as simulações realizadas com os arquivos “EPW”. Considerando que as simulações foram realizadas apenas para a cidade de Florianópolis.

As causas que diferem os resultados entre os arquivos climáticos “TRY” e “EPW”, assim como a variação entre os valores simulados e os valores de referencia, as quais abrangem questões de programação e tratamento de dados na elaboração dos arquivos climáticos, não estão compreendidas no escopo deste trabalho, que por sua vez se restringe à análise dos resultados fornecidos pela ferramenta computacional *Autodesk Ecotect Analysis*, seguindo suas corretas recomendações de utilização. Entretanto cabe enfatizar a magnitude dos erros encontrados nas simulações para os planos verticais empregando o arquivo climático “EPW” (erros médios anuais 126,03%), conseqüentemente desaconselhando sua utilização neste tipo de simulação de acordo com o método apresentado.

Por fim este estudo reforça que os valores obtidos nas simulações computacionais devem ser analisados criteriosamente, e sempre que possível, comparados com valores de referencia validados, presentes em bibliografias consagradas ou obtidos através de medições com equipamentos confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESK ECOTECT ANALYSIS - Disponível em: <www.autodesk.com>. Acesso em: 01 mar. 2014.

CLIMATE CONSULTANT – UCLA. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>>. Acesso em: 01 mai. 2014.

ECOTECT COMMUNITY WIKI! - Disponível em : <http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Display_Solar_Radiation_Values> . Acesso em: 24/03/2014.

GREENBERG, DONALD; PRATTC, KEVIN; HENCEY, BRANDO; JONESB, NATHANIEL; SCHUMANNB, LARS; DOBBSE, JUSTIN; DONGB, ZHAO; BOSWORTHB, DAVID; WALTERB, BRUCE. Sustain: An experimental test bed for building energy simulation. **Energy and Buildings**, n.58, p. 44–57. 2013.

LAMBERTS, ROBERTO; DUTRA, LUCIANO; RUTTKAY, FERNANDO (2014). **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional – BEN** 2013. Brasília: 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 01 out. 2013.

PEREIRA, ENIO BUENO. MARTINS, FERNANDO RAMOS. ABREU, SAMUEL LUNA DE. RÜTTER, RICARDO. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Divisão de Clima e Meio Ambiente – DMA, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. 1ª Edição. São José dos Campos, 2006.

YANG, LI; HE, BAO-JIE, YE, MIAO. Application Research of Ecotect in Residential estate planning. **Energy and Buildings**, n 72 p. 195-202. 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento e divulgação deste trabalho.