

Considerações e procedimentos para o processamento do balanço de energia no software GRASS GIS 7.4.0: um estudo no município de Floresta (Pernambuco – Brasil)

Eleonore J. Weber ^{1*}, Jadson Freire-Silva ², Josemary Santos e Silva Oliveira ³

¹Mestre em Geografia, Freie Universität Berlin, Alemanha

²Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³Doutoranda em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

RESUMO

O Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos, comumente chamado de GRASS GIS, é um software livre (Livre) agregado ao Sistema de Informações Geográficas (GIS) usado para gerenciamento de dados, processamento de imagens, produção gráfica, modelagem espacial e visualização de muitos tipos de dados. Esse trabalho tem como objetivo tecer considerações e procedimentos iniciais para o processamento do balanço de energia através do software citado. Os procedimentos e apresentações apresentam as informações da preparação dos dados raster, importação dos dados raster, processamento do modelo digital de elevação, radiância e reflectância, NDVI e SAVI, albedo, temperatura de superfície, emissividade e transmissividade e balanço de radiação. Intuitivo, o GRASS GIS é um software que pode ser utilizado para incentivar novos discentes a desenvolver os ensinamentos do Sensoriamento Remoto. Através da junção de teoria e procedimentos práticos oriundos do programa, é possível iniciar os alunos nas disciplinas correlatas e se apresenta como um grande subsídio de apoio.

Palavras-Chaves: Sensoriamento Remoto, GRASS GIS, intuitivo

Considerations and procedures for the processing of the energy balance in the GRASS GIS 7.4.0 software: a study in the municipality of Floresta (Pernambuco - Brazil)

ABSTRACT

The Geographic Resource Analysis Support System, commonly called GRASS GIS, is free (Free) software added to the Geographic Information System (GIS) used for data management, image processing, graphic production, spatial modelling, and visualization data. This work aims to weave initial considerations and procedures for processing the energy balance through the software above. The systems and presentations present raster data preparation, raster data import, processing of the digital model of elevation, radiance and reflectance, NDVI and SAVI, albedo, surface temperature, emissivity and transmissivity and radiation balance. Intuitive, GRASS GIS is software that can encourage new students to develop the teachings of Remote Sensing. Through the combination of theory and practical procedures derived from the program, it is possible to start students in the related disciplines and presents itself as an excellent support grant.

Keywords: Remote Sensing, GRASS GIS, Intuitive.

Weber, E.J., Freire-Silva, J., Oliveira, J.S.S. (2020). Considerações e procedimentos para o processamento do balanço de energia no software GRASS GIS 7.4.0: um estudo no município de Floresta (Pernambuco – Brasil). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.1, n.1, p.51-65.



Direitos do Autor. A Revista utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

1. Introdução

1.1 O que é o GRASS: Breve histórico

É um Sistema de Informações Geográficas (GIS) usado para gerenciamento de dados, processamento de imagens, produção gráfica, modelagem espacial e visualização de muitos tipos de dados. O Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos, comumente chamado de GRASS GIS, é um software livre (Livre) / Código Aberto liberado sob a Licença Pública Geral (GNU) >=V2. O GRASS GIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation*.

Desenvolvido originalmente pelos Laboratórios de Pesquisa de Engenharia de Construção do Exército dos EUA (EUA-CERL, 1982-1995), como uma ferramenta para gerenciamento de terras e planejamento ambiental, o GRASS GIS evoluiu para uma utilidade poderosa com uma ampla gama de aplicações em diversas áreas de aplicações e pesquisas científicas. O GRASS é atualmente usado em ambientes acadêmicos e comerciais em todo o mundo, bem como em muitas agências governamentais, incluindo NASA, NOAA, USDA, DLR, CSIRO, *National Park Service*, *US Census Bureau*, USGS e muitas empresas de consultoria ambiental.

O GRASS (Sistema de Apoio à Análise de Recursos Geográficos) tem estado em constante desenvolvimento desde 1982 e, durante os anos 90, um grande número de agências federais dos EUA, universidades e empresas privadas estiveram envolvidas no desenvolvimento. Os principais componentes do GRASS 1.0-5.0 e o gerenciamento dos esforços de integração nos lançamentos do GRASS GIS foram realizados pelo Exército dos EUA - Laboratório de Pesquisa de Engenharia de Construção (EUA-CERL) em Champaign, Illinois. A USA-CERL completou sua última versão do GRASS como versão 4.1 em 1992, e forneceu cinco atualizações e correções para este lançamento até 1995.

A EUA-CERL também escreveu os principais componentes da versão de ponto flutuante do GRASS 5.0. Em 1997 e após dois anos de incerteza, o desenvolvimento do GRASS foi assumido pela academia. Desde então, a equipe internacional de desenvolvimento do GRASS gerencia o código-fonte, os lançamentos e a documentação.

1.2 Evolução temporal do software Grass

No início dos anos 80, o Laboratório de Pesquisa de Engenharia de Construção do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (EUA / CERL) em Champaign, Illinois, começou a explorar as possibilidades de usar Sistemas de Informações Geográficas para conduzir pesquisas ambientais, avaliações e monitoramento e gestão de terras sob a administração do Departamento de Defesa dos EUA. Parte da motivação para essa ação foi a nova responsabilidade pelo meio ambiente codificado na Lei de Política Ambiental Nacional do final dos anos 70.

Bill Goran dos EUA / CERL realizou uma pesquisa com os GISs disponíveis, assumindo que ele poderia encontrar vários sistemas capazes de análise ambiental, a partir dos quais ele poderia selecionar um ou mais para recomendar o uso pelo CERL e talvez outros no Departamento de Defesa. No entanto, ele ficou surpreso ao não encontrar nenhum SIG que satisfizesse suas necessidades. O que começou como um processo de seleção se transformou em um exercício de design para o seu próprio programa de desenvolvimento GIS.

EUA / A CERL contratou vários programadores e começou escrevendo um GIS híbrido vetorial para o ambiente 1VAX UNIX. Isso fez com que a equipe fosse uma das primeiras a desenvolver seriamente o GIS para UNIX. Embora ainda enfrentassem desafios com versões diferentes do UNIX, eles desenvolveram procedimentos de codificação no padrão ANSI UNIX, evitando "ajustar" o código em relação a um determinado tipo específico de fornecedor do UNIX.

Em 1997, o desenvolvimento foi assumido pela Baylor University (Waco, Texas; liderado por Bruce Byars) por um período, depois migrou para a Universidade de Hannover (Alemanha; liderado por Markus Neteler) onde o primeiro website europeu GRASS foi aberto em 1998. A equipe de desenvolvimento do GRASS se transformou em uma equipe multinacional composta por desenvolvedores em vários locais.

Em outubro de 1999 o GRASS GIS 5 foi lançado sob licença GNU General Public License (GPL). No século XXI, mais especificadamente em 2001, o site do GRASS foi transferido para o ITC-primeiro (Trento, Itália). Em fevereiro de 2006, a Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) foi formada para apoiar e promover o uso mundial e o desenvolvimento colaborativo de tecnologias e dados geoespaciais Open Source. Inclui o GRASS como um de seus projetos fundadores.

Desde 2008, a infraestrutura do GRASS (site, listas de discussão, *bugtracker*) é executada na OSGeo. 2013- GRASS GIS completa 30 anos mantendo a participação do CERL da ERDC Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA no projeto.

1.3 Aplicações do software

Ao longo da última década, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) evoluíram de um nicho altamente especializado para uma tecnologia que afeta quase todos os aspectos de nossas vidas, desde encontrar rotas de direção até gerenciar desastres naturais.

O GRASS GIS é um SIG vector / raster de uso geral combinado com subsistemas integrados de processamento de imagens e visualização de dados. Inclui um grande número de módulos para gerenciamento, processamento, análise e visualização de dados georreferenciados.

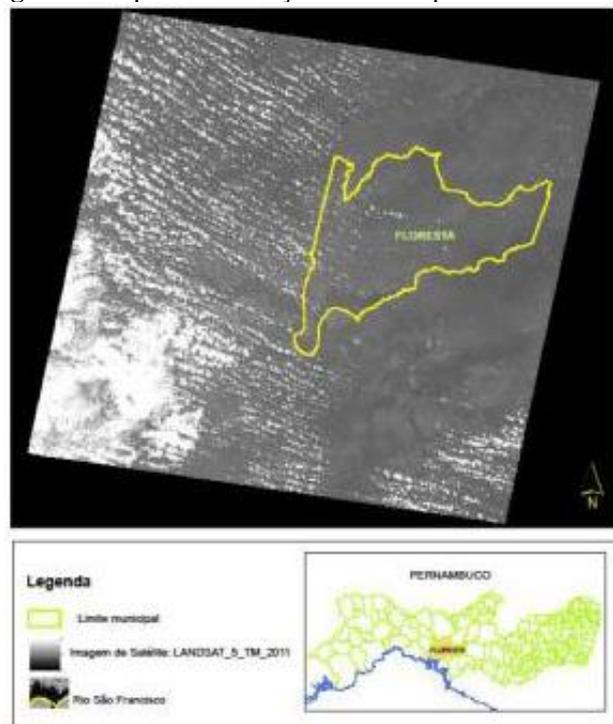
Ao contrário da maioria dos GIS restritos, o GRASS fornece acesso completo à sua estrutura interna e algoritmos. Usuários especialistas que desejam escrever seus próprios módulos GIS podem, portanto, aprender a partir de módulos existentes e ler o “GRASS GIS Programmer's Manual”. As bibliotecas GRASS GIS documentadas com a *Application Programming Interface* (API) tornam o desenvolvimento de novos módulos mais eficiente e permite a integração de novas funcionalidades no GRASS. As aplicações também podem ser escritas com linguagem de programação Shell scripts para automatizar o fluxo de trabalho do GIS.

As linhas de pesquisa relacionadas à utilização do Software GRASS GIS2 são variadas: a Arqueologia, Agricultura e HPC, Cartografia, Cálculos de energia, Proteção Ambiental, Monitoramento, Geologia, Geomorfometria, Geofísica, Ciências hidrológicas - incluindo cobertura de gelo e fluxo de águas subterrâneas, Modelagem de Espécies Invasivas, Ecologia da paisagem, Genética Paisagística, Ciência Marinha, Meteorologia, Riscos naturais, Mapeamento Planetário, Planejamento, Saúde pública, Sensoriamento Remoto (no processamento de imagem), Busca e resgate, Ciência do Solo, Zoologia da Vida Selvagem fazem parte desse escopo.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O município de Floresta está localizado na mesorregião do São Francisco e na microrregião do Itaparica (Figura 1). A sede do município está localizada a 433 km da capital Recife. Possui uma extensão territorial de 3.644,168 km² (BDE 2018), com altitudes que variam de 300 a 1050 metros (ARAÚJO FILHO et al. 2001). De acordo com o último Censo Demográfico 2010, o município possuía 29.285 pessoas e em 2017, a estimativa da população subiu para 32.483 habitantes, com cerca de 8,04 hab/km² (BRASIL,2018), possui baixa densidade demográfica com a maior parte da população habitando em áreas urbanas, mostrando uma forte tendência a urbanização.

Figura 1. Mapa de localização do município de Floresta – PE

Os aspectos físicos do município correspondem à unidade de paisagem denominada Depressão Sertaneja, caracterizada por relevo suave-ondulado e pouco dissecado, solos cascalhentos e muito susceptíveis a erosão, vegetação predominante caatinga Hiperxerófila (SILVA et al. 1993).

De modo geral essa cobertura vegetal ocorre de forma pouco densa e arbustiva. O regime de precipitação ocorre de forma irregular e mal distribuída, tendo os meses de janeiro a abril o período de chuva mais intensa. A temperatura média anual é de 25,8°C sendo a do mês mais quente 33,90°C e a do mês mais frio 18,30°C. A incidência de raios solares é considerada elevada (2.300 a 2.400h/ano). A forte irradiação, aliada a pouca umidade relativa, condiciona uma elevada evapotranspiração potencial, cuja média anual é de 2.042mm. Nessas condições, o balanço hídrico do solo apresenta um déficit muito acentuado, indicando grandes limitações para se praticar agricultura de sequeiro na região.

Dentre os cursos d'água que drenam a área em estudo, destaca-se o rio Pajeú (cujo principal afluente é o riacho do Navio, que é intermitente) deságua no rio São Francisco. Exceto em períodos de seca prolongada, o rio Pajeú, que nasce em São José do Egito (PE), é perene, em razão das barragens sucessivas construídas ao longo do seu curso. Além do mais, a parte sudoeste do município é banhada pelo rio São Francisco (região ribeirinha).

3. Resultados e Discussão

3.1 Preparação do projeto

Para a preparação do projeto, deve-se inicialmente importar os dados raster (*Comando – Arquivo - Simplified raster import with reprojection - Directory*). A partir dos comandos, é escolhido a imagem em estudo

e a pasta do projeto. A preparação das imagens é feita com os comandos “Arquivo - Manage maps – listar – raster maps” (Figura 2 e 3).

Figura 2 - Painel inicial para criação de projetos no GRASS.

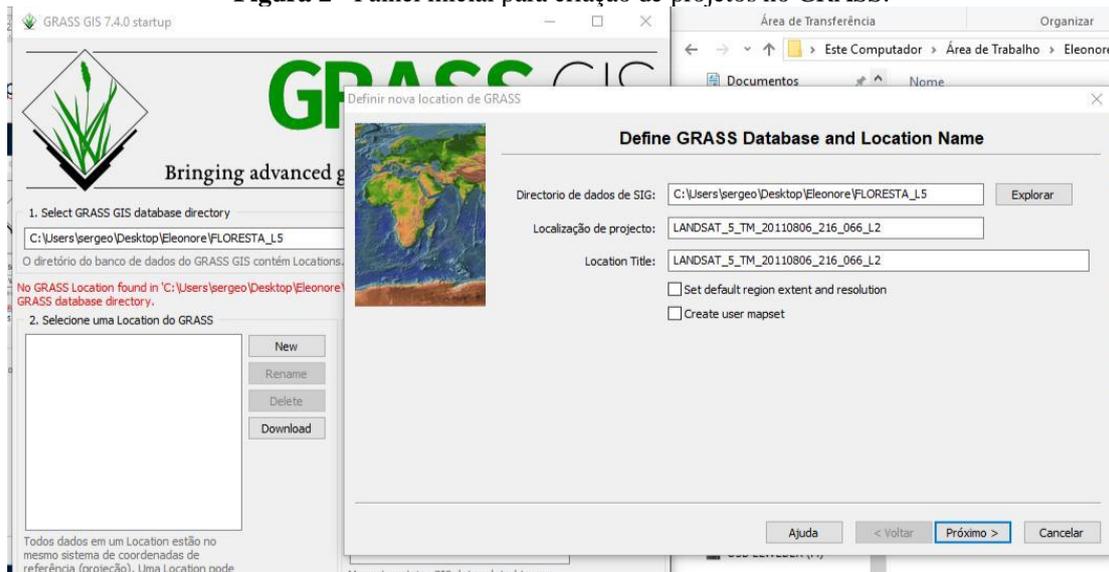
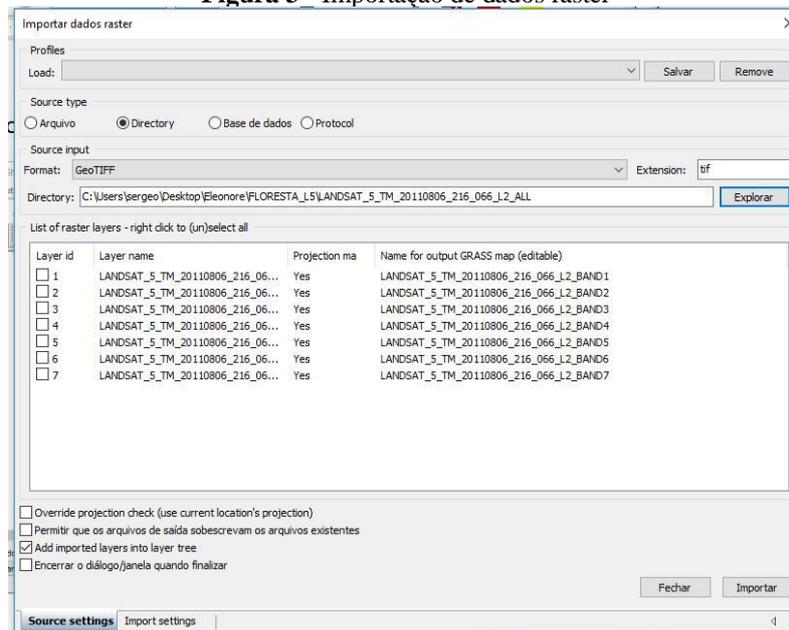


Figura 3 - Importação de dados raster



3.2 Imagem Satélite e Modelo digital de elevação – DEM

Para o processamento foi escolhida uma imagem de satélite do Landsat 5 TM do dia 06/08/2011. A imagem apresenta pouca cobertura de nuvens da área de estudo (Fig.1).

O DEM (Modelo digital de elevação) é um importante dado na ortorretificação da imagem no que diz

respeito a superfície topográfica. Segundo Barros et. al. (2005) os dados da DEM em geral se associam a digitalização das curvas de nível, pontos cotados e a identificação de cotas para posteriormente fazer a modelagem digital. O raster DEM provindo da SRTM foi baixado do site USGS.

Para adicionar DEM no projeto, deve-se seguir as etapas: *Arquivo - Importar dados raster - Simplified import - Explorer - DEM - Importar*. Após a importação da DEM, clique na aba “Raster”, “Desenvolver mapa raster”, “Gerir valores Nulos” e seleciona a DEM da área de estudo. Em seguida, clique em “modify” e na primeira caixa inclua o valor 0, executando o modelo e visualizando o produto (Figuras 4 e 5).

Figura 4 - Painel para edição dos valores “null” - DEM.

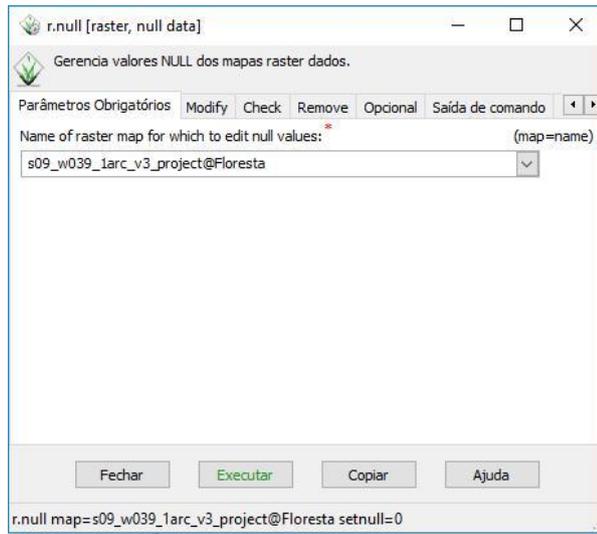
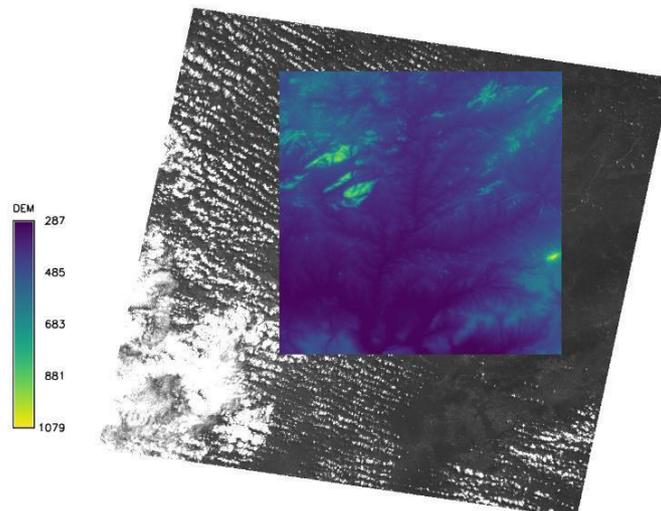


Figure 5 - Produtos do processamento (Landsat 5, DEM).



3.3 Radiância / Reflectância

O início do processamento das imagens constituiu o cálculo da radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$), esta, obtida através da transformação do Número Digital (ND) de cada pixel da imagem em radiância espectral monocromática, processo este, que também é conhecido por ser a efetivação da calibração radiométrica.

Segundo Meneses e Almeida (2012) calibração radiométrica é a medida feita pelo sensor da densidade de fluxo radiante que deixa um elemento de área da superfície do terreno, e que se propaga em uma direção definida por um cone elementar de um ângulo sólido contendo aquela direção.

A próxima etapa é definida como reflectância, obtida pelo cômputo da reflectância monocromática de cada banda, esta, definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente.

Para o cálculo da reflectância no GRASS, é necessário que o operador acesse os botões *Imagery - Satellite image tools - Landsat nd/rad reflectance - run*; para radiância, o operador deve acessar *optional - output radiance of reflectance for all bands* (Figuras 6, 7). As formulas exatas utilizadas nas ferramentas e as respectivas referencias delas são descritas na aba “Manual” dos painéis.

Figura 6 - Painel inicial dos cálculos de reflectância (a) Painel inicial dos cálculos de radiância (b).

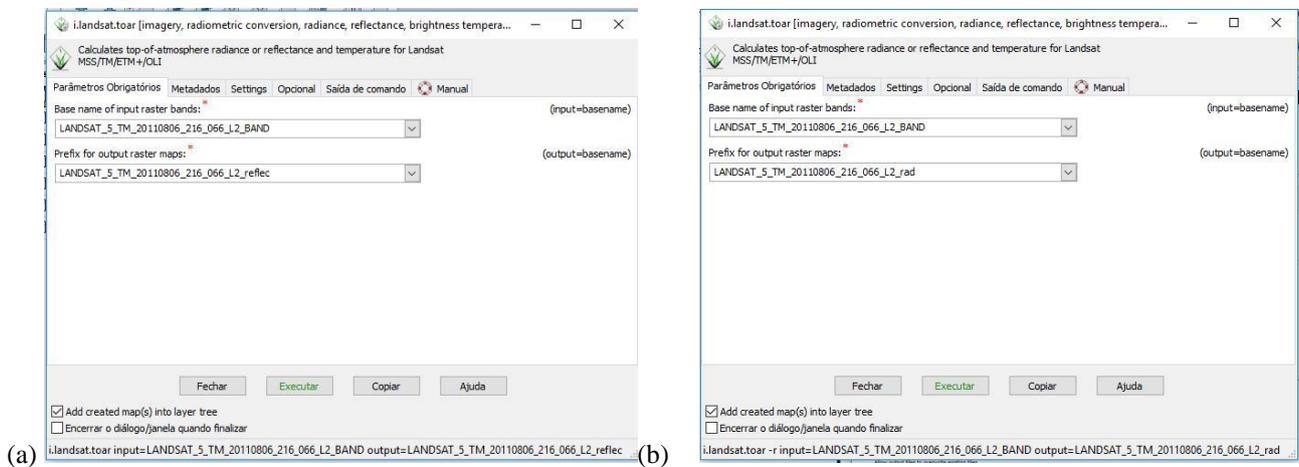
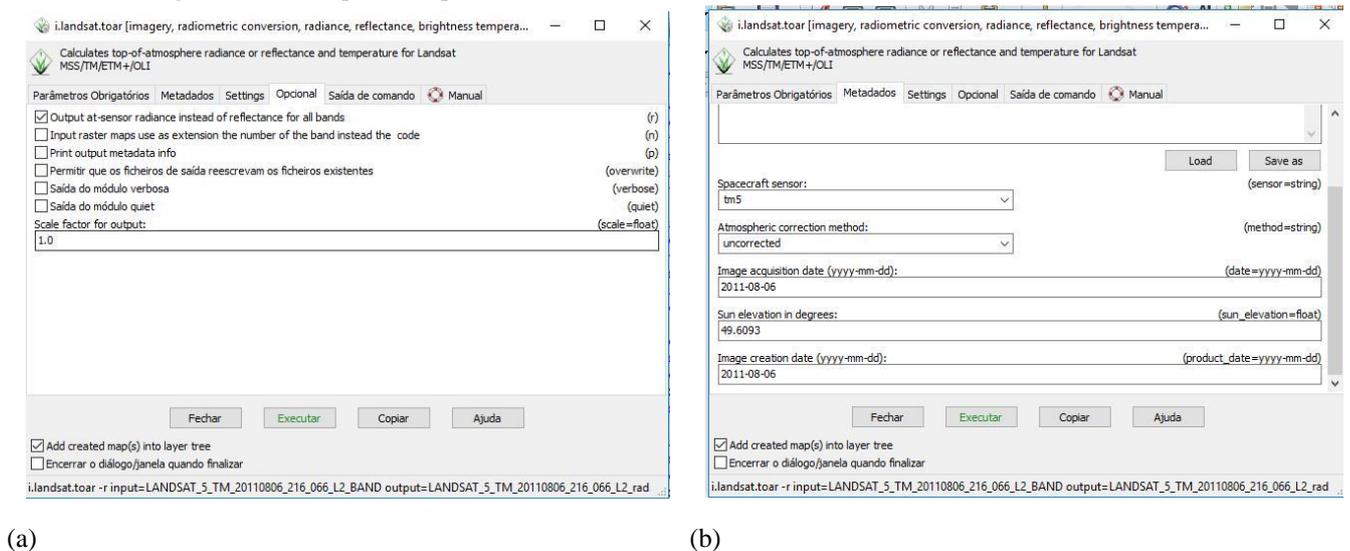


Figura 7 - Painel primário para os cálculos de radiância/reflectância (a) Painel secundário (b).

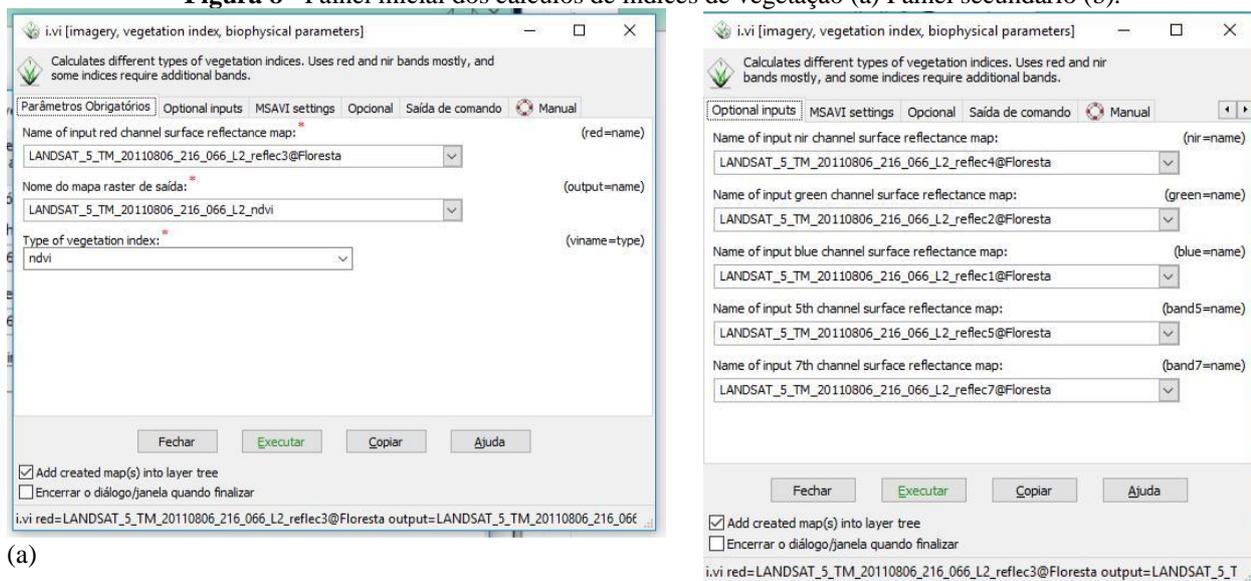


3.4 NDVI / SAVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é um indicador que calcula a sensibilidade e a quantidade da vegetação verde numa determinada área, e seus valores variam de -1 a +1, para superfícies vegetadas o NDVI varia apenas de 0 e 1. O índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), procura minimizar os efeitos da reflectância do solo ao considerar a incorporação de um fator de ajuste dependente da densidade de vegetação.

No processamento do GRASS, para se obter o NDVI e SAVI deve-se utilizar os botões: *Imagery - Satellite image products - Vegetation indices*, colocando no parâmetro obrigatório a banda de reflectância do vermelho. Em *Optional inputs* o operador deve adicionar a banda (reflectância) do NIR, adicionar banda (reflectância) do verde, adicionar banda (reflectância) do azul, adicionar banda (reflectância) 5 e adicionar banda (reflectância) 7. Aplicando essas inclusões de imagens citadas anteriormente, basta escolher o tipo de índices de vegetação e o seu respectivo nome de saída (Figuras 8 e 9).

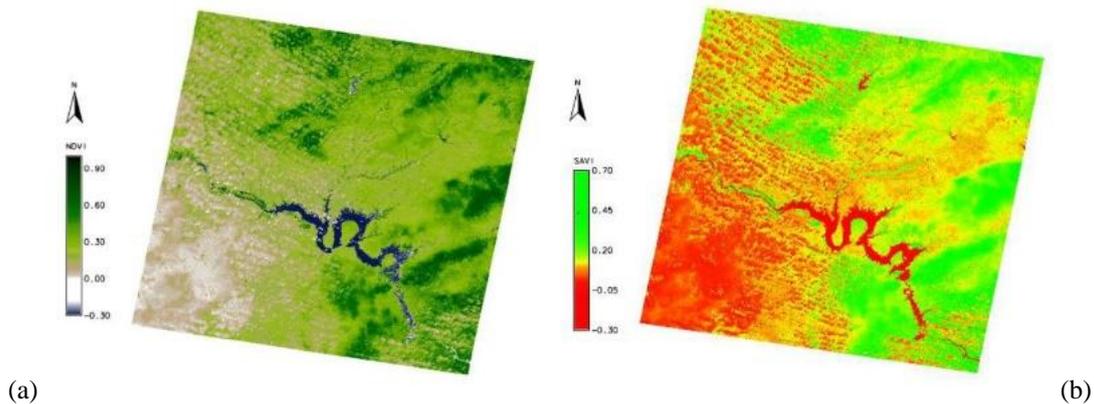
Figura 8 - Painel inicial dos cálculos de índices de vegetação (a) Painel secundário (b).



(a)

(b)

Figura 9 - Produtos do processamento (NDVI) (a) e SAVI (b).



(a)

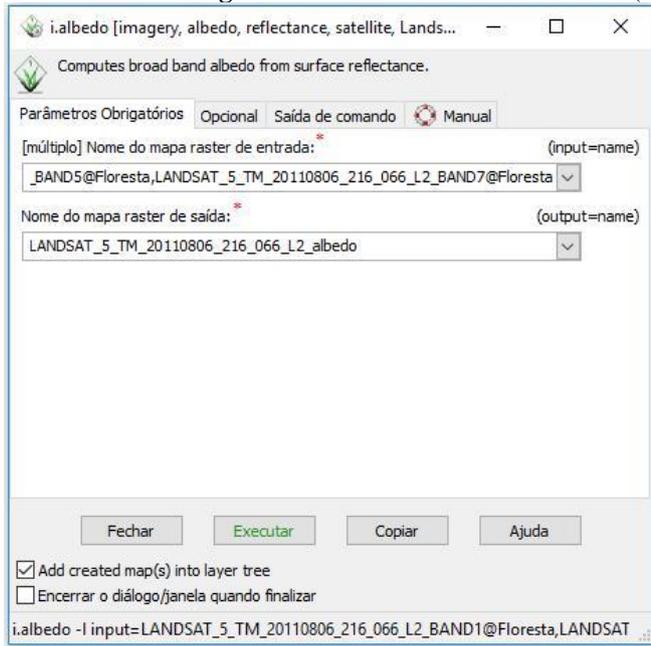
(b)

3.5 Albedo

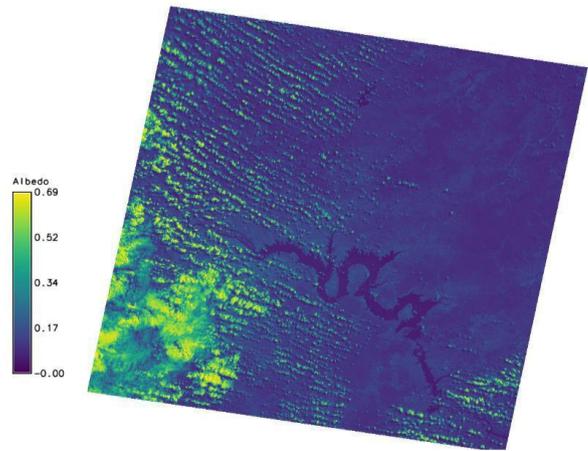
O albedo exerce um papel importante nos balanços de energia e massas na camada planetária, quando o albedo sofre alterações, modifica todo o balanço de radiação que chega à superfície, tais alterações são percebidas através do monitoramento.

Para calcular o albedo no software, acessa-se os botões: *Imagery - Satellite image products – Albedo*; colocar as bandas (em ordem): 1, 2, 3, 4, 5, 7 e marcar em “*Opcional Landsat 5 e 7*” (Figura 10).

Figura 10 - Painel do cálculo do albedo (a) Produto do processamento (albedo) (b).



(a)

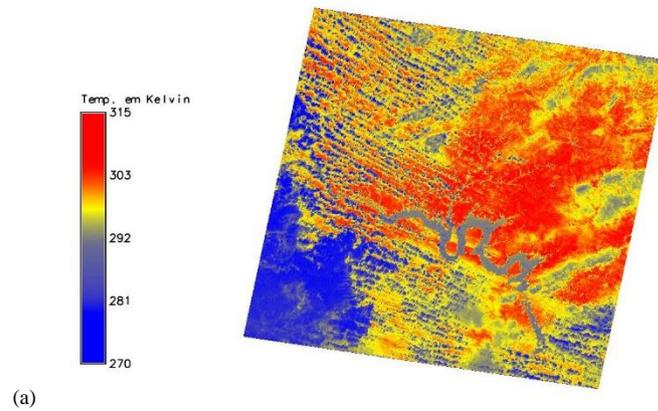


(b)

3.6 Temperatura de Superfície

O cálculo da temperatura de superfície é realizado por meio do cálculo da radiância. A radiância é medida radiométrica mais precisa em Sensoriamento Remoto, e consiste na intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica. A temperatura de superfície é de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície e a atmosfera e para a modelagem da temperatura do ar nas camadas inferiores da atmosfera urbana, sendo utilizada em diversos estudos, como para a elaboração de modelos climáticos (ARANTES et. al., 2013) (Figura 11).

Figura 11 - Produto do processamento (temperatura de superfície).



3.7 Emissividade e Transmissividade

Emissividade é conceituada como a capacidade que determinado alvo tem em emitir radiação, segundo Novo et. al. (2014) as medições de emissividade são difíceis na prática, pois envolvem diversas variáveis como a refletividade do material, a calibração dos instrumentos e a homogeneidade da superfície que recebe a radiação incidente.

O cálculo da emissividade é aplicado através dos caminhos: *Imagery - Satellite image products - Emissividade - input NDVI - rename - run* (Figura 12).

A transmissividade pode ser obtida pela razão da quantidade de energia radiante e o total de energia que é incidente. Segundo Souza (2016) a transmissividade nos permite estabelecer a classificação da cobertura do céu quanto a nebulosidade.

Para calcular transmissividade, o caminho *raster - raster map calculator* é um dos que podem ser usados. Ao escolher o *raster map calculator*, é preciso incluir um raster base para se renomear (escolheu-se o Albedo) e marcar a opção *If (X,a)*; assim, pode-se aplicar o cálculo a seguir: $DEM@CENA_1, 0.75+2* 0.0001 * DEM@CENA$ (Figura 13).

Figura 12 - Produto do processamento (emissividade).

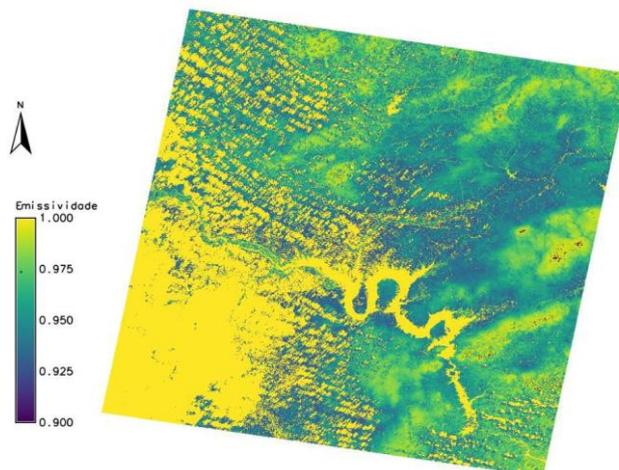
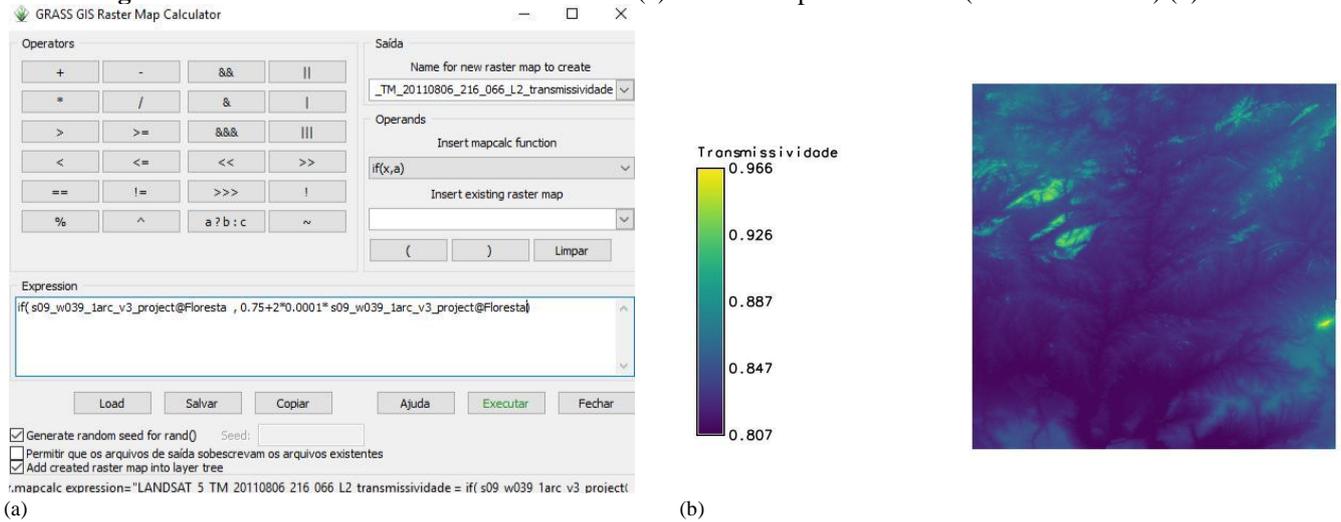


Figura 13 - Painel do cálculo da transmissividade (a) Produto do processamento (transmissividade) (b).



3.8 Balanço de Radiação

A etapa final deste trabalho é o balanço de radiação, que é o resultado da diferença de troca sobre o que entra e sai do sistema terrestre. Interações entre componentes do balanço de radiação condicionam as trocas de calor e massa entre superfície e atmosfera e possibilitam identificar alterações naturais ou antrópicas decorrentes de mudanças no uso do solo. (SILVA, BRAGA, BRAGA, 2011). Para o balanço de radiação, o caminho escolhido foi o *Evapotranspiration instantaneous net radiation*, mas antes de alimentá-lo com as informações pedidas, é necessário analisar o MTL da imagem, neste MTL coleta-se: (i) a data da imagem, (ii) a hora e a elevação do sol.

A partir das informações colhidas no MTL, através do raster calculator faz-se os mapas de Over pass [OVERPASS (DEM , número que convertido)If (x,a)]; DOY [DOY (dem, número convertido) If (x,a)]; difference map of temperature [Diferença map of temperature: (DEM, temperatura – (temperatura mínima do dia + 233,15 para temperatura kelvin)] e de Azimute Solar ou Sun Elevation [(DEM, 90 – SUN ELEVATION)] (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Painel do cálculo da diferença de temperatura (temperatura mínima) (a); Produto do processamento (diferença da temperatura em Kelvin) (b).

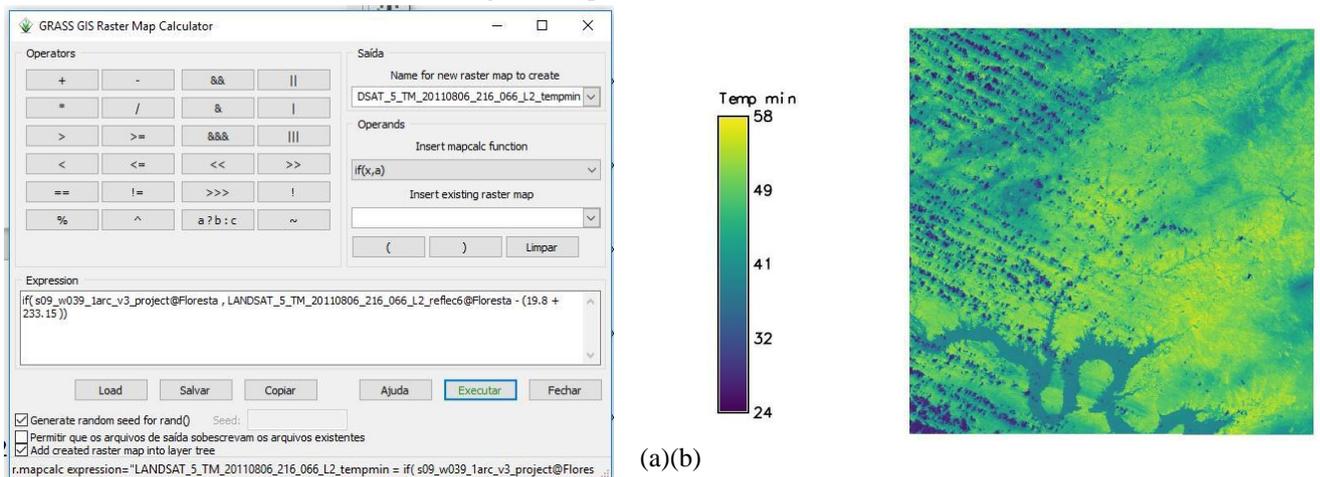
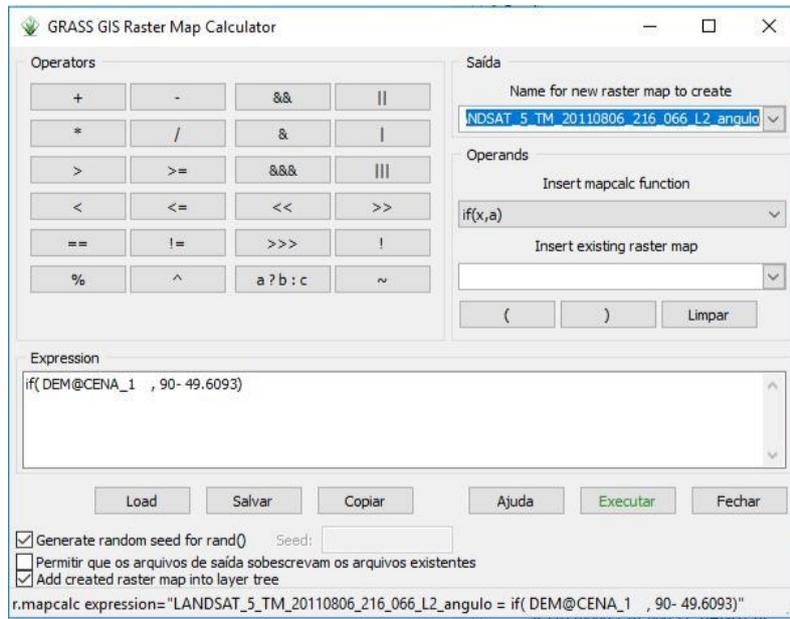


Figura 15 - Painel do cálculo do ângulo zenital.



A ferramenta utilizada para calcular o balanço de radiação e chamada “*i.eb.netrad*” e é acessada por *Imagery – Evapotranspiration calculation – Instantaneous Net Radiation*. Ela é baseada na equação de Bastiaansen (1995) (Equação 1).

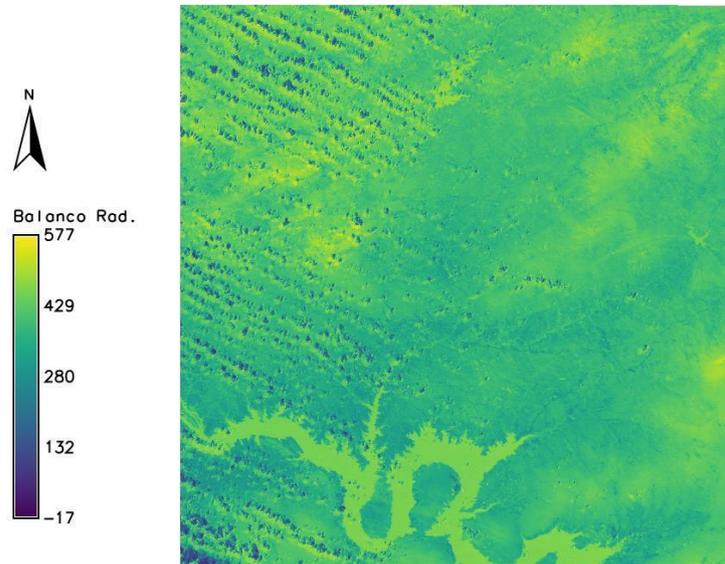
$$R_n = R_{OC,INC} \cdot (1 - \alpha) - R_{OL,EMI} + R_{OL,INC} - (1 - \epsilon_0) \cdot R_{OL,INC} \quad (1)$$

O cálculo descreve a relação entre a radiação da onda curta incidente ($R_{oc,inc}$), o albedo corrigido de cada pixel (α), a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície ($R_{ol,inc}$), a radiação de onda longa emitida por cada pixel ($R_{ol,emi}$) e a emissividade (de ϵ_0) de cada pixel. O termo $(1 - \epsilon_0) \cdot R_{ol,inc}$ representa a fração da radiação de onda longa incidente que é refletida pela superfície.

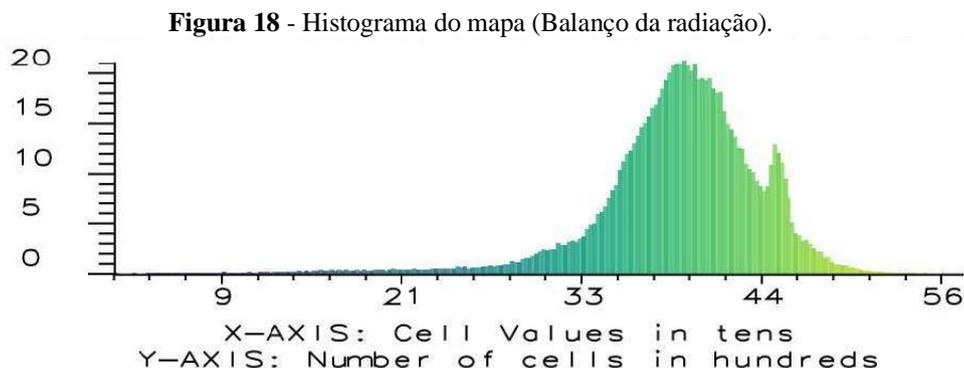
O Painel do cálculo do balanço de radiação junta os resultados calculados nos passos anteriores assim envolvendo o Albedo, o NDVI, a temperatura da superfície, a hora de passagem do satélite, a emissividade, a diferença da temperatura, a transmissividade, o dia (DOY) e o ângulo zenital (Figuras 16 e 17).

Figura 16 - Painel de processamento do balanço de energia.

Figura 17 - Produto do processamento (Balanço da radiação).



Os valores do mapa resultante do balanço da radiação são principalmente distribuídos entre 200 e 550 W/m^2 , mostrado pelo histograma respectivo (Figura 18). Os maiores valores são localizados no rio São Francisco e nas outras localizações apresentando ocorrência de água, notado na parte inferior da imagem. Os valores menores da área são apresentados para áreas secas e com solo exposto.



A partir desses procedimentos é possível obter o balanço de energia através do software GRASS GIS 7.4.0.

4. Considerações finais

Intuitivo, o GRASS GIS é um software que pode ser utilizado para incentivar novos discentes a desenvolver os ensinamentos do Sensoriamento Remoto. Através da junção de teoria e procedimentos práticos oriundos do programa, é possível iniciar os alunos nas disciplinas correlatas e se apresenta como um grande subsídio de apoio.

5. Referências

ARAÚJO FILHO, J. C., SILVA, B. A., SILVA, F. B. R., LEITE, A. P. **Diagnóstico Ambiental do Município de Floresta, Pernambuco**. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. ISSN- 1517-5146.

ARANTES, A. E.; SOUSA, S. B.; SOARES, G. S. C.; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura da superfície terrestre e índice de vegetação SAVI para o município de Goiânia, 2009. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

BARROS, R, S.; CRUZ, C. B. M.; REIS, R. B.; JUNIOR, N. A. C.; Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3997-4004.

BASE DE DADOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO – BDE, Área dos municípios, 2016. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?codFormatacao=574&CodInformacao=272&Cod=3>. Acesso em 10/08/2018.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 273p, 1995.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades IBGE**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/floresta/panorama>. Acesso 10/08/2018.

GRASS Development Team, 2018. **Software do Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos (GRASS), Versão 7.4.** Fundação Geoespacial de Código Aberto. Disponível em:< <https://grass.osgeo.org>>.

MENESES, P.R.; e ALMEIDA, T.; **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília. 2012

NOVO, M. M. M.; BITENCOURT, C. S.; TIBA, P. R. T.; SILVA, D. G.; PANDOLFELLI, V. C.; Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. **Cerâmica** 60(2014) 22-23.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado são gonçalo - pb mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 145-152, jul.- set., 2011

SILVA, F. B. R. e, RICHÉ, G. R., TONNEAU, J. P., SOUSA NETO, N. C. de, BRITO, L. T. de L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C., SILVA, F. H. B. B. da., SILVA, A. B. da, ARAÚJO FILHO, J. C. de, LEITE, A. P. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico.** Petrolina. EMBRAPA-CPATSA; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1993. 2 v. + mapa.