



Ministério da
Ciência e Tecnologia



SIMULADOR DE RADIÂNCIAS DE CANAIS DE SATÉLITES NO MCGA DO CPTEC

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE – CNPq/MCT)**

Gabriel Silva Dias

Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

DSA/CPTEC/INPE – MCT

E-mail: silvadias.gabriel@yahoo.com.br

Dr. Júlio Cesar Santos Chagas

Orientador

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

DSA/CPTEC/INPE – MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPE - MCT

E-mail: julio.chagas@cptec.inpe.br

Cachoeira Paulista, julho de 2012

**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROJETO: SIMULADOR DE RADIANCIAS DE CANAIS DE SATÉLITES NO
MCGA DO CPTEC**

**Relatório elaborado por GABRIEL SILVA DIAS relativo ao período de
Agosto de 2011 a Julho de 2012**

Gabriel Silva Dias - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: silvadias.gabriel@yahoo.com.br

Dr. Júlio Cesar Santos Chagas – Orientador
Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA/CPTEC/INPE – MCT
E-mail: julio.chagas@cptec.inpe.br

RESUMO

Este relatório descreve a primeira etapa da construção de um sistema capaz de simular radiâncias de canais de satélites a partir de previsões do modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE, ou seja, a implantação de um código de radiação que seja capaz de calcular radiâncias. Foi implantado o código de radiação de Edwards & Slingo, conjunto de programas e rotinas em FORTRAN que recebe como entrada variáveis que descrevem uma coluna atmosférica (entre outras: radiação solar incidente, perfis de concentração dos gases, de pressão e temperatura, posição e características das nuvens) e fornece como saída fluxos radiativos e perfis de taxas de aquecimento, estando também preparado para fornecer radiâncias. O código implantado foi testado no âmbito do programa CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes), que fornece dados de entrada de sete perfis atmosféricos e os fluxos de radiação de ondas curtas e longas, no topo da atmosfera e na superfície, tanto observados quanto calculados por modelos linha-a-linha. O CIRC vem se tornando nos últimos anos o padrão internacional para testes e validação de códigos radiativos de modelos atmosféricos. Nesse relatório serão descritos os procedimentos desenvolvidos para transformar os dados do CIRC em formato que pudesse ser lido pelo código radiativo (formatos CDL e netCDF). Serão apresentados e analisados os resultados obtidos com a aplicação do código aos casos do CIRC. O CIRC só disponibiliza dados de saída de fluxos radiativos, mas testar o código aqui implantado no modo fluxo é essencial para que se tenha confiança em seu funcionamento e em seus resultados; uma vez adquirida essa confiança, se poderá então passar a usá-lo, numa próxima etapa, para cálculos de radiâncias.

ABSTRACT

This report describes the first step of building a system able to simulate satellite channel radiances from model predictions of atmospheric general circulation (AGCM) CPTEC/INPE, that means, the implementation of a radiation code that is able to calculate radiances. The Edwards & Slingo radiation code was implemented; it is a set of programs and routines in FORTRAN which receives as input variables that describe an atmospheric column (for example: solar radiation, concentration profiles of gases, pressure and temperature, position and characteristics clouds) and provides as output radiative fluxes and profiles of heating rates and are also prepared to provide radiances. The implemented code was tested under the program CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes), which provides input data from seven atmospheric profiles and fluxes of short and long wave radiation at the top of the atmosphere and at surface, observed and calculated by line-by-line models. The CIRC has become in recent years the international standard for testing and validation of radiative codes of atmospheric models. This report describes the procedures developed to transform the data from the CIRC in a format that could be read by the radioactive source (CDL and netCDF formats). Also will be presented and analyzed the results obtained from the application of the code to the cases of the CIRC. The CIRC provides only output data of radiative fluxes, but to test the code that was implemented in flux mode is essential to gain confidence in their operation and results. Once gained that confidence, the code could be used in a next step for calculating radiances.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 - Porcentagem de radiação solar que é absorvida e transmitida por constituintes da atmosfera.....	2
Figura 4.1 - Perfil de fluxo para baixo, ondas longas	6
Figura 4.2 - Perfil de fluxo para cima, ondas longas	7
Figura 4.3 - Perfil de fluxo NET, ondas longas	7
Figura 4.4 - Perfil de taxa de aquecimento, ondas longas	8
Figura 4.5 - Perfil de fluxo difuso para baixo, ondas curtas.....	9
Figura 4.6 - Perfil de fluxo para cima, ondas curtas.	9
Figura 4.7 - Perfil de fluxo NET, ondas curtas.....	10
Figura 4.8 - Perfil de fluxo direto para baixo, ondas curtas.....	11
Figura 4.9 - Perfil de fluxo total para baixo, ondas curtas	11
Figura 4.10 - Perfil de taxa de aquecimento, ondas curtas.	12

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 4.1 - Comparação de ondas longas dos resultados obtidos com os resultados fornecidos pelo CIRC, em W/m^2	13
Tabela 4.2 - Comparação de ondas curtas dos resultados obtidos com os resultados fornecidos pelo CIRC, em W/m^2	13

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
3 O QUE FOI REALIZADO	5
4 RESULTADOS.....	6
5 CONCLUSÃO	14
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

1 INTRODUÇÃO

Segundo o princípio de Prévost, qualquer corpo com temperatura acima de 0 K emite e absorve radiação.

Para compreender melhor a absorção e a emissão de energia eletromagnética, deve-se analisar a estrutura atômica. Num átomo, os elétrons assumem características vibratórias específicas, cada qual correspondendo a um estado de energia muito bem definido.

O estado fundamental corresponde ao nível mais baixo, os demais são chamados excitados. Quanto maior for o grau de excitação de um elétron, mais afastada do núcleo estará a sua "esfera vibratória" e maior sua energia. No entanto, um elétron não pode assumir qualquer estado de excitação. Assim, apenas certos níveis discretos de energia são possíveis.

A passagem de um elétron excitado de um nível de energia (E_2) para o imediatamente inferior (E_1) só acontece se houver emissão de uma pequena quantidade de radiação, chamada quantum (ΔE). A quantidade de energia emitida é proporcional à frequência (ν) da radiação produzida durante essa mudança de nível: $\Delta E = E_2 - E_1 = h \nu$, sendo $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J s (a constante de Planck).

De modo inteiramente análogo, a passagem do elétron de um estado de excitação (E_1) para outro (E_2), imediatamente superior, implica a absorção da mesma quantidade de radiação (ΔE) consumida no processo inverso.

Denomina-se de fluxo de radiação (F_e) à quantidade de energia radiante (Q_e) recebida, transmitida ou emitida por unidade de tempo, ou seja: $F_e = dQ_e / dt$.

A unidade recomendada internacionalmente para exprimir o fluxo radiativo é o watt (W).

Ao fluxo de radiação por unidade de área costuma-se chamar densidade de fluxo radiante, porém, nesse trabalho, chamaremos simplesmente de fluxo de radiação, e será expresso em W/m^2 (Watt por unidade de área).

A propagação de radiação também atua como um mecanismo para troca de energia entre a atmosfera (Figura 1) e a superfície subjacente e entre diferentes camadas da atmosfera. Ela desempenha um importante papel em uma série de reações químicas nas camadas altas da atmosfera e na formação de “smog” fotoquímico. As propriedades de transferência na faixa visível da radiação determinam a visibilidade, a cor do céu e a aparência das nuvens. Radiação infravermelha emitida pela atmosfera e interceptada por satélites constitui a base do sensoriamento remoto da estrutura da temperatura e da composição atmosféricas (Wallace & Hobbs, 1997).

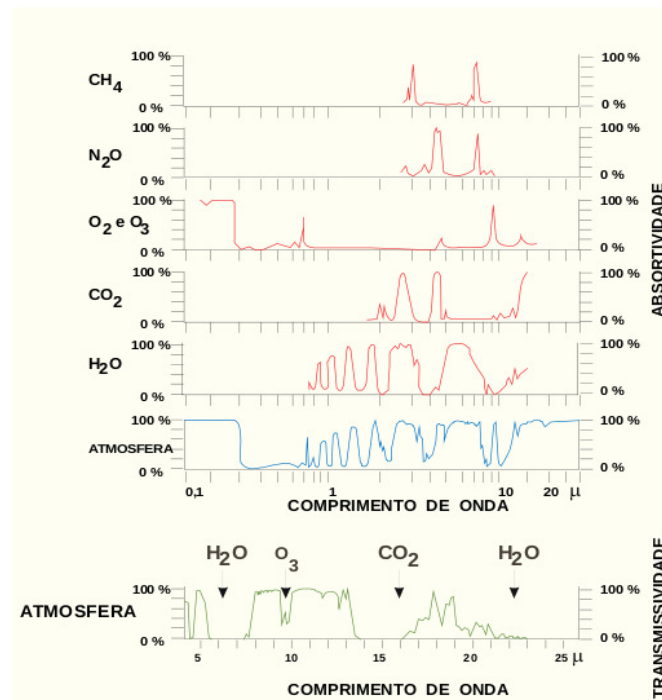


Figura 1 – Porcentagem da radiação solar que é absorvida (acima) e transmitida (abaixo) por constituintes da atmosfera.

Fonte: Varejão-Silva(2006).

Em relação a uma área de controle, plana, horizontal e situada próximo à superfície terrestre, chama-se saldo de radiação à diferença entre os ganhos (fluxos descendentes) e as perdas (fluxos ascendentes) radiativas, que nesse

trabalho chamaremos de Fluxo NET. A área de controle não necessariamente está situada próximo à superfície terrestre.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse projeto é construir um sistema para simular as radiâncias que seriam observadas por canais de satélites para uma determinada condição atmosférica gerada pela integração do modelo de circulação geral atmosférica (MCGA) do CPTEC. Trata-se de criar uma “imagem de satélite sintética” baseada em saídas do modelo no tempo futuro (previsões). Duas aplicações principais imediatas são previstas para essas imagens sintéticas: 1) avaliar o desempenho do MCGA, comparando-se diretamente as radiâncias geradas pelo simulador com as radiâncias posteriormente observadas pelos satélites e 2) gerar, para um tempo futuro, produtos derivados de radiâncias como, por exemplo, estimativas de precipitação, usando algoritmos atualmente em uso na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC. Uma terceira aplicação seria oferecer à equipe dos previsores de tempo um novo produto para assessorar a previsão. Embora o enfoque inicial seja o MCGA do CPTEC, o sistema terá possibilidade de ser aplicado a outros modelos de previsão como, por exemplo, os modelos regionais que são operados pelo CPTEC.

3 O QUE FOI REALIZADO

Foram realizados estudos sobre o funcionamento do código de Edwards e Slingo (1996). Periodicamente o grupo do UK Met Office disponibiliza o código, para auxiliar seu entendimento existe o documento interno de Edwards e Manners (2007) que pode ser encontrado na página do UK Met Office. A versão utilizada neste trabalho é datada de novembro de 2009. O código foi escrito para utilizar como entrada arquivos em formato CDL (Common Data form Language) e também netCDF (Common Data Format). A manipulação dos arquivos exige o uso de softwares específicos, que transformam arquivos no formato CDL para o formato netCDF, e vice-versa.

Para validar o código em uma coluna, foram desenvolvidas rotinas em FORTRAN para ler dados do CIRC (Continual Intercomparison of Radiation Codes) e escrevê-los em uma disposição específica para que posteriormente pudessem ser transformados para o formato netCDF.

No início das atividades, houve alguns problemas relacionados às bibliotecas necessárias para a manipulação dos arquivos no formato netCDF. Após solucionado esse problema, foi possível obter valores de fluxo e valores de taxa de aquecimento a partir de dados de entrada no formato netCDF que estão como exemplo no código distribuído pelo grupo do UK Met Office, que correspondem ao perfil atmosférico do caso 6 do CIRC.

4 RESULTADOS

Alguns gráficos para ilustrar fluxos para baixo, para cima, difuso, direto, NET e também taxas de aquecimento foram feitos para ondas longas e ondas curtas utilizando o software Gnuplot, com a finalidade de comparar com os resultados fornecidos pelo CIRC. Perfis verticais de fluxo comparando o exemplo fornecido pelo código ESRAD com os dados de entrada adquiridos por esse trabalho, ambos referentes ao caso 6 do CIRC para ondas longas (Figuras 4.1 a 4.4) e também para ondas curtas (Figuras 4.5 a 4.10):

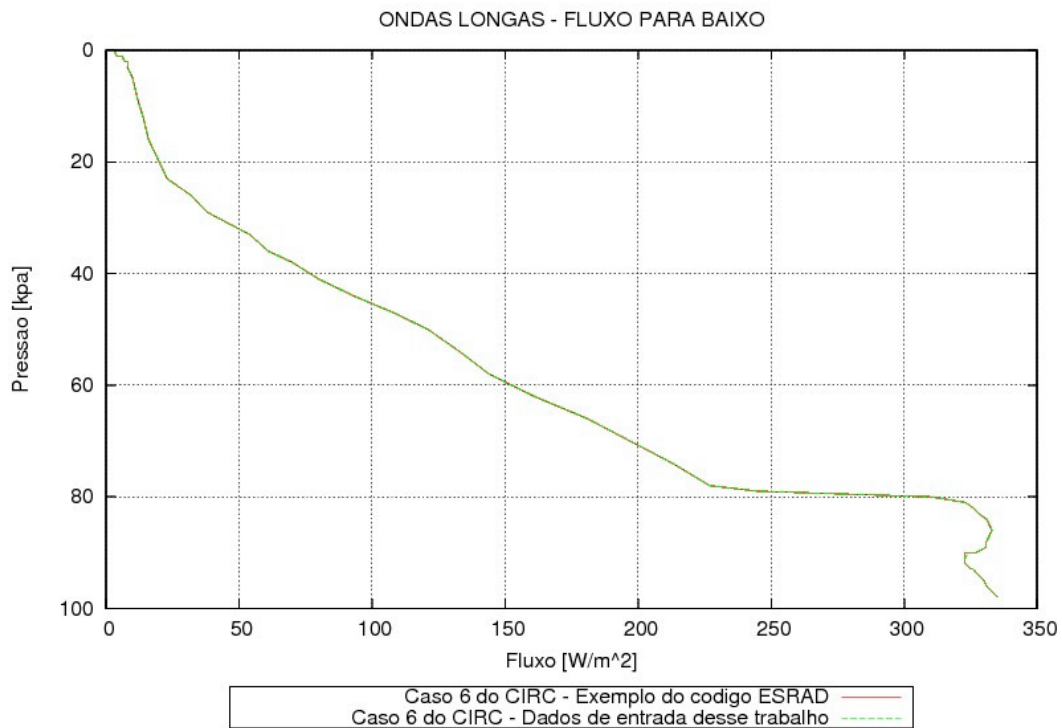


Figura 4.1 – Perfil de Fluxo para baixo, ondas longas.

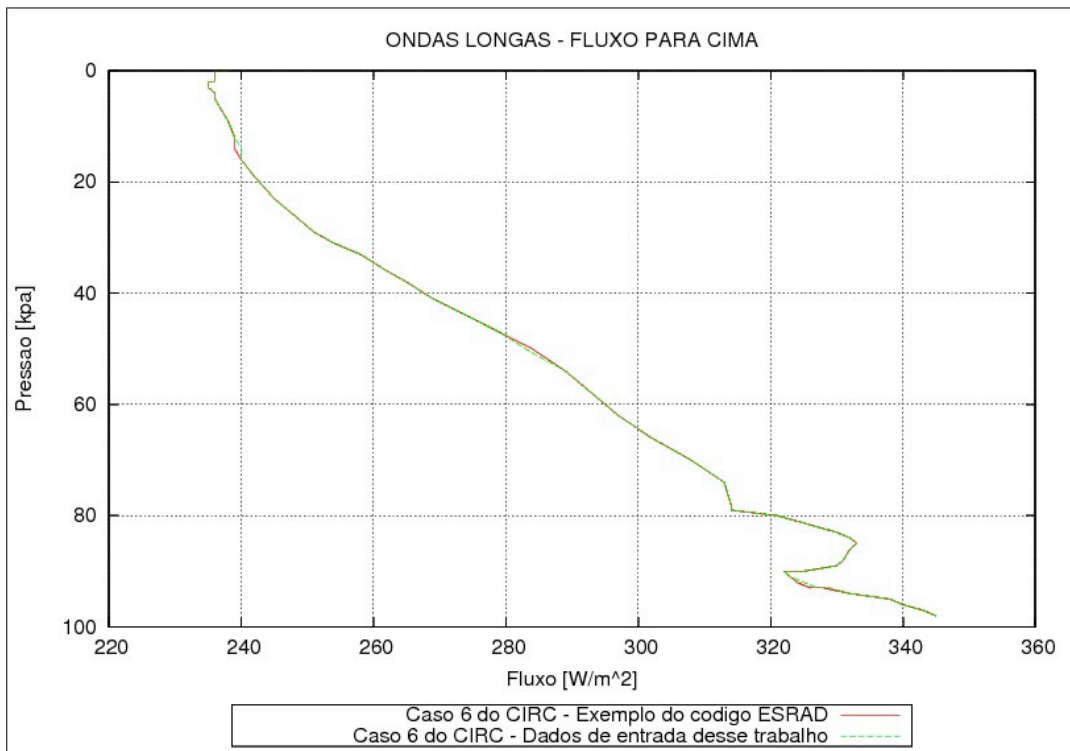


Figura 4.2 – Perfil de Fluxo para cima, ondas longas.

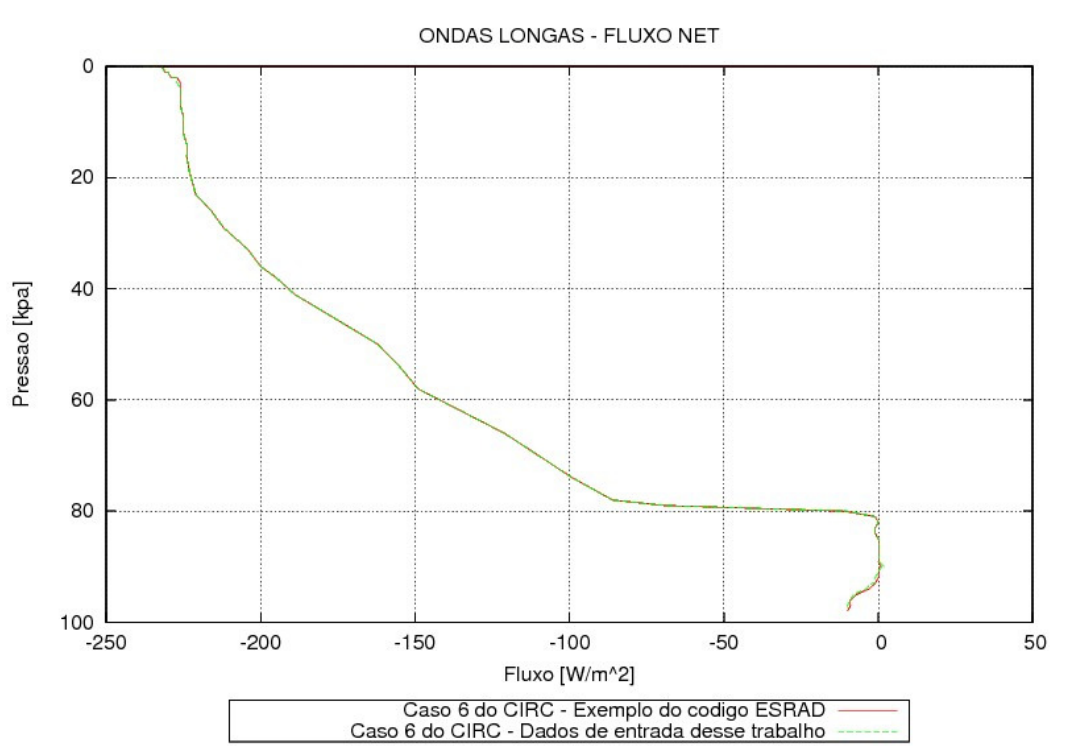


Figura 4.3 – Perfil de Fluxo NET, ondas longas.

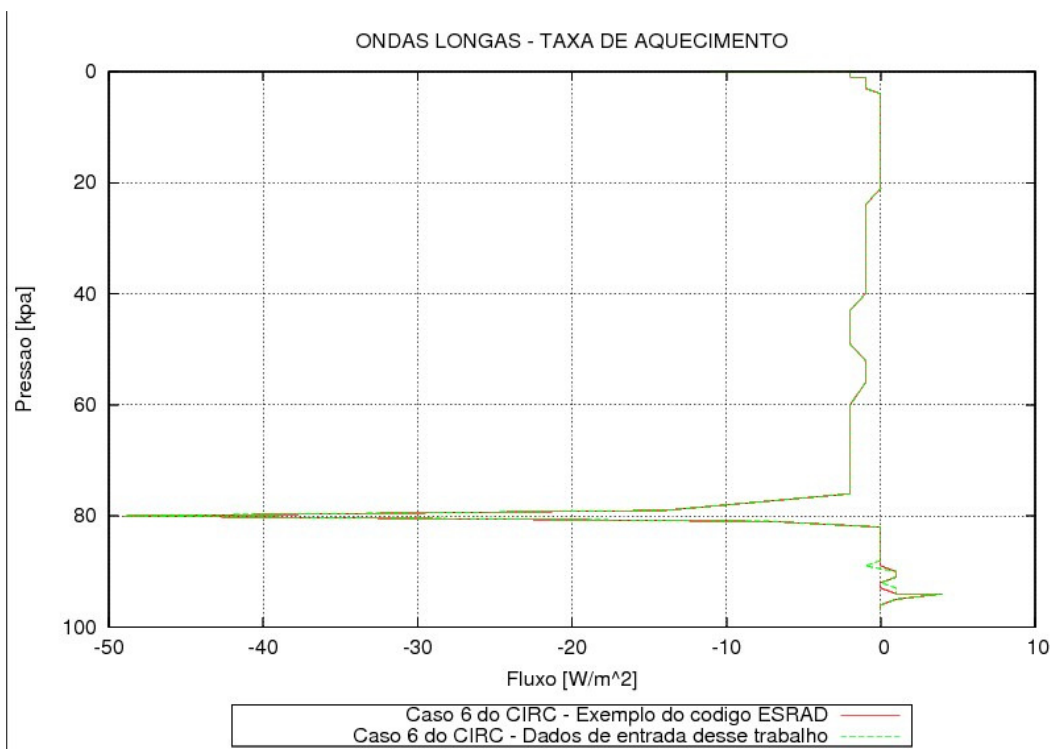


Figura 4.4 – Perfil de taxa de aquecimento, ondas longas.

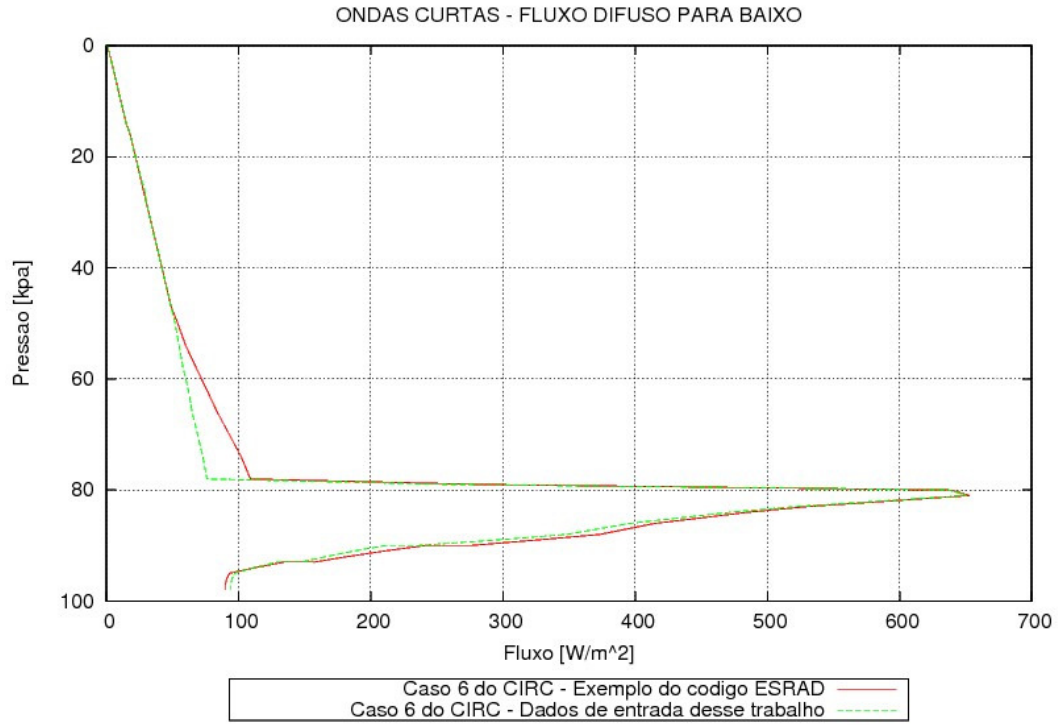


Figura 4.5 – Perfil de Fluxo difuso para baixo, ondas curtas.

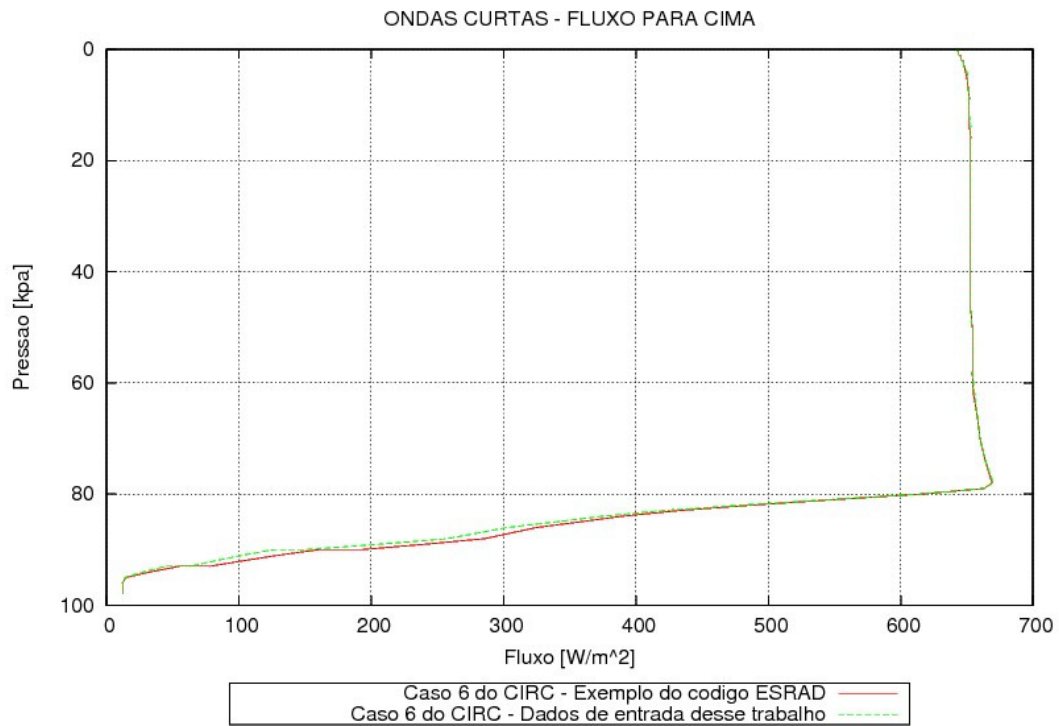


Figura 4.6 – Perfil de Fluxo para cima, ondas curtas.

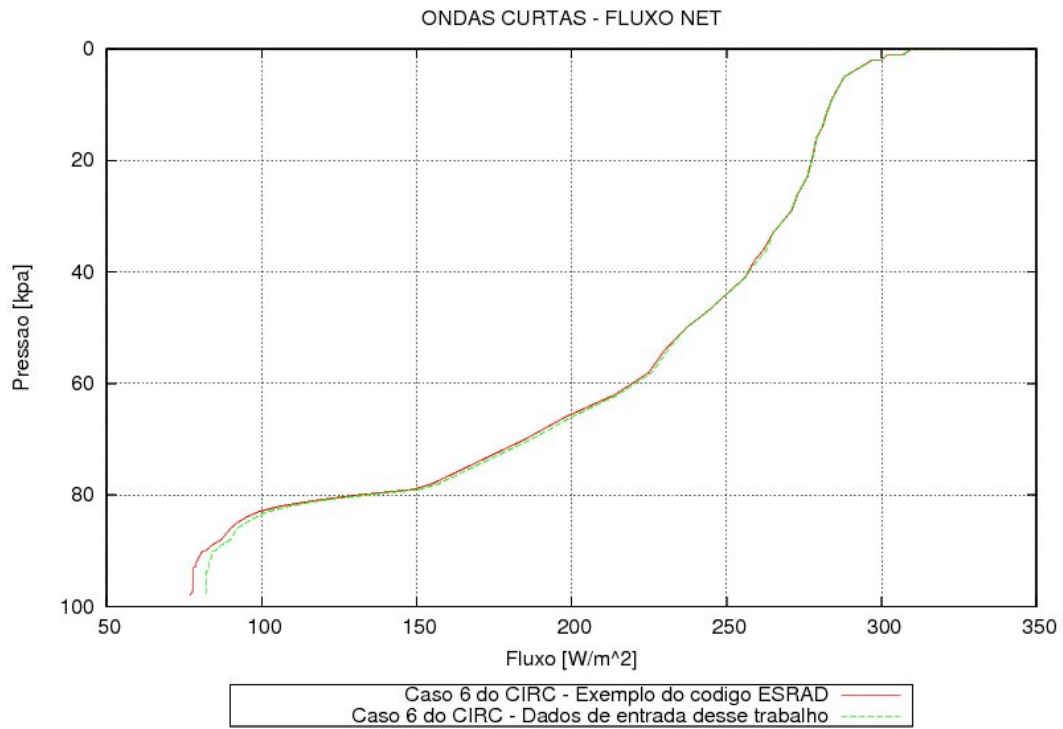


Figura 4.7 – Perfil de Fluxo NET, ondas curtas.

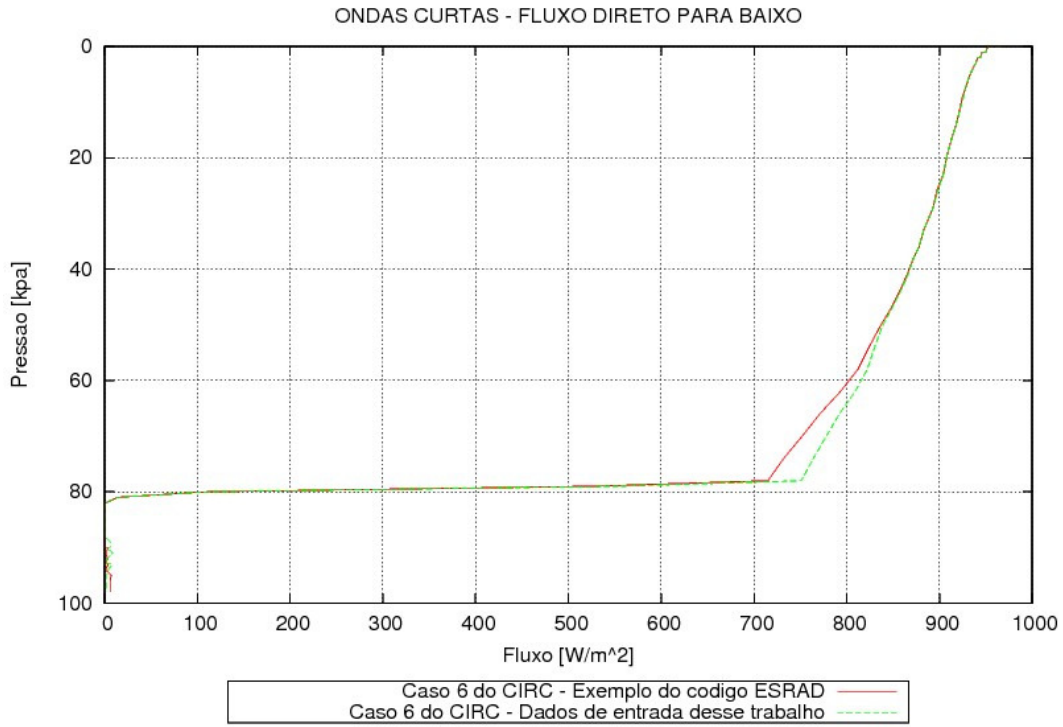


Figura 4.8 – Perfil de Fluxo direto para baixo, ondas curtas.

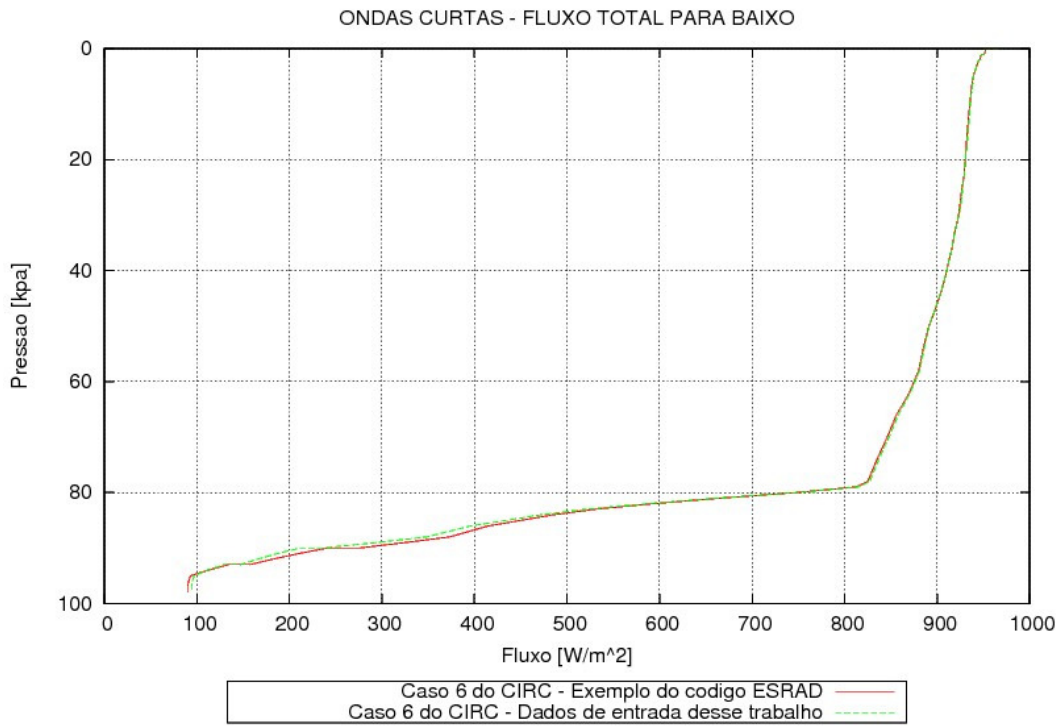


Figura 4.9 – Perfil de Fluxo total para baixo, ondas curtas.

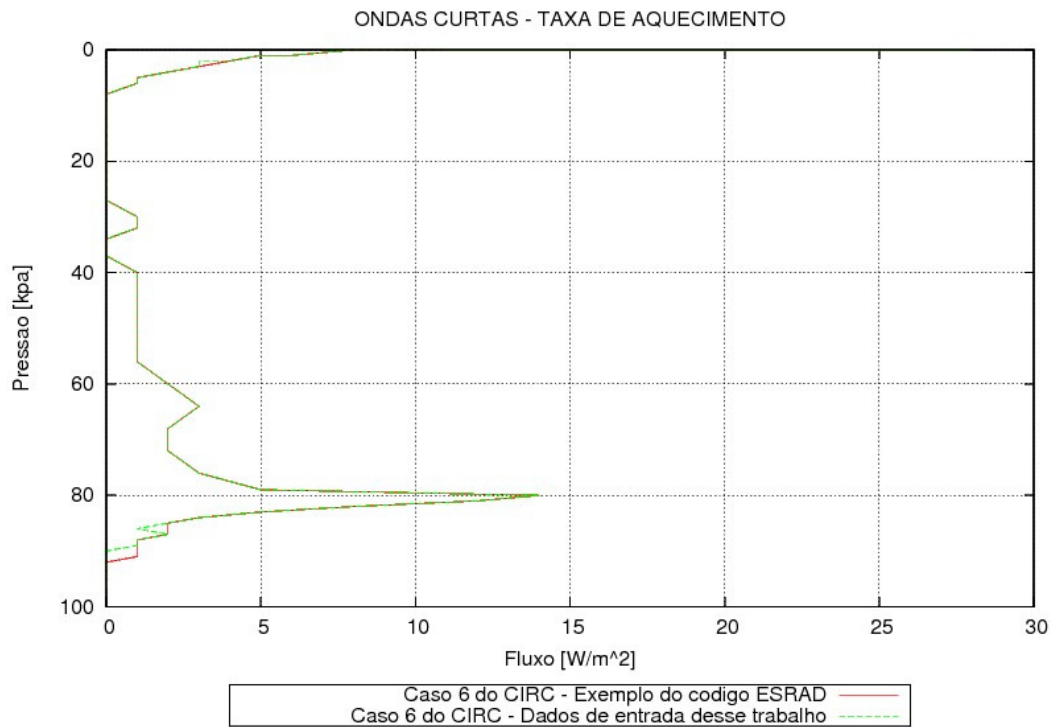


Figura 4.10 – Perfil de taxa de aquecimento, ondas curtas.

O código ESRAD não fornece exemplos de fluxos para os demais casos do projeto CIRC. Porém no endereço eletrônico do programa CIRC são divulgados os valores de fluxos de ondas longas e de ondas curtas. As tabelas 4.1 e 4.2 comparam os valores de referência divulgados pelo CIRC e os valores obtidos nesse trabalho.

Tabela 4.1 – Comparação dos fluxos de ondas longas obtidos nesse trabalho com os resultados fornecidos pelo CIRC, em W/m².

		Ondas Longas	
		Para baixo na superfície	Para cima no topo da atmosfera
Caso 1	Valores Obtidos	287.4	307.2
	Referência CIRC	289.7 / 288.2	301.7 / 304.3
Caso 2	Valores Obtidos	439.9	293.3
	Referência CIRC	441.8 / 439.3	288.6 / 292.6
Caso 3	Valores Obtidos	333.1	281.9
	Referência CIRC	336.4 / 333.0	277.6 / 280.8
Caso 4	Valores Obtidos	191.6	230.2
	Referência CIRC	194.7 / 192.4	229.1 / 230.5
Caso 5	Valores Obtidos	194.5	229.1
	Referência CIRC	195.7	229.2
Caso 6	Exemplo código ESRAD	335.4	238.1
	Valores Obtidos	335,0	238.1
	Referência CIRC	339.0 / 335.2	234.8 / 241.8
Caso 7	Valores Obtidos	372.9	279.2
	Referência CIRC	373.2 / 372.6	284.0 / 280.2

Fonte: http://circ.gsfc.nasa.gov/results_table.html

Em vermelho, valores obtidos pelo LBLRTM (Line-By-Line Radiative Transfer Model);

Em preto, valores observados pelo CIRC.

Tabela 4.2 – Comparação dos fluxos de ondas curtas obtidos nesse trabalho com os resultados fornecidos pelo CIRC, em W/m².

		Ondas Curtas		
		Total para baixo na superfície	Difuso para baixo na superfície	Para cima no topo da atmosfera
Caso 1	Valores Obtidos	722.2	50.9	165.3
	Referência CIRC	705.9 / 701.2	69.4 / 67.7	169.8 / 175.0
Caso 2	Valores Obtidos	385.8	41.5	100.2
	Referência CIRC	345.4 / 348.0	92.5 / 94.2	127.8 / 117.1
Caso 3	Valores Obtidos	792.1	50.3	160.6
	Referência CIRC	772.5 / 773.1	98.0 / 98.0	159.6 / 173.6
Caso 4	Valores Obtidos	657.8	79.4	435.3
	Referência CIRC	638.9 / 642.8	156.4 / 155.2	425.8 / 422.9
Caso 5	Valores Obtidos	656.1	79.4	434.9
	Referência CIRC	641.3	155.1	422.7
Caso 6	Exemplo código ESRAD	905.5	905.5	642.1
	Valores Obtidos	948.8	948.8	642.4
	Referência CIRC	97.6 / 92.1	96.8 / 92.1	623.2 / 628.8
Caso 7	Valores Obtidos	550.6	427.2	304.4
	Referência CIRC	479.8 / 473.7	471.8 / 473.6	356.0 / 356.4

Fonte: http://circ.gsfc.nasa.gov/results_table.html

Em vermelho, valores obtidos pelo CIRC utilizando o código CHARTS (Code for High-Resolution Accelerated Radiative Transfer with Scattering);

Em preto, valores observados pelo CIRC.

5 CONCLUSÃO

Foram realizados estudos sobre o funcionamento do código de Edwards e Slingo (1996) e foi implantado o código para o cálculo de fluxos e taxas de aquecimento, primeira etapa na construção de um simulador de radiancias de imagens de satélites. Periodicamente o grupo do UK Met Office disponibiliza o código aos usuários interessados. Para auxiliar seu entendimento, existe o documento interno de Edwards e Manners (2007) que pode ser encontrado na página internet do UK Met Office. O objetivo principal do projeto, cujo passo inicial foi aqui descrito, é a construção de um sistema para simular radiancias de canais de satélites a partir de previsões do modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE. Utilizando o código ESRAD alimentado com dados de perfis atmosféricos do programa CIRC foram gerados fluxos para ondas longas e curtas. Alguns valores de taxas de aquecimento e fluxos foram obtidos e comparados aos do CIRC através de gráficos gerados pelo software Gnuplot.

Para o caso 6 do CIRC foi possível gerar bons resultados com valores bem próximos aos previstos, como se pode notar na tabela comparativa. Para os demais casos não houve problemas com os fluxos para ondas longas, porém para ondas curtas houve, em alguns casos, valores com grandes diferenças entre os esperados pelo CIRC e os obtidos por esse trabalho. O motivo desta discrepância de valores ainda não é conhecida até o momento e demandaria análises que, devido à pouca disponibilidade de tempo, não puderam ser feitas no âmbito desse trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAGAS, J. C. S.; BARBOSA, H. M. J. INCORPORATION OF THE UK MET OFFICE'S RADIATION SCHEME INTO CPTEC'S GLOBAL MODEL. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, INPE-15393-NTC/376, 86 P., 2008 <[HTTP://MTC-M18.SID.INPE.BR/REP/SID.INPE.BR/MTC-M18@80/2008/10.20.18.24](http://MTC-M18.SID.INPE.BR/REP/SID.INPE.BR/MTC-M18@80/2008/10.20.18.24)>

EDWARDS, J. M.; MANNERS, JAMES. USER'S GUIDE TO THE OFFLINE RADIANCE CODE. MET OFFICE, EXETER UK, 63 P., 2007. <WWW.MET.RDG.AC.UK/~LEM/LARGE_MODELS/ESRAD/.../USERGUIDE110107.PS>

EDWARDS, J. M.; SLINGO, A. STUDIES WITH A FLEXIBLE NEW RADIATION CODE. I: CHOOSING A CONFIGURATION FOR A LARGE-SCALE MODEL. Q. J. R. METEOROL. SOC., 122, 689-719, 1996.

ELLINGSON, R. G.; ELLIS, J. E. FELS, S. THE INTERCOMPARISON OF RADIATION CODES USED IN CLIMATE MODELS: LONG WAVE RESULTS. J. GEOPHYS. RES., 96(D5):8929-8953, 1991.

LUTHER, F. M.; ELLINGSON, R. G.; FOUQUART, Y.; RADIATION IN CLIMATE MODELS (ICRCCM): LONGWAVE CLEAR-SKY RESULTS – A WORKSHOP SUMMARY, BULL. AM. METEOROL. SOC., 69,40 – 48, 1988.

RINGER, M. A.; EDWARDS, J. M.; SLINGO, A. SIMULATION OF SATELLITE CHANNEL RADIANCES IN THE MET OFFICE UNIFIED MODEL. Q. J. R. METEOROL. SOC., 129, 1169-1190, 2003.

http://circ.gsfc.nasa.gov/results_table.html (site acessado em 12 de julho de 2011)