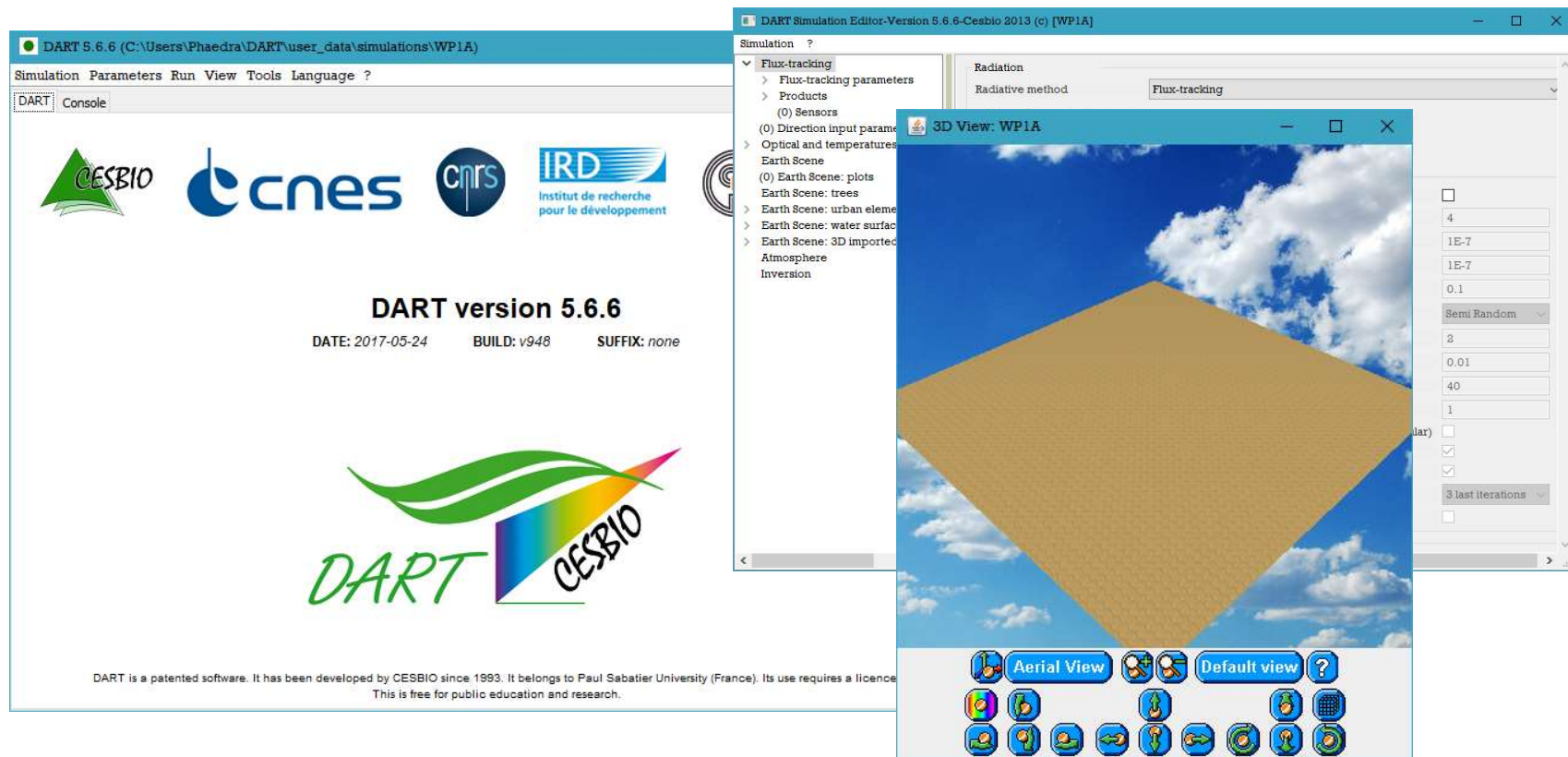


Exercícios no modelo DART 3D: Work Package 1A

Autor: Douglas Galimberti Barbosa
Orientador: Cristiano Lima Hackmann

1. Introdução

- Work Packages (WPs) visam ajudar iniciantes a familiarizarem-se com o modelo DART 3D e suas funções.



2. Objetivos

- Aprender as funcionalidades básicas do DART:
 - a) Criar *Earth Scenes* (geometria, propriedades ópticas);
 - b) Criar simulações mono-band (1 banda) e multi-band (N bandas);
 - c) Visualizar imagens e gráficos;
 - d) Computar e visualizar espectro e distribuição radiativa (radiative budget) de cenas.

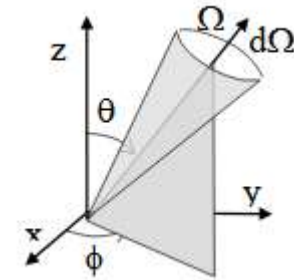
3. Parâmetros

"Flux-tracking"	<i>Radiative method</i> : Flux-tracking <i>Transition</i> : $TOA \leftrightarrow BOA$: Analytic model
"Advanced mode"	<i>Number of threads in DART tracking</i> : Nb_ cores of your computer
"Flux tracking"/.../"Spectral band"	Mode R, $\lambda_{mean}=0.705\mu m$, $\Delta\lambda=0.01\mu m \Rightarrow [0.70\mu m \ 0.71\mu m]$
"Flux tracking" / "Products" / "BRF/BTF"	<i>All iteration products</i> <input checked="" type="checkbox"/>
	<i>Radiance Products</i> <input checked="" type="checkbox"/>
	<i>Maximal zenith angle of images</i> : 30° <i>OrthoImages and irradiance</i> : <i>Energy conservation</i> <i>Exitance and Albedo images</i> <input checked="" type="checkbox"/>
"Optical & Temperature properties" / "Lambertian"	<i>Name</i> : "Lamb_ro=0.50". <i>Database</i> : Lambertian <i>Reflectance model</i> : reflect_equal_1_trans_equal_0_0 <i>Multiplicative factor (same for all bands)</i> : <input checked="" type="checkbox"/> (0.5, 0, 0, 0) $\Rightarrow \rho=0.5$
"Earth scene"	<i>Cell</i> : $\Delta x=\Delta y=1m$, $\Delta z=1m$. <i>Scene</i> : $\Delta X=50m$, $\Delta Y=50m$ <i>Phase function's name</i> : Lamb_ro=0.50

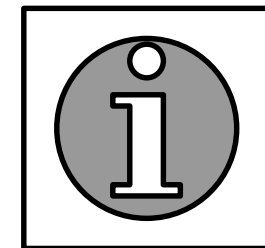
3.1 Métodos de Transferência Radiativa

"Flux-tracking"	<i>Radiative method:</i> Flux-tracking <i>Transition:</i> $TOA \leftrightarrow BOA$: Analytic model
-----------------	---

Flux-tracking: um dos modos de operação do DART. Este modo rastreia fluxos de radiação emitida e espalhada dentro de cones angulares (GASTELLU ET AL., 2012).



Analytic Model: E_{BOA} é derivado de E_{TOA} com a função $f_{analytic}$.



3.1.1 Modelo Analítico

Approximate analytical derivation of $E_{s,BOA}$ for scene altitude z , using DART $E_{s,TOA}$ and atmosphere database:

- Gas model: transmittance for absorption $T_{gas,abs} = \prod_i T_{gas,abs,i}$ and scattering $T_{gas,scat}$. Scattering optical depth $\Delta\tau_{gas,scat} = -\ln(T_{gas,scat})$

- Aerosol model: optical depth $\Delta\tau_{aero}$, single scattering albedo $\omega_{aero} \Rightarrow \Delta\tau_{aero,scat} = \omega_{aero} \cdot \Delta\tau_{aero}$, $T_{aero,abs} = e^{-(1-\omega_{aero}) \cdot \Delta\tau_{aero}}$

$$E_{BOA,\lambda} = \frac{E_{TOA,\lambda}}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta\tau_{gas,scat,\lambda} \cdot l_g}{\mu'_{gas}} + \frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta\tau_{aero,scat,\lambda} \cdot l_a}{\mu'_{aero}}} \cdot [T_{gas,abs,\lambda}]^{m'_g} \cdot [T_{aero,abs,\lambda}]^{m'_a} \quad (\text{Eq. 1: approx.. of 2 flux R.T. model})$$

$$\mu' = \frac{1}{-\eta \cdot \mu + \sqrt{\eta^2 \cdot \mu^2 + 2\eta + 1}} \quad (\mu' = 0.0126 \text{ if } \mu = 0), \quad \eta = \frac{\text{Earth radius } R_T}{\text{Height scale } H}, \quad \mu = \cos\theta, \quad R_T = 6340\text{km}, \quad H_{gas} = 9\text{km}, \quad H_{aero} = 2\text{km}, \quad l_g = e^{\frac{-z}{H_{gas}}}, \quad l_a = e^{\frac{-z}{H_{aero}}}, \quad m'_a = \frac{l_a}{\mu'_{aero}}, \quad m'_g = \frac{l_g}{\mu'_{gas}}$$

$$\text{Band data (trapezoidal method): } E_{BOA,\Delta\lambda} = \frac{\int_{\Delta\lambda} E_{BOA,\lambda} \cdot d\lambda}{\Delta\lambda}, \quad Q_{\Delta\lambda} = \frac{\int_{\Delta\lambda} Q_{\lambda} \cdot E_{BOA,\lambda} \cdot d\lambda}{E_{BOA,\Delta\lambda}}, \quad \Delta\tau_{\Delta\lambda} = \frac{\int_{\Delta\lambda} \Delta\tau_{\lambda} \cdot E_{BOA,\lambda} \cdot d\lambda}{E_{BOA,\Delta\lambda}}, \quad SKYL_{\Delta\lambda} = \frac{\int_{\Delta\lambda} SKYL_{\lambda} \cdot E_{BOA,\lambda} \cdot d\lambda}{E_{BOA,\Delta\lambda}}$$

$$SKYL_{\lambda} = \frac{E_{BOA} - E_{TOA} [e^{-\Delta\tau_{gas,scat} \cdot T_{gas,abs}^{\downarrow}}]^{m'_g} \cdot [e^{-\Delta\tau_{aero,scat} \cdot T_{aero,abs}^{\downarrow}}]^{m'_a}}{E_{BOA}} = 1 - \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta\tau_{gas,scat}}{\mu'_{gas}} \cdot l_g + \frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta\tau_{aero,scat}}{\mu'_{aero}} \cdot l_a \right) \cdot e^{-\Delta\tau_{gas,scat} \cdot m'_g} \cdot e^{-\Delta\tau_{aero,scat} \cdot m'_a}$$

Example : $\{\lambda = 1\mu\text{m}, \theta_s = 30^\circ, \text{gas "US Standard", aerosols "Rural", VIS} = 23\text{km}\}$

Atmosphere database $\Rightarrow T_{abs,gas} = 0.999, T_{scat,gas} = 0.991, \Delta\tau_{aerosol} = 0.142, E_{s,TOA} = 636 \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$

$$\Rightarrow E_{s,BOA,direct} = E_{s,TOA} \cdot [T_{abs,gas} \cdot T_{scat,gas} \cdot \exp(-\Delta\tau_{aerosol})]^{1/\cos(\theta_s)} \approx 0.83 \cdot E_{s,TOA} \approx 534 \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$$

Analytic model: $E_{BOA} = 605 \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$. DART RT: $E_{BOA} = 617 \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$, $E_{BOA,direct} = 534 \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$, $E_{BOA,diffuse} = 83.4 \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$

Table 2. The analytic model $f_{analytic} \cdot E_{s,BOA,diffuse} = SKYL_{\Delta\lambda} \cdot E_{BOA,\Delta\lambda} \cdot E_{s,BOA,direct} = (1 - SKYL_{\Delta\lambda}) E_{BOA,\Delta\lambda}$

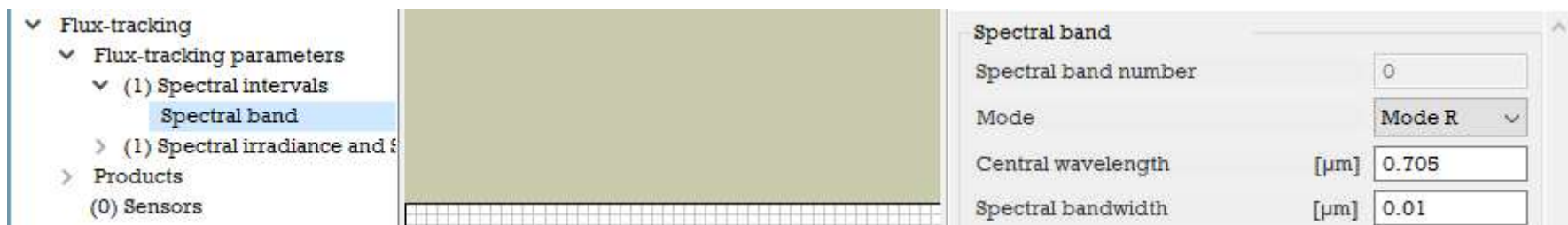
3.2 Processamento e Bandas Espectrais

"Advanced mode"	<i>Number of threads in DART tracking: Nb_cores of your computer</i>
"Flux tracking"/.../"Spectral band"	Mode R, $\lambda_{\text{mean}}=0.705\mu\text{m}$, $\Delta\lambda=0.01\mu\text{m} \Rightarrow [0.70\mu\text{m} \ 0.71\mu\text{m}]$

Number of threads in DART tracking: DART aplicará multi-threading para acelerar o processamento. Será implementado em iluminação, espalhamento e na função do cálculo de transferência na atmosfera.

Mode R: Modo Reflectância -> O Sol é a única fonte de radiação. Atmosfera é uma fonte secundária (GASTELLU ET AL., 2012).

Comprimento de onda central = 0.705 μm ; Banda espectral = 0.01 μm .



3.3 Produtos e Ângulos de Visada

"Flux tracking" / "Products" / "BRF/BTF"	<i>All iteration products</i> ☑
	<i>Radiance Products</i> ☑ <i>Maximal zenith angle of images: 30°</i> <i>OrthoImages and irradiance: Energy conservation</i> <i>Exitance and Albedo images</i> ☑

All iteration products: resultados obtidos a cada iteração serão armazenados.

Radiance products: resulta em produtos de imagens de radiância ($\text{W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$).

Maximal zenith angle of images: isso é um limite do ângulo zenital das direções de visada; somente imagens com ângulo zenital menor que este limite serão armazenadas (para economizar memória).

OrthoImages and irradiance: Energy Conservation -> imagens são duplicadas para melhor interpretação visual.

Exitance and Albedo images: imagens de Irradiância, Emitância e Albedo.

3.4 Propriedades Ópticas e de Temperatura

"Optical & Temperature properties" / "Lambertian"	<u>Name</u> : "Lamb_ro=0.50". <u>Database</u> : Lambertian <u>Reflectance model</u> : reflect_equal_1_trans_equal_0_0 <u>Multiplicative factor (same for all bands)</u> : <input checked="" type="checkbox"/> (0.5, 0, 0, 0) $\Rightarrow \rho=0.5$
---	---

Lambertian property name: proporção de fótons interceptados ao longo de uma direção e espalhados dentro de um ângulo sólido ao longo de uma dada direção. Definição de uma reflectância $p = 0.50$, nomeada "Lamb_ro=0.50".

Lambertian database: base de dados de reflectância.

Reflectance model: *reflect_equal_1_trans_equal_0_0* -> nome da base espectral (arquivo de texto) utilizada para computar a função de fase espectral.

Multiplicative factor (same for all bands): quando selecionado, os valores dos parâmetros de cada banda espectral serão igualados a estes parâmetros.

Reflectância = 0.50

Transmitância difusa: 0

Transmitância direta: 0

Intensidade especular: 0

3.5 Earth Scene – Dimensões e Propriedades

"Earth scene"	<u>Cell</u> : $\Delta x = \Delta y = 1\text{m}$, $\Delta z = 1\text{m}$. <u>Scene</u> : $\Delta X = 50\text{m}$, $\Delta Y = 50\text{m}$ <u>Phase function's name</u> : $\text{Lamb_ro} = 0.50$
---------------	--

Earth Scene: criação de um terreno horizontal (50m x 50m), com células discretas de 1m^3 , com a já definida propriedade óptica de reflectância: " $\text{Lamb_ro} = 0.50$ ".

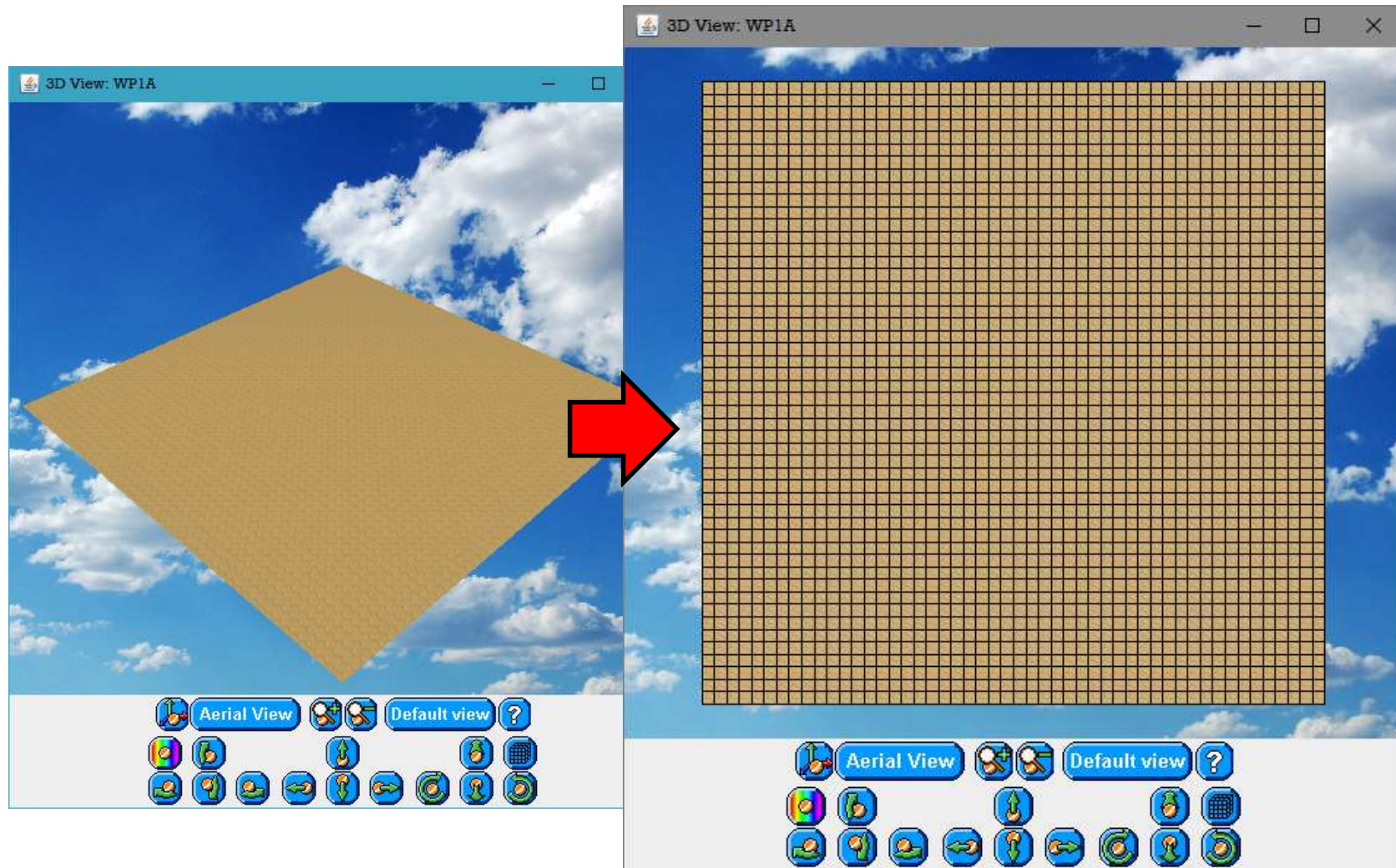
Cell: dimensões das células tridimensionais (X, Y e Z); Scene: dimensões da cena (X e Y).

Phase function's name: " $\text{Lamb_ro} = 0.50$ " -> aplica as propriedades ópticas e de temperatura definidas anteriormente.

4. Resultados

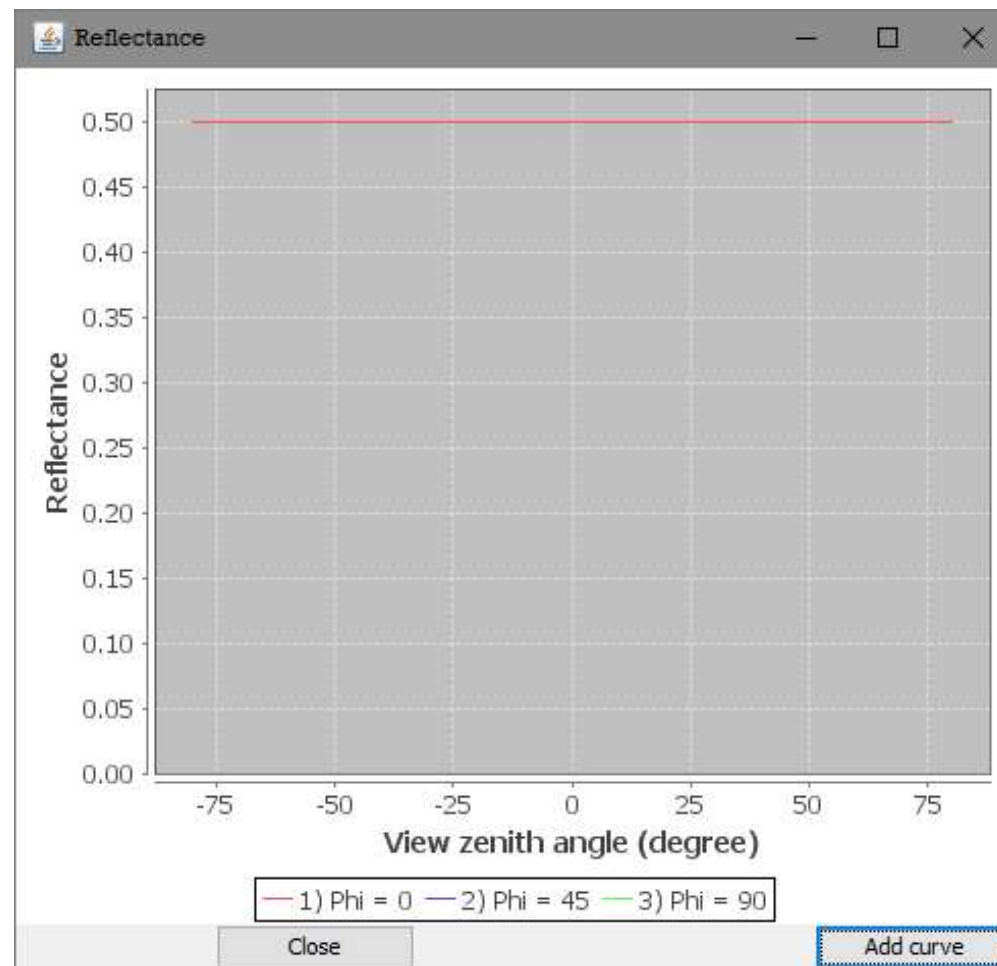
- 1) Earth Scene: terreno com dimensões 50 metros por 50 metros, e células (voxels) discretas de 1m^3 cada.
- 2) Cena 3D.
- 3) Imagens: reflectância (BRF) e radiância.
- 4) Arquivo “dart.txt” que armazena os resultados; arquivo “simulation.properties.txt” armazena os parâmetros de entrada da simulação.

4.1 Visualização de cena 3D



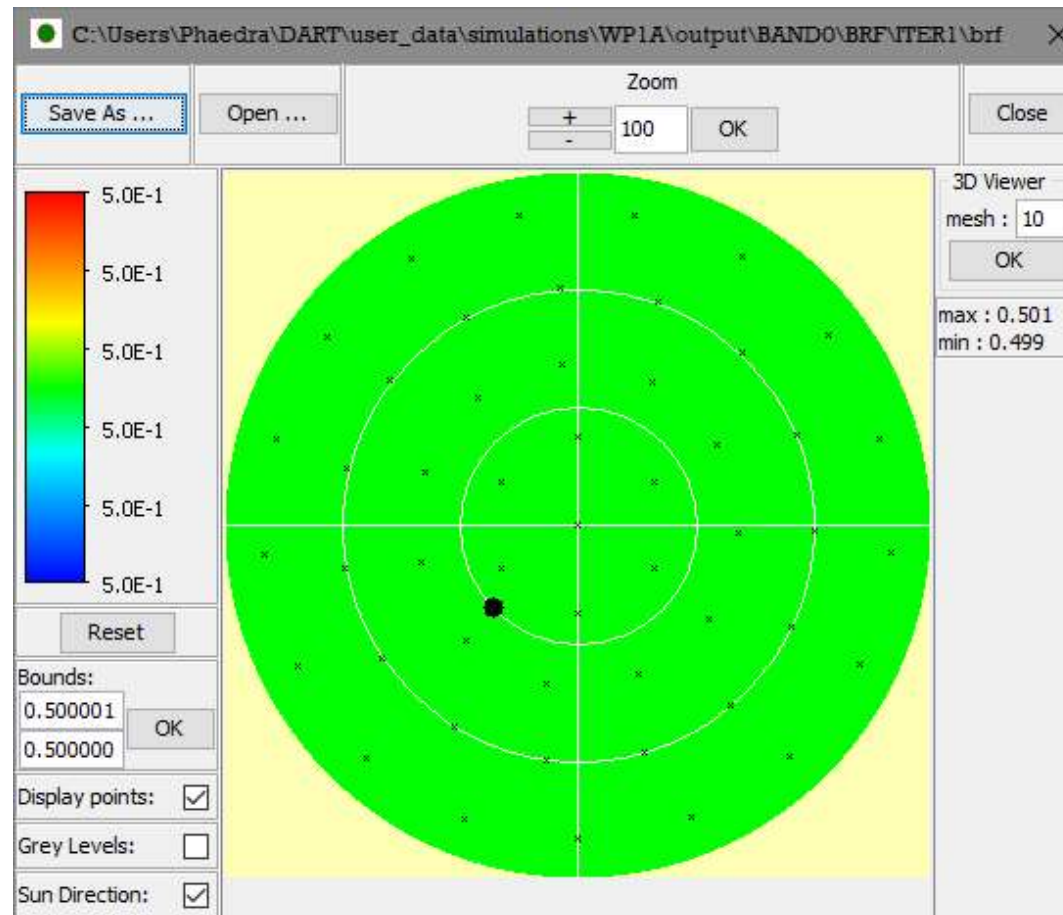
Menu View-> Scene 3D.

4.2 Gráfico de Reflectância



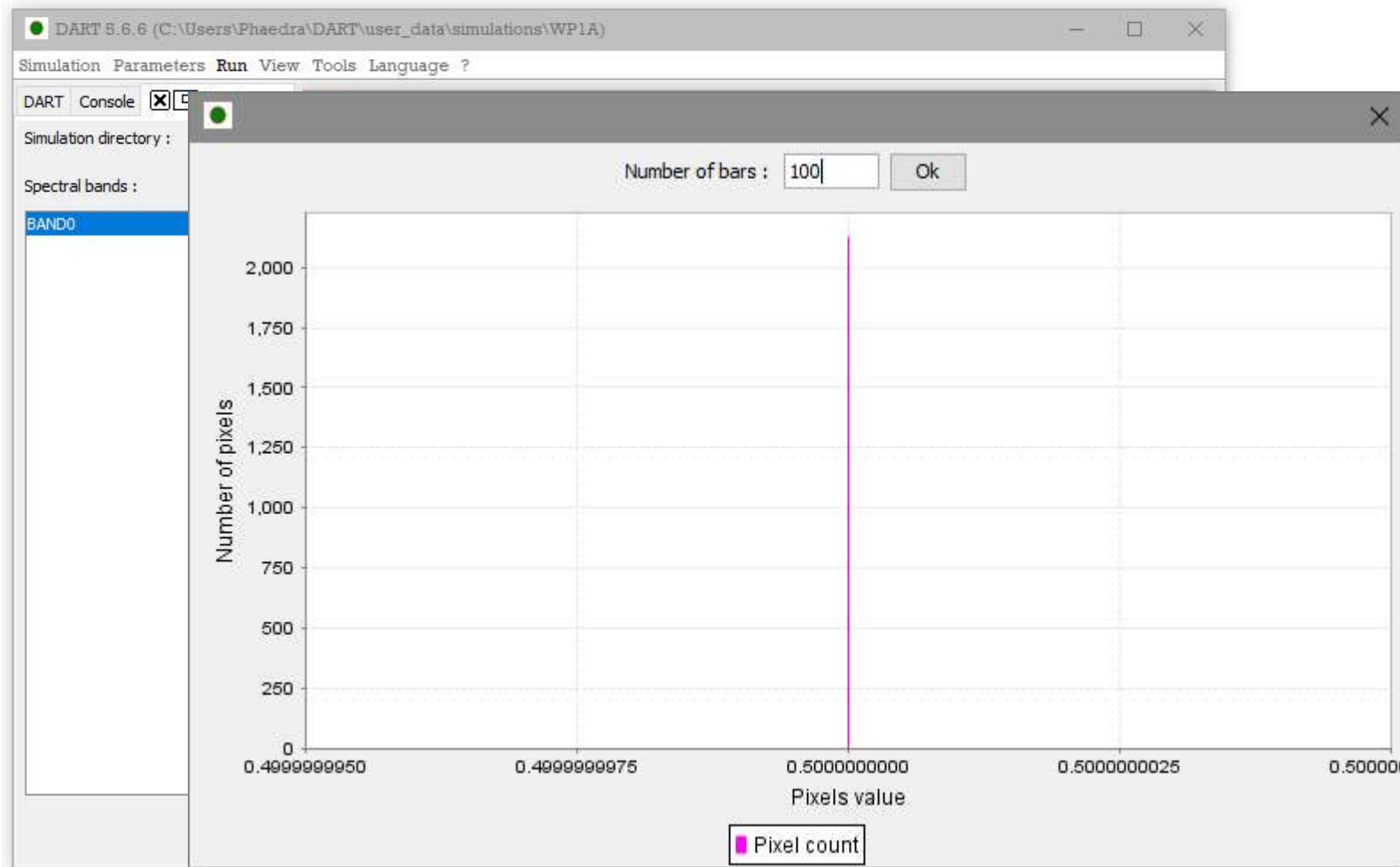
Menu View -> Directional Reflectance/Temperature -> 1D.

4.3 Visão bidimensional da reflectância



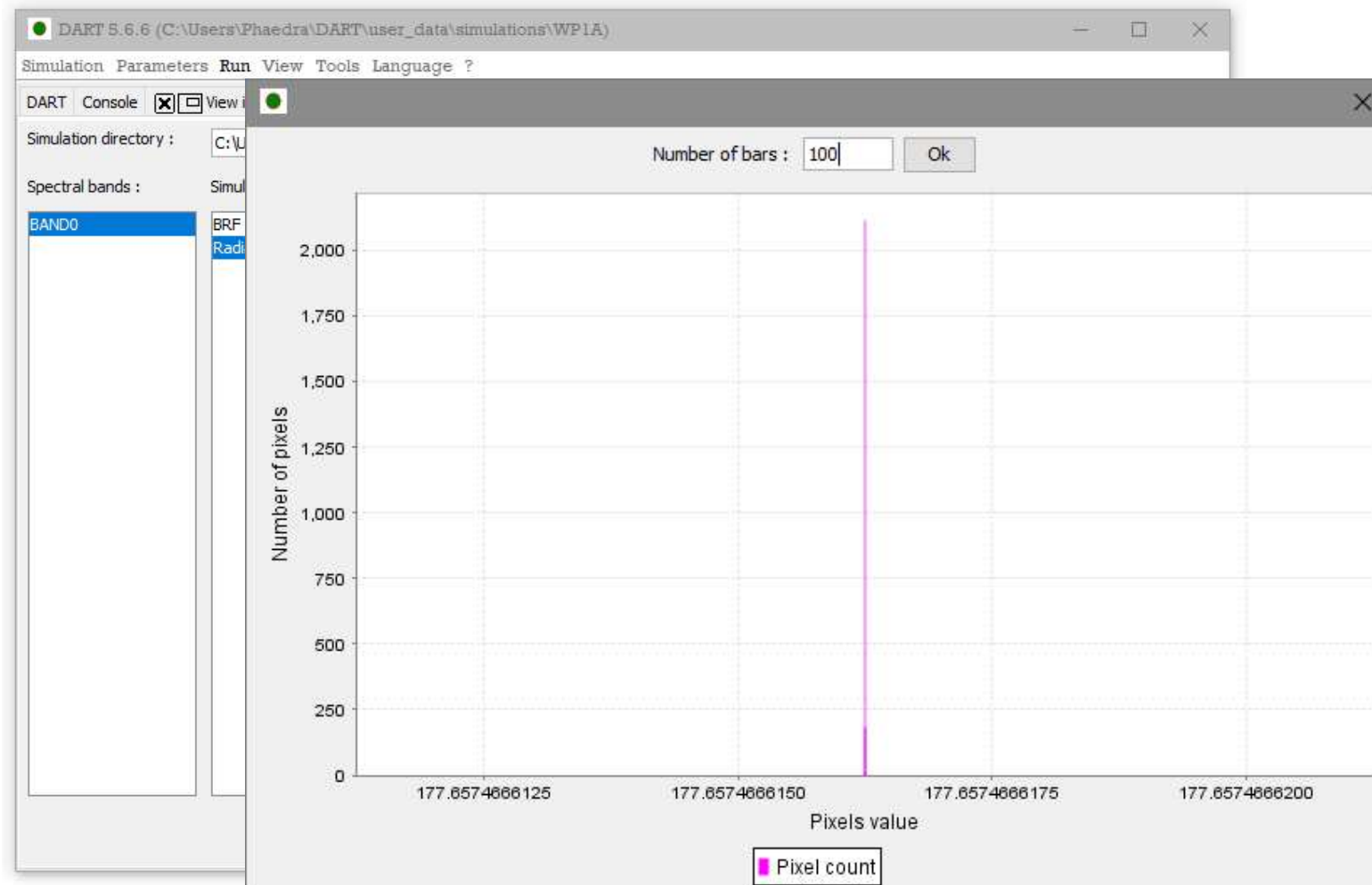
Menu View -> Directional Reflectance/Temperature -> 2D.
Direção solar indicada pelo ponto preto.

4.3 Produtos de imagens - reflectância



Menu View -> Image -> Representação do produto de imagem de reflectância resultante da simulação. Como pode ser notado a contagem de pixels representa o valor de reflectância $p = 0,50$ para toda a cena.

4.4 Produtos de imagens - radiância



Representação do produto de imagem de radiância resultante da simulação. Como pode ser notado a contagem de pixels mostra o valor de radiância $L_{e,\Omega} = 177,6 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}$ para toda a cena.

5. Referências bibliográficas

DART User Manual (5.6.7), 2017. CESBIO. Paul Sabatier University. <http://www.cesbio.upstlse.fr/dart/Public/documentation/contenu/documentation/DART_User_Manual.pdf> Acessado em 14/11/2017, às 21:30 (BRT).

GASTELLU-ETCHEGORRY, J.P., GRAU, E., LAURET, N. DART: a 3D model for remote sensing images and radiative budget of earth surfaces. Modeling and simulation in Engineering, 2012, pp.ISBN 978-953-307-959-2.

GASTELLU-ETCHEGORRY, J.P., et al. DART: modèle physique 3D de télédétection et du bilan radiatif de paysages urbains et naturelles. Teledetection, Editions des Archives Contemporaines, 2008, 8 (3), pp.159-167.

GASTELLU-ETCHEGORRY, J.P., et al. DART: a 3D model for simulating satellite images and studying surface radiation budget. INT. J. Remote Sensing, 2004, vol. 25, nº 1, pp.73-96.