

## Sentinel 2 (A e B)

# PROTOCOLO DE INSTALAÇÃO E USO PARA TRABALHAR IMAGENS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS

Marcelo Pompêo, Xavi Sòria-Peprinyà, Juan Miguel Soria Garcia, Jesús Delegido, Esther Patricia Urrego, Marcela Andrea Pereira-Sandoval, Eduardo Vicente



## **Sentinel 2 (A e B)**

# **PROTOCOLO DE INSTALAÇÃO E USO PARA TRABALHAR AS IMAGENS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS**



Ficha catalográfica

Sentinel 2 (A e B): protocolo de instalação e uso para trabalhar imagens na avaliação da qualidade da água de reservatórios / Marcelo Pompêo... [et al]. – São Paulo : Instituto de Biociências, 2019.  
38 p. : il.

**ISBN** 978-85-85658-78-6

**DOI** 10.11606/9788585658786

1. Reservatórios de água. 2. Água - Qualidade. I. Pompêo, Marcelo. II. Título.

LC QH 541.5.F7

Publicação em acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e autoria. Proibindo qualquer uso para fins comerciais.

## Sentinel2 (A e B)

# PROTOCOLO DE INSTALAÇÃO E USO PARA TRABALHAR AS IMAGENS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS

Marcelo Pompêo <sup>(1)</sup>  
Xavi Sòria-Peprinyà <sup>(2, 3)</sup>  
Juan Miguel Soria Garcia <sup>(2)</sup>  
Jesús Delegido <sup>(3)</sup>  
Esther Patricia Urrego <sup>(3)</sup>  
Marcela Pereira-Sandova <sup>(3)</sup>  
Eduardo Vicente <sup>(2)</sup>

1- USP, IB, Depto de Ecologia, Butantã, São Paulo, SP – Brasil; e-mail: [mpompeo@ib.usp.br](mailto:mpompeo@ib.usp.br).

2- Departamento de Microbiologia y Ecologia Facultad de Biología Edificio de Investigación, Universidad de Valencia. Campus de Burjasot, E-46100 Burjasot (Valencia). Spain.

3- Laboratori de Processament d'Imatges, Parque Científico de Paterna, Universitat de Valencia, Campus de Paterna, 46980, Paterna (Valencia) Spain.

## PREFÁCIO

O rompimento da barragem de rejeito de minério de ferro ocorrida em 25 de janeiro de 2019 e os decorrentes danos ambientais, de patrimônio e as centenas de mortos, sob responsabilidade da Vale, na cidade de Brumadinho, e o mesmo fato ocorrido a alguns anos atrás na cidade de Mariana, ambas localizadas no Estado de Minas Gerais (Brasil), somados a muitos outros exemplos brasileiros, deixam claro que muito há o que se fazer para a conservação e preservação ambientais, da vida e do patrimônio no Brasil. Há que se melhorar nossas leis, tanto para definir procedimentos de fiscalização e de punição, quando pertinentes. Mas passa também por melhor definir o que é e para que serve o monitoramento ambiental e a quem cabe fazê-lo e sob quais termos (o que analisar, qual a periodicidade e em quais pontos, etc). Em um plano de gestão ambiental, é fundamental instituir procedimentos que permitam acompanhar o que se passa em uma dada massa de água, como um reservatório, objeto de apreciação deste manuscrito. Este acompanhamento deverá cobrir diferentes escalas espaciais e temporais, contribuindo para definir rumos e proceder correções para que esta cumpra seu papel social e no futuro deixe de ser um claro depósito de esgotos e esteja dentro das normativas de qualidade para o uso estabelecido, como definido hoje (e não aplicado) pela legislação brasileira, como a Resolução Conama 357, de 2005, por exemplo.

O sensoriamento remoto tem grande papel a cumprir nesta etapa de monitoramento. Além de permitir levantar os usos que se faz dos espaços na bacia hidrográfica, também permite acompanhar as alterações em detalhes, definindo o tamanho e posição das áreas afetadas ou não, por exemplo, também incorporando uma escala temporal.

Assim, este manual visa contribuir na gestão ambiental e surgiu da necessidade de se trabalhar com as imagens dos satélites Sentinel 2 (A e B), desenvolvidos pela Agência Espacial Europeia (ESA). As imagens obtidas por estes satélites proporcionam inúmeras novas visões sobre a Terra, sua vegetação, águas e espaços ocupados, e sem dúvida é excelente ferramenta para avaliar os impactos causados aos ecossistemas. Através do uso de suas imagens será possível acompanhar as medidas de mitigação dos impactos e melhor saber direcionar políticas públicas para preservar o que ainda pouco foi tocado pelo homem ou para recuperar, para aqueles ambientes já muito impactados.

Para aquele que pela primeira vez abre um software de processamento de imagens, este parece um mundo indecifrável com raster, vetor, correção atmosférica, classificação supervisionada ou não, conversão de dados, etc, sem falar em questões como bandas, o tamanho de pixel, a resolução espacial e resolução radiométrica, entre inúmeras outras terminologias e novidades. Deste modo, são tantas as novas questões que devem ser apreendidas para seguir na área, que muitas vezes o iniciante se vê inibido ou desestimulado diante de tantos desafios. Assim, surgiu a ideia de elaborar este pequeno guia para os iniciantes, como um estímulo para que possam compreender alguns aspectos básicos, mas também terem em mãos um pequeno protocolo que lhes permitirá trabalhar as imagens, enquanto que paralelamente adquirem os necessários conhecimentos sobre o funcionamento do Sentinel 2, o que ele enxerga e porque, além de como operar o software de processamento de imagens, entre outras questões técnicas e teóricas imprescindíveis ao bom processamento de imagens.

Mas antes de tudo, este é um protocolo simplificado que instrui os iniciantes a procurarem e baixarem as imagens de interesse, bem como dá os passos para a instalação e uso do software SNAP (*Sentinel Application Platform*). O SNAP é o processador de imagens elaborado pela ESA e parceiros, que processa as imagens do Sentinel 2, com auxílio do Sen2cor, um *plugin* para inicialmente executar a correção atmosférica das imagens tomadas no território brasileiro. Este guia foi primeiramente pensado para solucionar algumas dúvidas dos pesquisadores do Laboratório de Limnologia (USP, IB, Depto de Ecologia) e paulatinamente complementado. Deste modo, não foi pensado para ser um sólido manual para todas as dúvidas, muito menos para os usuários mais avançados e experientes e nem discorre em detalhes inúmeras e importantes questões técnicas ou teóricas. No entanto, proverá os primeiros passos para quem quer testar algumas possibilidades de

uso dessas imagens. Mas, sem dúvida, também não substituirá os próprios manuais da ESA (<http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>).

Complementarmente, a título de exemplo, apresentará os passos para estimar as concentrações de clorofila e da profundidade do disco de Secchi, empregando equações bi e tri bandas, na avaliação da qualidade da água de reservatórios de águas interiores, mas empregando com cautela as equações desenvolvidas para águas europeias, em particular espanholas.

Sou imensamente grato pelo grande apoio oferecido pelo Laboratório de Processamento de Imagens (IPL), da Universidade de Valência (UV), Campus de Paterna, Espanha, em especial ao Prof. Dr. Jesús Delegido.

O primeiro autor deste manual agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Brasil) (Procs. 2016/24528-2 e 2014/22581-8), e também a UV (Subprograma de Atracción de Talento de 2018) que permitiram visitas de curta temporada na UV, estreitando parcerias e culminando com a redação deste manual. Também agradeço a Profa. Dra. Marisa Dantas Bitencourt (USP, IB, Depto de Ecologia), pelas incontáveis conversas muito produtivas, que me deram os primeiros passos no sensoriamento remoto. A Adriana Hypólito Nogueira, bibliotecária chefe da Biblioteca do Instituto de Biociências da USP, por todo apoio na finalização desta obra.

Aproveitem e mãos a obra.

Marcelo Pompêo

São Paulo, 14 de março de 2019.

Àqueles que lutam por uma Terra para os Homens,  
e não unicamente para alguns poucos homens, mulheres e suas crias.

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>O cadastro</b>	<b>2</b>
<b>A procura de imagens</b>	<b>2</b>
<b>Selecionar as imagens de interesse</b>	<b>5</b>
<b>Baixar a imagem</b>	<b>8</b>
<b>Baixar, instalar e atualizar o SNAP</b>	<b>9</b>
<b>Instalar Sen2cor</b>	<b>10</b>
<b>Instalar SNAP e Sen2cor no Mac </b>	<b>10</b>
<b>Abrir imagem e a correção atmosférica</b>	<b>13</b>
<b>Aplicar o “Resampling”</b>	<b>17</b>
<b>Cortar imagem</b>	<b>18</b>
<b>Exemplo 1: O Disco de Secchi</b>	<b>18</b>
<b>Aplicando “Water Mask”</b>	<b>22</b>
<b>Deixar a imagem bonita e visível</b>	<b>24</b>
<b>Exemplo 2: a clorofila</b>	<b>28</b>
<b>Correção do modelo do disco de Secchi à realidade brasileira</b>	<b>31</b>
<b>Correção atmosférica com C2RCC</b>	<b>33</b>
<b>Considerações finais</b>	<b>36</b>
<b>Referências</b>	<b>38</b>
<b>Referências para as imagens</b>	<b>38</b>

## INTRODUÇÃO

A avaliação da qualidade das águas mediante sensores remotos é de grande interesse, desde que as imagens estejam disponíveis no formato *Open Access*. Os primeiros satélites de observação da Terra foram os da série Landsat (USGC e NASA), que em 1972 colocou em serviço o Landsat-1. No presente a série de satélite está no Landsat-8 e desde a primeira série os sensores instalados a bordo dos satélites têm sido melhorados, bem como o tamanho do pixel da área de estudo. Outros satélites também foram colocados em órbita com sensores que podiam permitir o estudo da terra e das massas de água, como a série SPOT, ENCISAT, Terra/Aqua, DEIMOS, entre outros. Até o ano 2010 a disponibilidade de imagens era restrita e para obtê-las era necessário pagar para conseguir baixá-las. Quando a coleção das imagens dos Landsat se tornou disponível de modo gratuito, ocorreu um grande impulso nos estudos com sensores remotos. Já quando a ESA (*European Space Agency*) lançou a série de satélites Sentinel, dentro do programa *Copernicus*, as imagens também foram disponibilizadas de modo gratuito, bastando um simples registro no site e uma justificativa do uso das imagens, assim como os agradecimentos pelo uso das informações.

Além do pagamento pelas imagens, outro importante obstáculo para o uso generalizado das imagens de satélites foi a disponibilidade de potentes computadores capazes de processar as informações e as aplicações necessárias. O *Pericolor 1000* foi o primeiro equipamento criado para processar as imagens de satélites. Este dispunha de um leitor de fitas magnéticas para carregar a parte da imagem que seria trabalhada. Complementava o equipamento um sistema para guardar as informações em grandes disquetes de oito polegadas. Decorrente de seu alto custo, este equipamento estava disponível em muitos poucos lugares do planeta. Também se criou uma linguagem de programação, chamada IDL, baseado em Fortran, com comandos específicos para o processamento de imagens, utilizado pela NASA. A partir desta linguagem, em 1994 foi desenvolvida a interface gráfica ENVI, distribuída comercialmente para o tratamento de imagens de satélites de todo tipo e muito conhecida pelos pesquisadores da área. Na atualidade, a última versão de ENVI é a 5, integrada com outras plataformas GIS (Sistema de Informações Geográficas).

A ESA, para processar as imagens que oferece de modo gratuito pelos satélites Sentinel, também necessitava de um aplicativo de processamento de imagens, pois apesar da gratuidade para baixar as imagens, não existia uma maneira de processá-las. Assim, a ESA solicitou a *Brockmann Consult* o desenvolvimento de um aplicativo que seria distribuído também de modo gratuito, para processar as imagens dos satélites da ESA, o *software* SNAP (*Sentinels Application Platform*). O SNAP inclui muitas das capacidades de processamento do ENVI, mas está desenhado para os produtos da ESA. Também permite exportar imagens para outros programas e em muitos formatos, facilitando o intercâmbio.

Deste modo, decorrentes das facilidades disponibilizadas pela ESA, hoje em dia é possível a aquisição gratuita de imagens e de seu processamento também por meio de *software* gratuito e diretamente da casa do interessado, com o uso de um computador pessoal de custo acessível à grande maioria dos interessados em sensoriamento remoto. Este conjunto de facilitadores potencializa a popularização do uso das imagens Sentinel.

A missão Sentinel 2, objeto de apreciação desta publicação, compreende o uso de dois satélites de órbita polar colocados na mesma órbita sincronizada com o Sol, divididos em 180° entre si. Com um tempo de revisita de 10 dias no equador com um satélite e 5 dias com 2 satélites sob condições sem nuvens. Os limites de cobertura são entre as latitudes 56° sul e 84° norte (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/Sentinel2>).

Este documento tem como principal objetivo apresentar os procedimentos para localizar e baixar imagens dos satélites Sentinel 2 (A e B), bem como baixar e instalar o SNAP, além de apresentar algumas etapas para o processamento de imagens, particularmente quando o objetivo for avaliar a qualidade da água mediante a estimativa das concentrações de clorofila e da profundidade do disco de Secchi, objetos de exemplos neste documento. É um manual simplificado, que provê informações básicas para aqueles que estão iniciando.

## O cadastro

Antes de trabalhar as imagens obtidas pelos satélites Sentinel 2 (A e B), inicialmente deverá procurá-las e baixá-las através do site em <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, em “Open Access Hub”. Para tanto, inicialmente deverá se cadastrar neste mesmo site, clicando em “SIGN UP” (Fig. 1). O formulário que se abrirá é de preenchimento simples e rápido, com exigência de poucas coisas, como o nome e sobrenome, username, password, e-mail válido, entre outros campos a serem preenchidos. Posteriormente receberá um e-mail com um link para ativar sua conta. Após esse pequeno cadastro e ativação já estará apto a procurar e abaixar as imagens de interesse.



Fig. 1: Localização de ícone para abertura de ficha cadastral (sete em vermelho), visando *login* no “Open Access Hub”, o que posteriormente permitirá localizar e baixar as imagens do Sentinel 2 (A e B).

## A procura de imagens

Após o *login* em “Open Access Hub”, antes de baixar as imagens, estas deverão ser localizadas. Para tanto, no mapa que se observará é possível dar zoom e mover a imagem para a zona de interesse, alternando posição com o botão “Switch to Area Mode” (Fig. 2). Alternando a funcionalidade do “Switch to Area Mode”, será criado um polígono no mapa. Através desse polígono será possível localizar todas as imagens do Sentinel 2 disponíveis para as cenas que compreendam as coordenadas referentes ao polígono formado. Na Fig. 3 é apresentado um detalhe da Região Metropolitana de São Paulo (Brasil), em especial os reservatórios Billings e o Guarapiranga, entre outros reservatórios visíveis.

Para criar o polígono, o zoom não deverá ser pequeno, pois isto permitirá encontrar muitas cenas, o que dificultará a busca e a posterior escolha das imagens. A construção do polígono segue os seguintes passos (Fig. 4): a) clicar e soltar com o botão direito do mouse uma única vez no ponto de interesse, no entorno do reservatório, arrastar o mouse para outro ponto, permitindo criar uma linha azul. Nesse novo ponto, novamente clicar uma única vez e arrastar o mouse para outro local (b), criando um triângulo. Novamente clicar e arrastar o mouse até construir o polígono de interesse (c), que compreenda toda a área do reservatório e dê dois cliques, quando será formado o polígono de busca (d). Se necessário repita a operação. Deve-se ter cuidado ao construir o polígono e não cruzar linhas, pois neste caso aparecerá um erro (Fig. 5) e o polígono não será formado.



Fig. 2: Botão que permite trocar funcionalidades no site, para a busca de imagens e para a movimentação do mapa.



Fig. 3: Reservatórios Billings e Guarapiranga, no sistema de busca de imagens.



Fig. 4: Etapas para a construção do polígono para a busca de imagens. Ver texto.

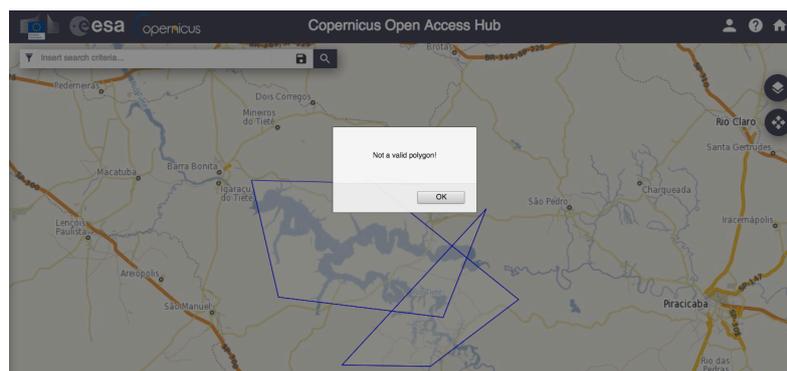


Fig. 5: Ao cruzar linhas na construção do polígono, aparecerá uma mensagem de erro. Ver texto.

Agora com o polígono já constituído acessar o ícone a esquerda (☰), onde aparece “Insert search criteria” (Fig. 6). Na janela que se abrirá, em “Sensing period” coloque o período de interesse para a busca das imagens, a data inicial (“From”) e final (“to”), nos locais indicados pelas setas azuis (Fig. 7). Em ambos os casos abrirá um calendário (Fig. 8), que facilitará a busca das datas. No caso do interesse nas imagens até a presente data, na data final clicar em “Today” (Fig. 8). Após a definição das datas, role essa mesma tela, procure e marque “Mission: Sentinel 2” (Fig. 9), definindo que só as imagens Sentinel 2 (A e B) serão localizadas.

Concluídas as etapas acima, visando localizar a zona de interesse, clicar no ícone lupa (🔍 Fig. 9) para buscar as imagens disponíveis. Caso ainda em “Login” não tenha anotado “Username” e “Password”, ao clicar nesse ícone será solicitado para que o usuário entre no sistema, deste modo, decorre a necessidade para que previamente faça o cadastro. Após ter entrado e preenchido o formulário de busca (o formulário de busca também poderá ser preenchido após ter acessado o sistema), estará apto a localizar uma área de interesse sobre o mapa e suas respectivas cenas.



Fig. 6: Ícone que dará acesso a preencher formulário para localização das imagens do Sentinel 2 (A e B).

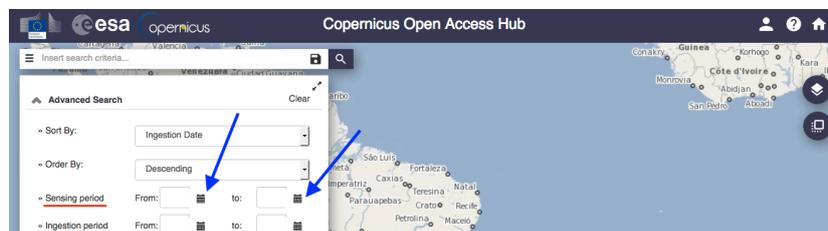


Fig. 7: Formulário que deverá ser preenchido para localizar imagens Sentinel 2 (A e B) para o período de interesse.

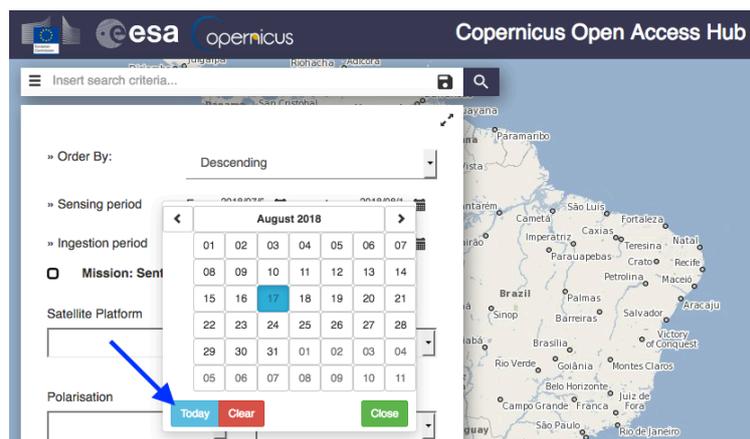


Fig. 8: Calendário para busca de datas para localizar imagens Sentinel 2 (A e B) no período de interesse.

Após todas estas etapas, com o formulário preenchido, ter entrado no sistema e com o polígono construído, estará apto a buscar as imagens. Após clicar na lupa terá acesso a uma listagem de imagens mantidas no banco de dados, conforme apresentado na Fig. 10, com quatro imagens numeradas com os círculos em azul, encontradas com base nos critérios anotados no formulário e também baseado nas coordenadas representadas pelo polígono construído, também visível, apontado pela seta azul. Nesta tela (Fig. 10), há outra particularidade, pois para o polígono construído há duas cenas com imagens disponíveis, se interpenetrando, o que ficará mais visível com a redução do zoom (Fig. 11).

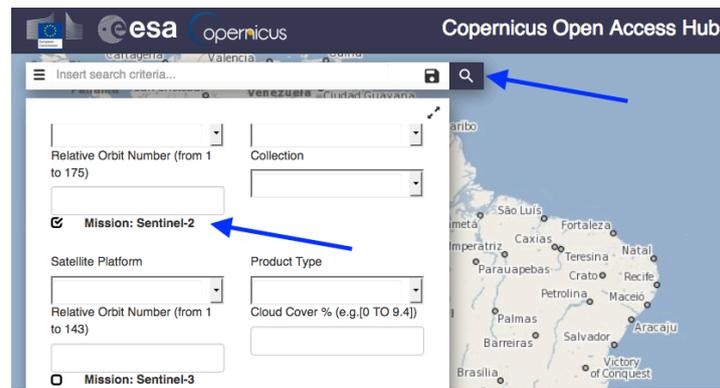


Fig. 9: Marcar “Mission: Sentinel-2”, definindo a busca unicamente para imagens do Sentinel 2 (A e B).

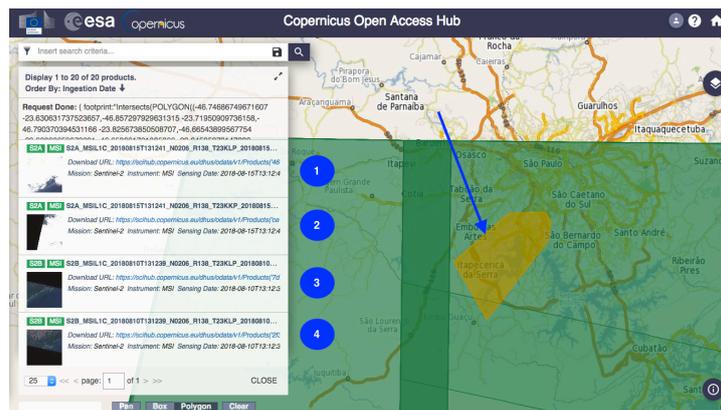


Fig. 10: Listagem das imagens localizadas, com base nos critérios de busca empregados.

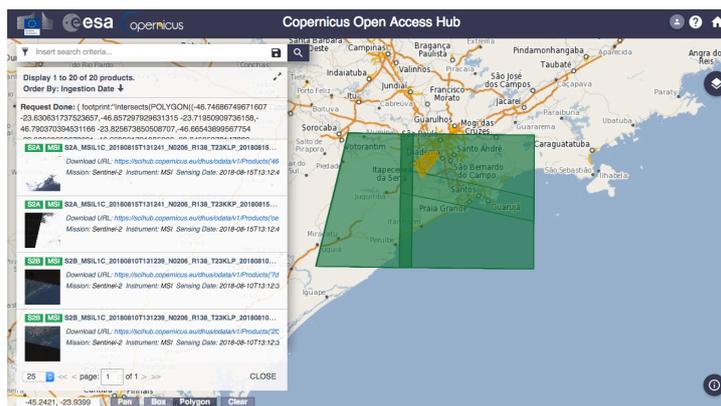


Fig. 11: Observação de duas cenas disponíveis, baseados nos critérios de busca empregados.

## Selecionar as imagens de interesse

Para selecionar a cena de interesse, no “Display” pousar o mouse sobre um dos links e observará o nome da imagem e algumas informações importantes, o círculo azul na Fig. 12. Neste círculo está anotada a posição do código de referência da cena escolhida. Lembre-se, nesta lista de imagens, as que interessam são as que estão anotadas como S2A e S2B (Fig. 13), pois são as imagens dos satélites Sentinel 2 A e B.

Na Fig. 14 são apresentados os códigos das cenas do Sentinel 2 para todo o Brasil, mas também poderá ser acessado pelo site [http://shop.forest-gis.com/pages/mapas/Sentinel\\_grade.jpg](http://shop.forest-gis.com/pages/mapas/Sentinel_grade.jpg).

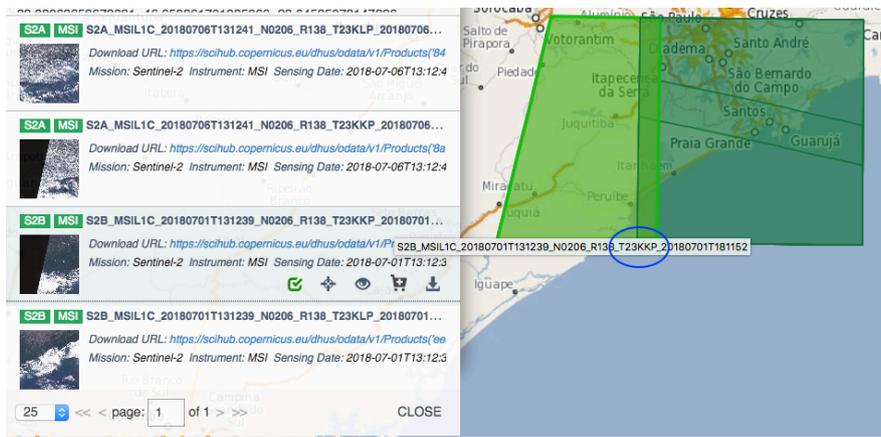


Fig. 12: Informações das cenas disponíveis no banco de dados.

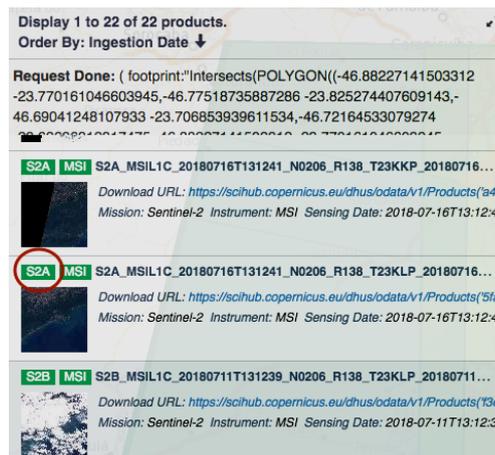


Fig. 13: Simbologia para verificar a imagem de interesse para o satélite Sentinel 2 A (S2A).



Fig. 14: Códigos de cenas para as imagens Sentinel 2 para o território brasileiro.

Após passar por todas as etapas descritas acima, agora é necessário verificar se há disponibilidade de imagem com suficiente qualidade para a cena de interesse, o que permitirá atingir os objetivos propostos na pesquisa.

No caso dos estudos da qualidade da água em reservatórios, é fundamental que as imagens enxerguem todo ou quase todo o espelho de água, com pouca interferência entre os sensores e a massa de água, como decorrente da presença de nuvens. Os modelos empregados na estimativa das concentrações de clorofila e de ficocianina e da profundidade do disco de Secchi, estão baseados em bandas influenciadas pela presença de nuvens. Estando presentes em grandes quantidades, as nuvens poderão inviabilizar enxergar o espelho de água e, deste modo, não estimar os valores e não observar possível heterogeneidade espacial horizontal da qualidade da água superficial. No entanto, poderá não inviabilizar outros usos, pois uma porção da imagem poderá estar apta, livre da presença de nuvens, e nessa área o pesquisador poderá trabalhar e estimar as concentrações de clorofila média para o reservatório, ou ao menos para a porção visível, particularmente quando o objetivo principal for o monitoramento.

Para selecionar a imagem, no “Display” rolar o mouse e na pequena imagem da esquerda (Fig. 15a, seta azul), verificar a existência de nuvens. Com essa conferência inicial, já é possível excluir algumas imagens, principalmente as com muitas nuvens. Também poderá clicar no “olho” (Fig. 15a, círculo e seta em vermelho) e terá um “preview” da mesma (Fig. 15b, círculo azul), com um aumento um pouco maior, com a imagem do satélite ao lado direito e o mapa de localização ao lado esquerdo, o que permitirá conferir a posição da cena. Ao clicar na imagem da direita, nesta nova versão do *template*, poderá descarregar a imagem ou também poderá clicar no ícone apontado pela seta vermelha (Fig. 15b), ou se desejar descartá-la, clicar no ícone apontado pela seta laranja (Fig. 15b) e seguir com a busca.

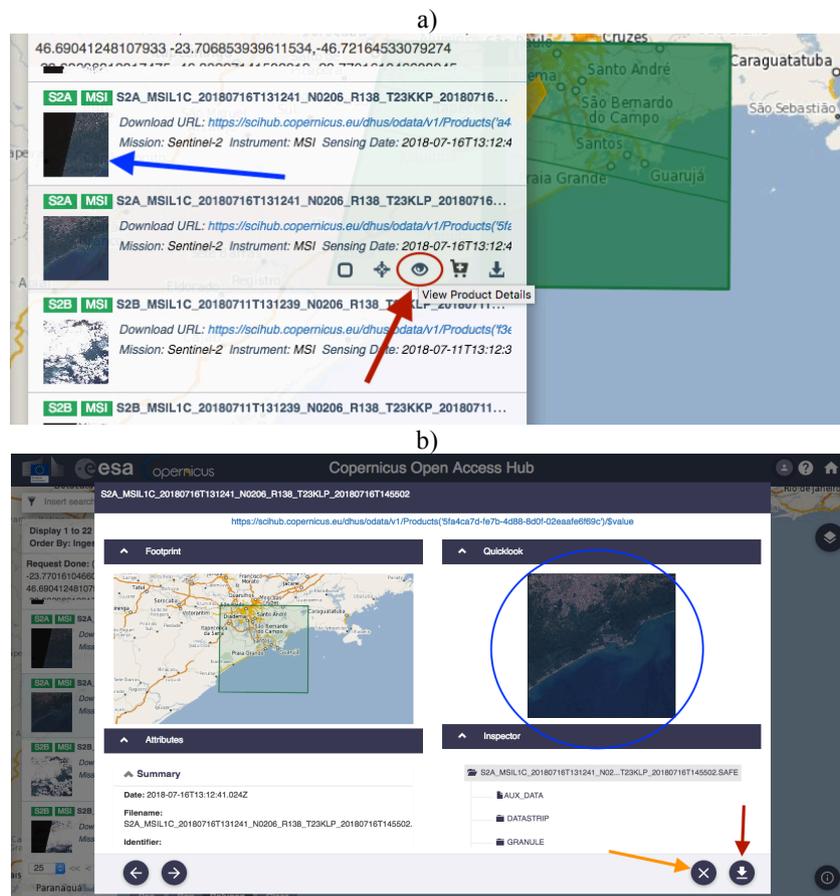


Fig. 15: Procedimentos para observar as imagem e com isso melhor decidir qual imagem baixar. Ver texto.

## Baixar a imagem

Ao selecionar uma imagem e iniciar o seu download, esta será descarregada em arquivo .zip, que poderá ter mais de 1 GB (Fig. 16). Terá um nome muito extenso, como o exemplo a seguir:

S2A\_MSIL1C\_20170624T132231\_N0205\_R038\_T22KHA\_20170624T132727.SAFE,

representando data e horário de tomada da imagem, referências da cena, etc. Cada cena do Sentinel 2 tem 100 x 100 km (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/Sentinel-2-msi/product-types>).

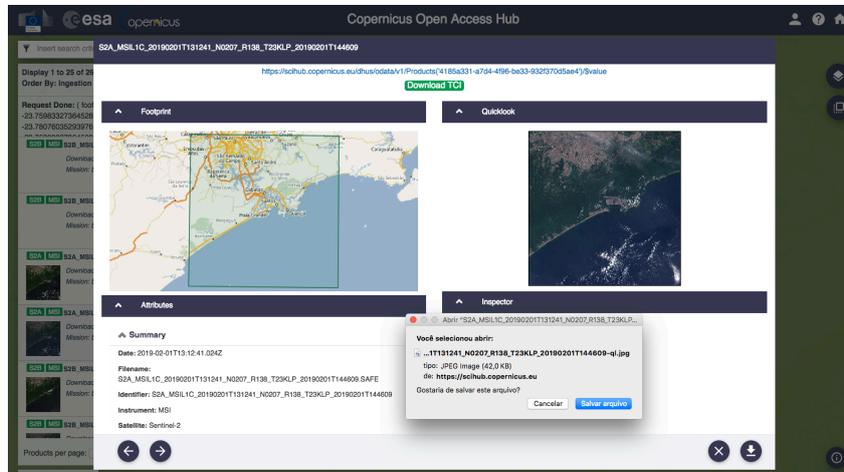


Fig. 16: Preparação para baixar a imagem selecionada. Neste ponto é possível selecionar a pasta para baixar o arquivo.

Caso não altere a pasta, a imagem será descarregada em Download. Posteriormente mover esse arquivo. Como sugestão, a primeira pasta deverá referenciar o local da imagem, por exemplo Guarapiranga, e a segunda o dia da imagem (2017\_06\_24), importantes referências para o trabalho. Recomenda-se adicionar uma única imagem por pasta e descompactar. Após descompactar, entrar na pasta criada e encontrará outras pastas com os metadados e a principal referência para abrir a imagem no SNAP, neste exemplo, o arquivo MTD\_MSIL1C (Fig. 17).

Para as imagens baixadas o tempo de *download* pode ser desde muito curto, como 4 minutos, a até mais de 40 minutos, independente de wifi ou cabo, com fibra ótica ou não. Parece que quem melhor define a velocidade de download é a disponibilidade dos servidores da ESA. Recentemente a ESA fez modificações no procedimento de *download* a agora alguns usuários, poderão baixar somente dois arquivos por vez. Além disso, também para alguns usuários, o cadastro inicial terá validade de somente 60 dias.

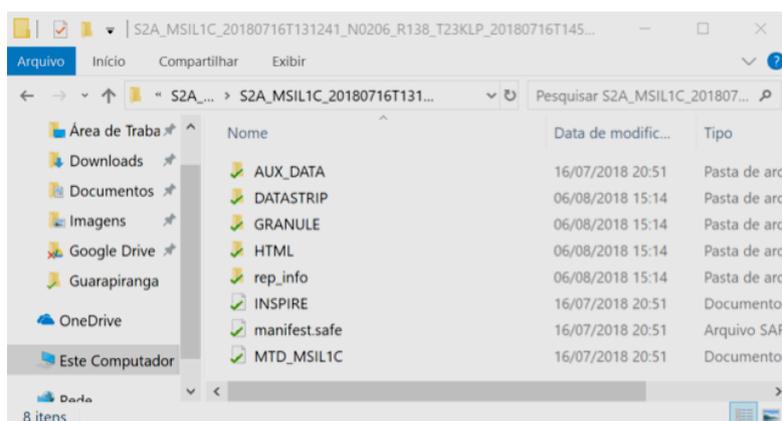


Fig. 17: Pasta com os arquivos descompactados e a principal referência para abrir a imagem. Ver texto.

## Baixar, instalar e atualizar o SNAP

Os procedimentos apresentados até aqui unicamente permitem procurar e baixar as imagens de interesse, mas para trabalhá-las há necessidade de instalar o *software* livre de processamento de imagem da ESA, o SNAP (<http://step.esa.int/main/toolboxes/SNAP/>). O SNAP processa as imagens do Sentinel 2 L1B, L1C, L2A e L3, mas também do Landsat-8, Spot 1 ao Spot 7, Spot4 Take5, Spot5 Take5, RapidEye e Deimos.

O SNAP é baixado em <http://step.esa.int/main/download/> (Windows, Mac ou Linux, sempre em 64 bit) (Fig. 18). Para Windows empregar o *Toolbox Windows 64-Bit*. Segundo o site <https://www.youtube.com/watch?v=fyQGPc9cNVw>, o SNAP deverá ser instalado em uma máquina somente para ele, pois o Python nativo poderá conflitar com outros programas de geoprocessamento. Também recomenda rodá-lo em uma máquina virtual, como o Virtual Box (<https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>), isolando-o dos demais programas.

O tutorial da ESA (<https://www.youtube.com/watch?v=njS1iQPIOGU&feature=youtu.be>), para instalar o SNAP e o Sen2cor, o *plugin* que fará a correção atmosférica, está desatualizado. Periodicamente a ESA libera novas versões do SNAP, mas o tutorial disponibilizado segue o mesmo. Em versões anteriores, havia inúmeras passagens para ativar o Anaconda e o Sen2cor, agora nativos e mais fáceis de instalar e rodar corretamente. Este manual se referirá a versão 6.0.0.

Ao baixar o SNAP, em Download encontrará o arquivo: esa-SNAP\_sentinel\_windows-x64\_6\_0, referente a última versão Windows. Dê dois cliques e siga as instruções para a instalação. Numa determinada etapa perguntará se quer seguir como desenvolvedor para o Python, se for o caso, do contrário não marque e siga em frente. Após concluir o processo de instalação, será criado um ícone no desktop e o SNAP já estará pronto para ser rodado. O próximo passo será atualizar o programa (Fig. 19). Para atualizar dê dois cliques no ícone criado e após aberto entre em “Tools” e “Plugins”. Na janela que se abrirá clique em “Updates” e em “Check for Updates”, marque e atualize tudo em “Update”. Lembrem-se, não é recomendado trabalhar com o SNAP sem previamente tê-lo atualizado, assim, periodicamente confirme e atualize se necessário.

	Windows 64-Bit	Windows 32-Bit	Mac OS X	Unix 64-bit
<b>Sentinel Toolboxes</b>	These installers contain the <b>Sentinel-1</b> , <b>Sentinel-2</b> , <b>Sentinel-3</b> Toolboxes			
	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>
<b>SMOS Toolbox</b>	These installer contains only the <b>SMOS Toolbox</b> . Download also the <a href="#">Format Conversion Tool</a> (Earth Explorer to NetCDF) and the <a href="#">user manual</a> .			
	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>
<b>All Toolboxes</b>	These installers contain the <b>Sentinel-1</b> , <b>Sentinel-2</b> , <b>Sentinel-3</b> Toolboxes, <b>SMOS</b> and <b>PROBA-V</b> Toolbox			
	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>	<a href="#">Download</a>

Fig. 18: Diferentes instaladores para download da última versão do SNAP.

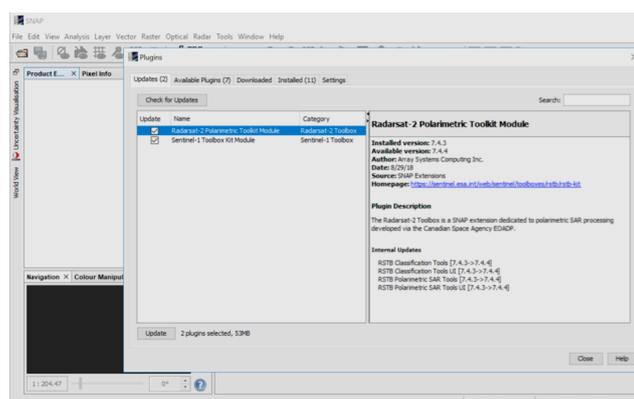


Fig. 19: Procedimento para atualizar o SNAP.

Ao ter aberto o SNAP, o usuário observará que o seu *template* está dividido em diferentes áreas de trabalho (Fig. 20).

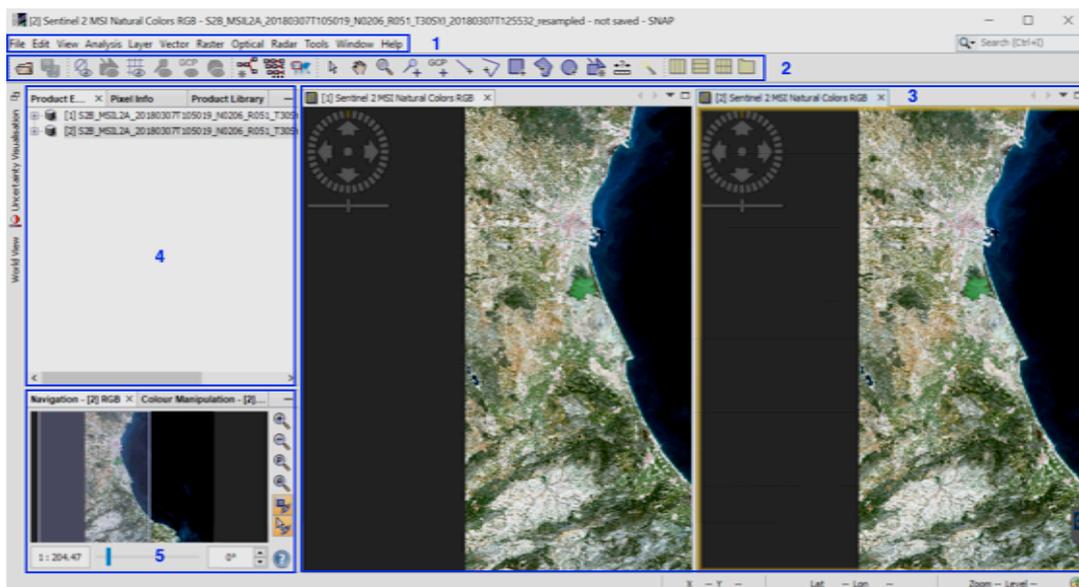


Fig. 20: O *template* do SNAP, instalado em Windows 10 64 bit. 1- barra de menu; 2- barra de ferramentas 3- visor de imagens; 4- visor de produtos; 5- janela de navegação.

## Instalar Sen2cor

O Sen2cor é o *plugin* empregado pelo SNAP para processar a correção atmosférica. Para instalar esse *plugin*, primeiramente atualize o SNAP, como comentado. Após atualização abra novamente o SNAP e vá em “Tools”, “Plugins” e “Available plugins” e procure o “Sentinel 2 SEN2COR Processo” (Fig. 21a), ative-o na caixinha ao lado esquerdo e vá para “Install”. Após instalar o Sen2cor, o SNAP solicitará para reiniciar. Em seu retorno automático vá para “Tools”, “Plugins” e “Installed” (21b), quando observará o Sen2cor já instalado. Como última etapa, vá novamente em “Tools”, mas agora em “Manage External Tools” e para ativá-lo, primeiramente selecionar o *plugin* e posteriormente o ícone de edição. Na janela seguinte, entrar em “Bundled Binaries” e escolher instalar. Uma vez instalado, em “System Variables”, verificar se o *path* SEN2COR BIN se encontra devidamente direcionado. Ao observar novamente a janela do “Manage External Tools”, o *status* deverá aparecer como correto (✓, Fig. 21c), o que demonstrará que terá o Sen2cor ativado e pronto para fazer a correção atmosférica.

## Instalar SNAP e Sen2cor no Mac 🍏

Para instalar o SNAP no Mac, em <http://step.esa.int/main/download/> baixar o *Toolbox* Mac OS X (Fig. 18), descompactar e instalar, seguindo os procedimentos apresentados anteriormente. Também neste caso, atualize tudo e depois instale o Sen2cor. Após a instalação, caso o Sen2cor não esteja ativado (Fig. 22a), marque o *plugin* Sen2cor e vá em “Edit the selected operator”. Na janela que se abre, vá na aba “Blundled Binaries” (Fig. 22b) e clique em “Download and Install Now” para proceder a instalação (Fig. 22c). Após esta instalação, deverá observar o Sen2cor ativado (Fig. 22d). Esta operação de “Download and Install Now” poderá ser necessário executar quando da ativação do Sen2cor não ocorrer de modo automático também para o Windows. Tanto para o Mac como para o Windows, mesmo seguindo estes procedimentos o Sen2cor poderá permanecer desativado. Neste caso, ir em “Tools”, “Plugins” e na aba “Installed”, desabilitar o Sen2cor. No retorno do SNAP repetir a operação de instalação e ativação do Sen2cor.

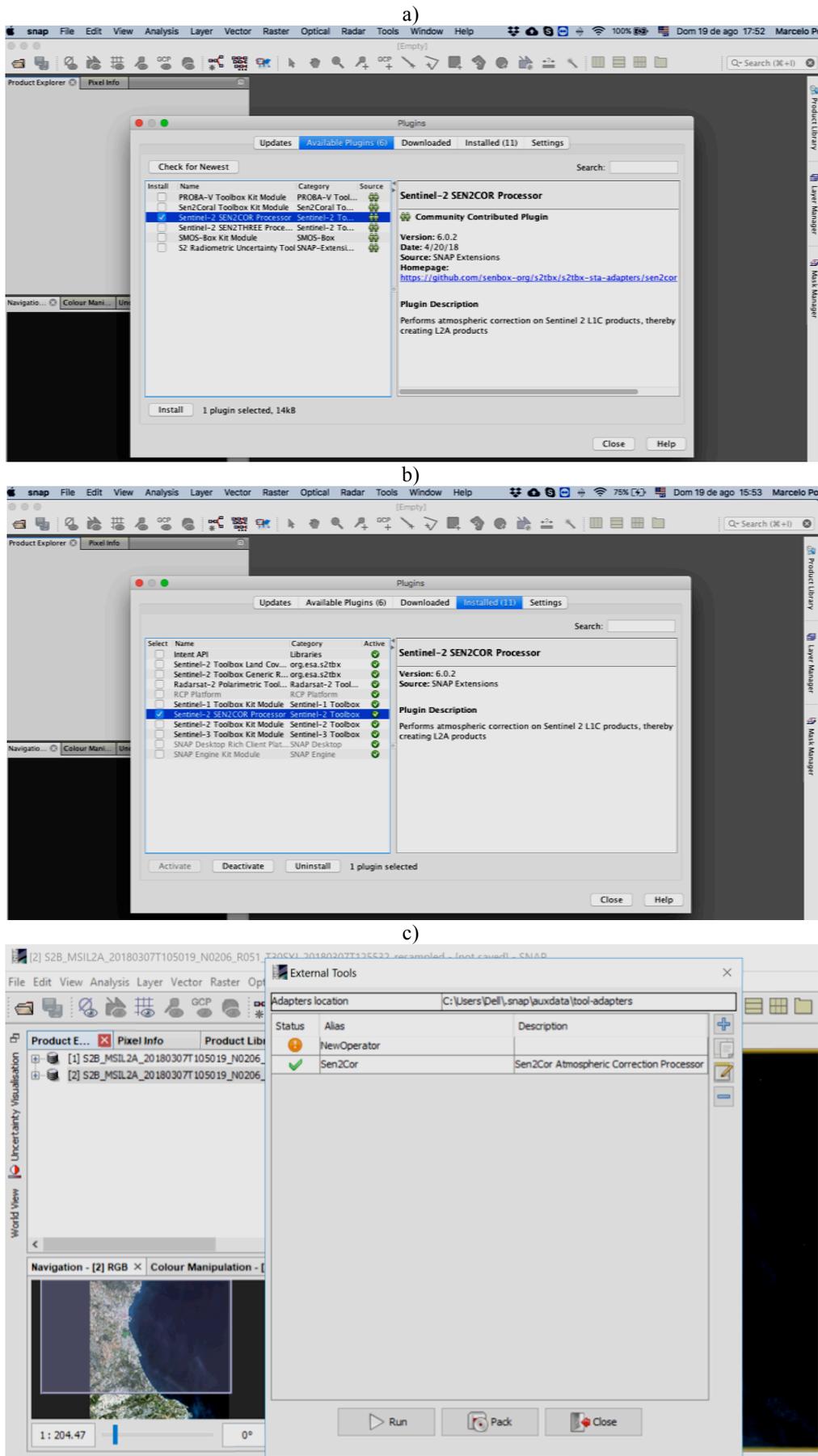


Fig. 21: Etapas para ativação do *plugin* Sen2cor no Windows. Ver texto.

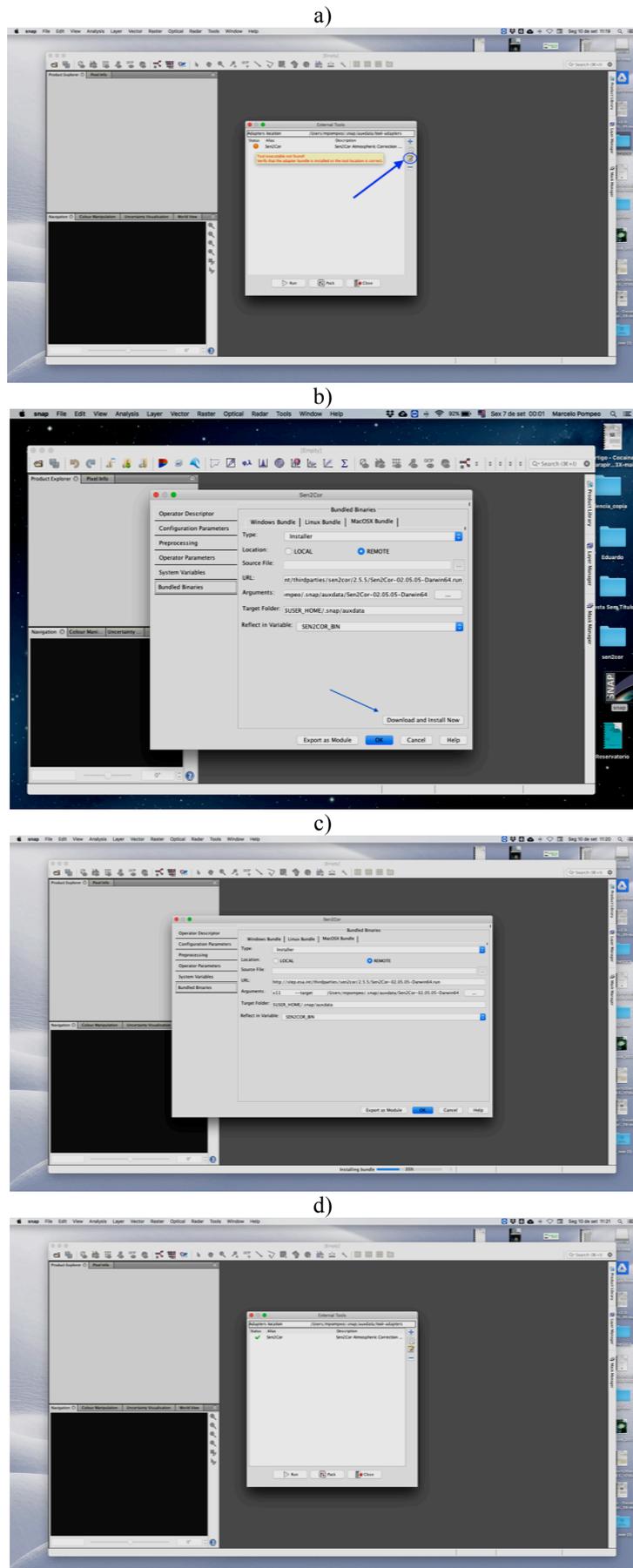


Fig. 22: Procedimentos para ativar o *plugin* Sen2cor no Mac.

## Abrir imagem e a correção atmosférica

A correção atmosférica é a primeira e fundamental etapa para se trabalhar com as imagens de uma dada cena do Sentinel 2 para o território brasileiro. Ao baixar a imagem de interesse, vá para a pasta principal (Fig. 17) e observará um extenso nome, como o exemplo abaixo:

S2A\_MSIL1C\_20180716T131241\_N0206\_R138\_T23KLP\_20180716T145502.

Como comentado, o nome do arquivo já passa algumas informações sobre a imagem, como a hora de tomada da imagem e de qual cena, por exemplo. No link a seguir (<https://goo.gl/JZbCpy>), há outras informações sobre esses códigos. Por ora o que importa são os primeiros elementos (S2A\_MSIL1C), que mostram que a imagem apresenta processamento nível L1C (<https://goo.gl/TA2Qv2>) e, portanto, necessitará de correção atmosférica (<https://goo.gl/m36TKc>). Imagens corrigidas só estão disponíveis para baixar apenas para a Europa, pois a ESA libera para seus parceiros imagens em nível L2A (<https://goo.gl/pJTgkN>)<sup>1</sup>. Para todos os demais há necessidade da correção atmosférica. Deste modo, todas as imagens que baixamos para o território brasileiro são nível 1C, indicando a obrigatoriedade para se fazer a correção atmosférica.

Para seguir com a correção atmosférica, abra o SNAP e na barra de ferramentas clique em  (Fig. 23a) para localizar o arquivo na pasta descompactada, que tem a seguinte grafia: MTD\_MSIL1C.xml. Após ter a imagem já aberta no visor de produtos do SNAP (“Product Explorer”), pouse o mouse sobre o arquivo aberto e dê um clique com o botão direito, ao abrir, vá para “Open RGB Image Window” (Fig. 23a) e verifique se está anotado “Sentinel 2 MSI Natural Colours” e clique em OK na janela que se abre (Fig. 23b), quando então terá aberta a imagem no visor de imagens (Fig. 23c). Lembre-se, para uso esta imagem necessitará da correção atmosférica.

Para efetivamente corrigir a imagem entre em “Optical”, “Thematic Land Processing” e Sen2cor (Fig. 24a). Na janela que se abrirá, observar se está apontada para a imagem correta (24b). Na outra janela, a “Processing Parameters”, ajuste a imagem para 10 m em “Resolution” (Fig. 24c). Posteriormente, ative o “Display execution output”, quando abrirá uma janela negra abaixo. Essa janela servirá para acompanhar o processamento da correção atmosférica. Caso ocorra algum problema que aborte a execução da correção atmosférica, nessa janela será possível acompanhar o ocorrido. No exemplo da Fig. 24e, está apresentada a parte final da conferência, com sucesso na correção atmosférica, e com uma duração de 1178 segundos para todo o processamento, ou seja, um pouco mais de 19 minutos para toda a cena, mas para outras imagens a correção atmosférica poderá demorar mais de 30 minutos. Finalizada a correção atmosférica, no visor de produto há outra linha, anotado “[2] Output Product” (24e). Ao término da correção atmosférica, dentro da pasta L1C, observará que foi criada uma nova pasta (Fig. 25a), com o mesmo nome da anterior, no entanto, desta vez se encontra no nível L2A, agora com correção atmosférica pelo Sen2cor. Siga os procedimentos já apresentados para abrir esta imagem, e terá ao lado direito da primeira imagem nível L1C, a outra agora com nível L2A (  [2] Sentinel 2 MSI Natural Colors RGB ), com correção atmosférica (Fig. 25b).

Caso a imagem descompactada não possa ser aberta ou processada pelo Sen2cor, o mais indicado será repetir as etapas. A experiência do Laboratório de Processamento de Imagens (IPL), da Universidade de Valência, em Paterna, Espanha, recomenda deletar todas as pastas criadas e novamente descompactar a imagem e repetir a operação com o Sen2cor.

Na Fig. 26 é possível observar duas imagens, representando o mesmo detalhe de uma cena, os reservatórios Jaguari e Jacareí (São Paulo, Brasil), uma sem e a outra já com a correção atmosférica gerada pelo Sen2cor.

Para ter facilitado o trabalho, o SNAP possui algumas funcionalidades. Na janela de navegação é possível alterar o modo de visualizar as imagens, como horizontal ou vertical. Na barra

<sup>1</sup> Neste parágrafo os links da ESA foram reduzidos por questão de formatação.

de ferramentas os ícones (  Fig. 27) permitem adicionar mais de uma imagem. Na Fig. 27 a imagem [1] é a de nível L1C e a [2] é a corrigida pelo Sen2cor, de nível L2A.

Ainda nesta publicação será apresentado outro procedimento para a executar a correção atmosférica, no item Correção atmosférica com C2RCC.

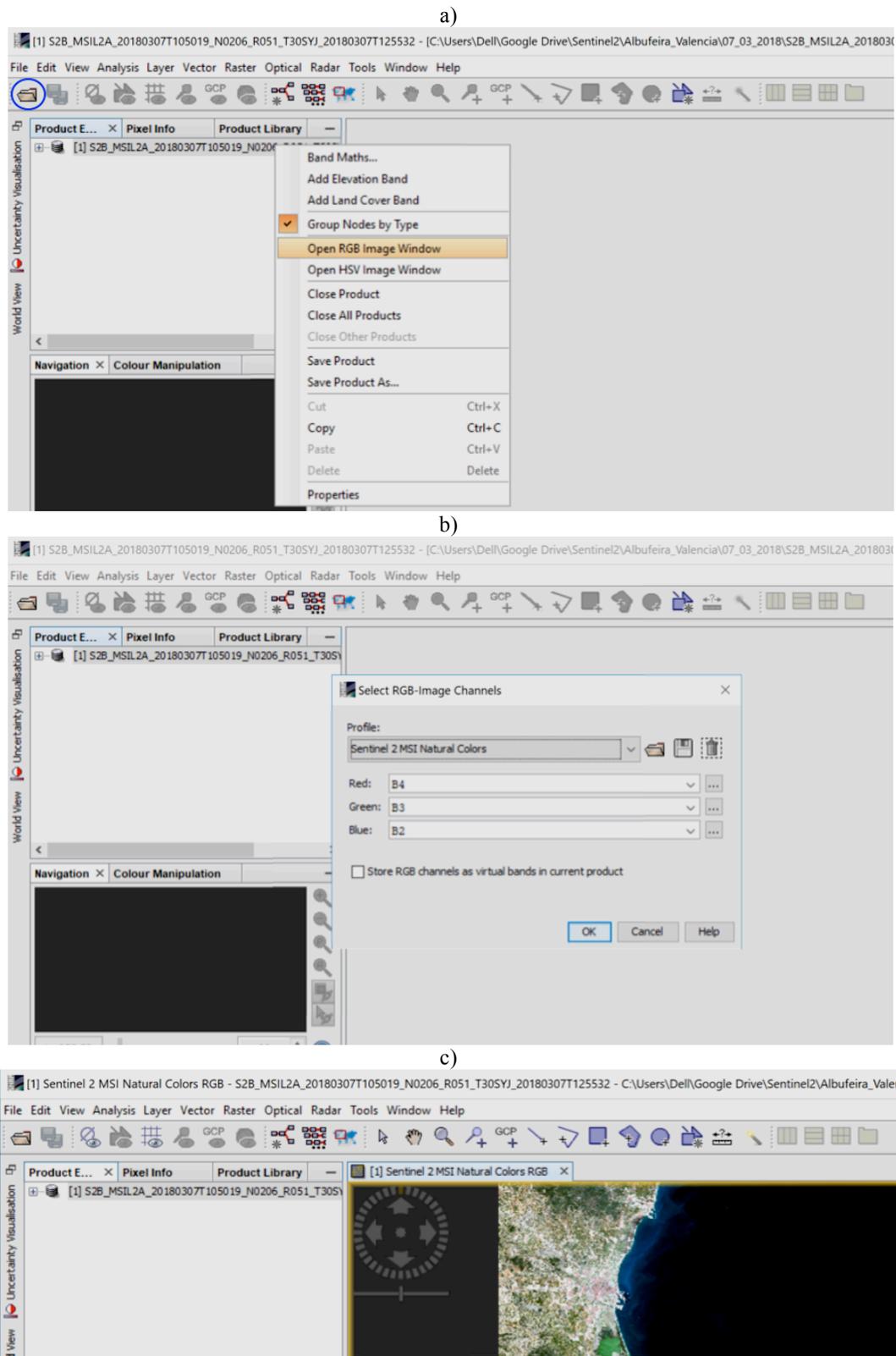


Fig. 23: Procedimentos para abrir uma imagem do Sentinel 2 (A e B).

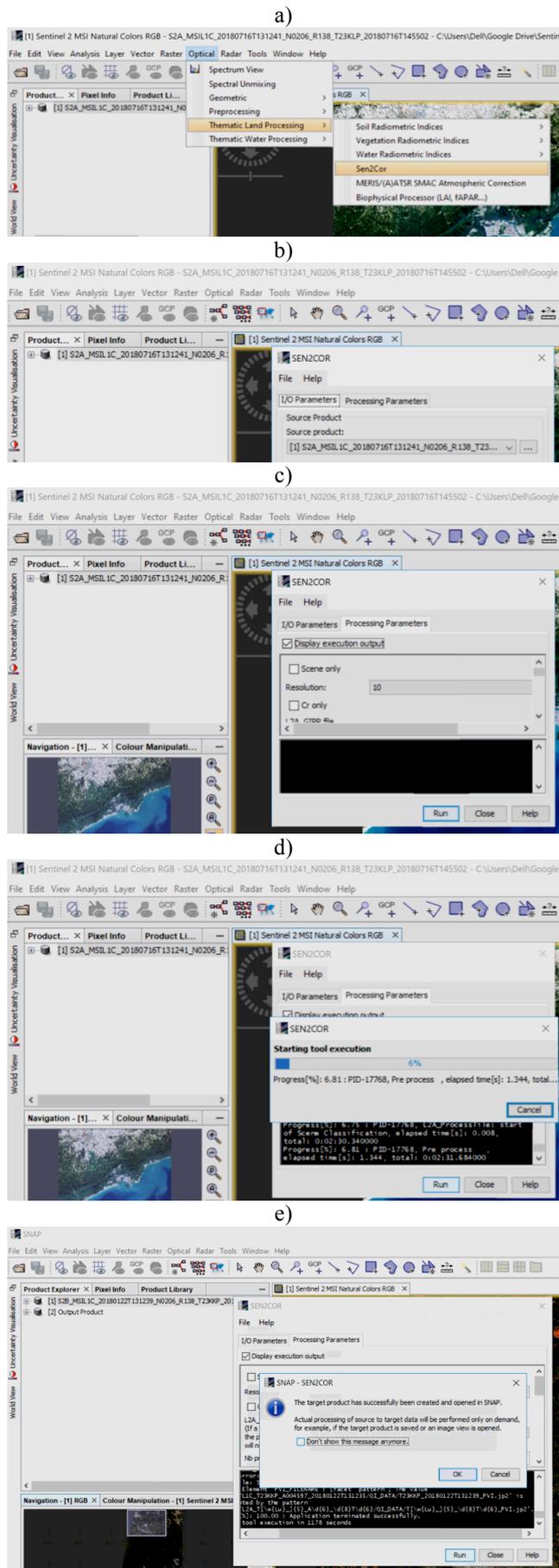


Fig. 24: Procedimentos para executar a correção atmosférica com o Sen2cor.

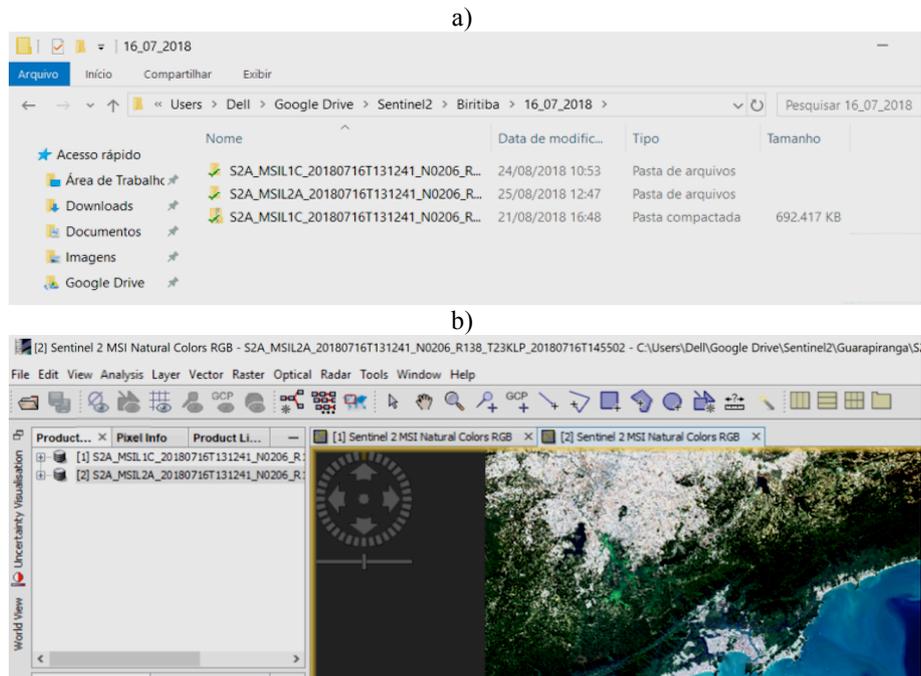


Fig. 25: Nova pasta criada (a) e imagem nível 2A (b) gerada pelo Sen2cor.

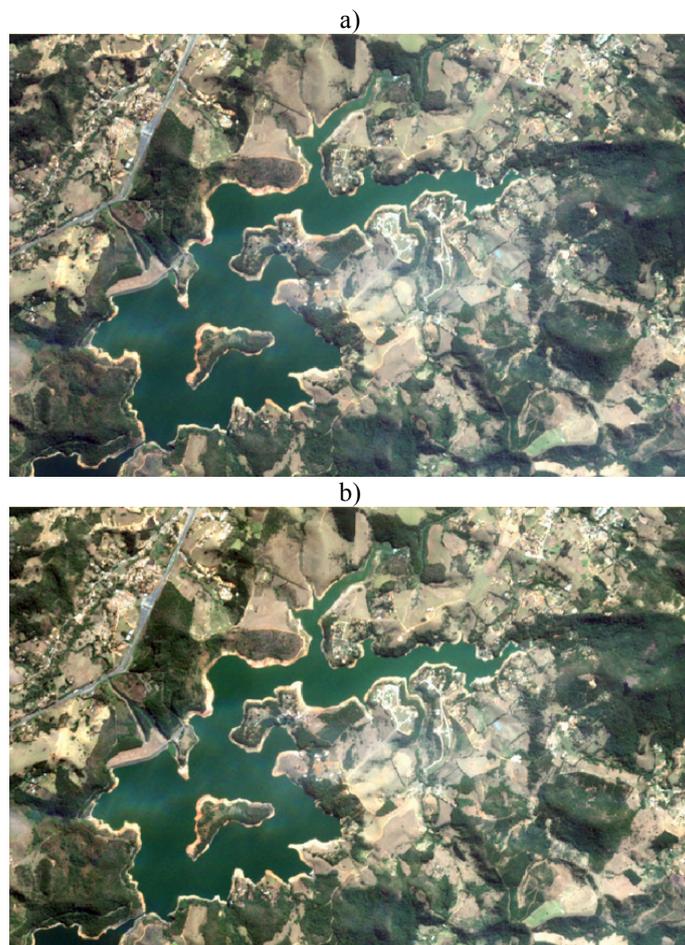


Fig. 26: Detalhes de cena, a) sem correção atmosférica, e b) com correção atmosférica, do Reservatório Jaguari, o primeiro reservatório do Sistema Cantareira (São Paulo, Brasil).

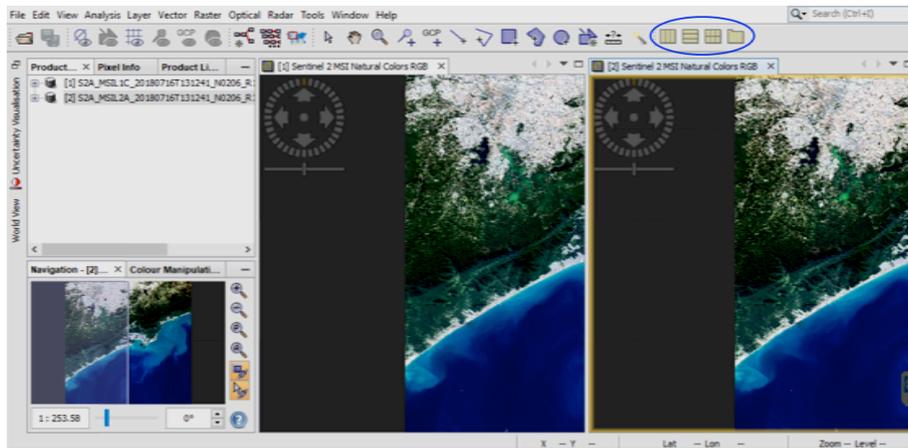


Fig. 27: Ícones na barra de ferramenta do SNAP que permitem visualizar múltiplas imagens.

## Aplicar o “Resampling”

Após a correção atmosférica será necessário aplicar o “Resampling”, um procedimento empregado para equalizar o tamanho de bandas, indispensável quando se utiliza bandas de diferentes resoluções espaciais. Sempre deve ser executado após a correção atmosférica com o Sen2cor. No link da ESA são apresentadas algumas informações sobre as diferentes bandas do Sentinel 2 (<https://goo.gl/yT9GEs>)<sup>2</sup>, copiadas na (Fig. 28), com bandas de 10 m, 20 m e 60 m.

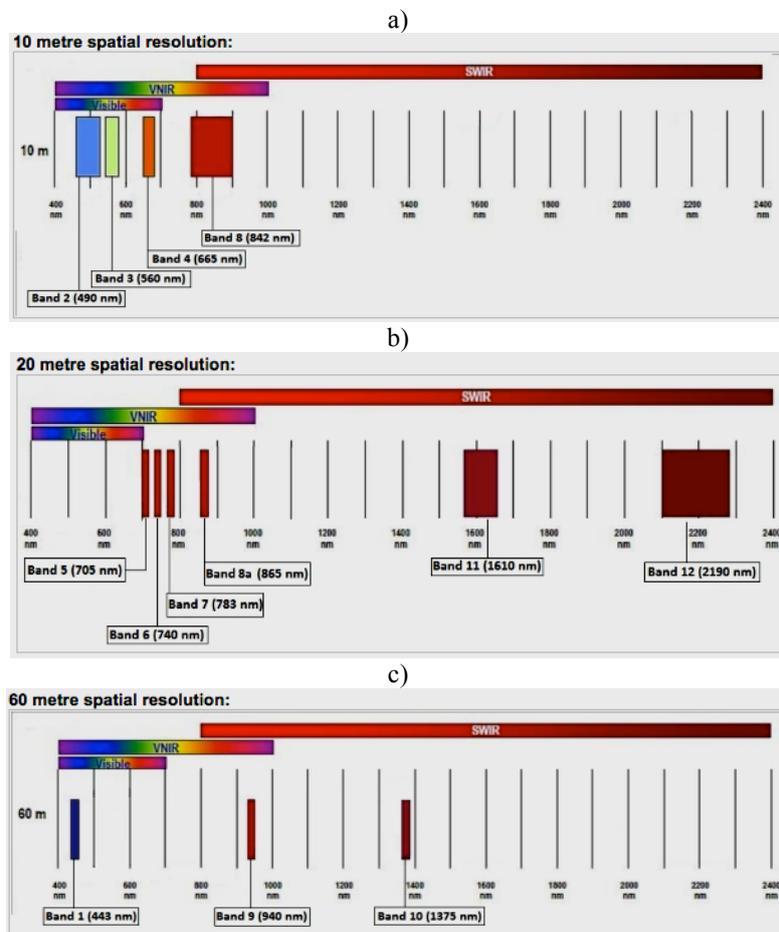


Fig. 28: Resolução espacial para diferentes bandas empregadas pelo satélite Sentinel 2: a) 10 m, b) 20 m, e c) 60 m.

<sup>2</sup> O link da ESA foi encurtado por questão de formatação.

Para efetivamente aplicar o “Resampling”, na imagem já corrigida (nível L2A), entrar em “Raster”, “Geometric Operations” e “Resampling”. Na página que se abrirá, confirme o nome da imagem de interesse. Vá para “Resampling Parameters” e em “By reference band from source product” anote B2, pois esta banda tem 10 m de resolução espacial, e verifique se em “Upsampling method” está anotado “Nearest”, e clique em “Run”. Após o processamento, aparecerá uma pequena janela informando a criação desse novo produto, observado abaixo do produto anterior, no visor de produtos (Fig. 29). Para abrir essa nova imagem, cujo final termina em “\_resampling”, pouse o mouse sobre o produto criado, dê um clique com o botão direito, ao abrir, vá para “Open RGB Image Window” e verifique se está anotado “Sentinel 2 MSI Natural Colours” e clique em OK, e a nova imagem aparecerá no visor de imagens (Fig. 30). Após estes procedimentos, em função do tamanho do arquivo gerado, o mais conveniente é que a imagem seja cortada no ponto de interesse e salva com menor peso. Maiores detalhes no próximo item (Cortar imagem).

Para conferir o “Resampling”, com o mouse reduza o zoom até ser possível visualizar o pixel (Fig. 31). Entre na aba “Pixel Info”, seta azul da Fig. 31, e posteriormente pouse o mouse em um dado pixel e na posição do círculo negro dessa figura observará suas coordenadas. Ao mover o mouse para cima/baixo ou para os lados, mas para o pixel imediatamente contíguo ao anterior, ao comparar as coordenadas, em UTM, observará uma diferença, segundo a resolução espacial empregada no “Resampling”.

Após todas estas etapas já terá a imagem preparada para aplicar as equações de interesse. Mas após “Resampling”, para facilitar o trabalho dos usuários, o SNAP já possui algumas combinações de bandas nativas. Para observá-las pouse o mouse sobre o arquivo do “Resampling”, aberto em “Product Explorer” e dê um clique com o botão direito, ao abrir, vá para “Open RGB Image Window” e, como já comentado, deverá ter anotado “Sentinel 2 MSI Natural Colours”, mas com o mouse poderá alterar para uma outra combinação de bandas de interesse (Fig. 32).

## Cortar imagem

De modo geral, trabalhar a imagem de toda uma cena é muito demorado. Assim, o mais indicado é recortar a imagem, removendo porções que não estão diretamente envolvidas com o objetivo do trabalho. Com um arquivo menor os processamentos são agilizados. Uma maneira prática de recortar a área é deixar toda a porção de interesse dentro da área do visor de imagens, clicar com o botão direito pousado sobre a imagem e entrar em “Spatial Subset from View”, e dar OK (Fig. 33). A menor imagem criada manterá todas as qualidades da cena, mas com um peso muito reduzido para o processamento. Caso ainda queira reduzir o peso do arquivo, pousar o mouse sobre a imagem, clicar com o botão direito e entrar em “Spatial Subset from View”, mas desta vez em “Band Subset” e desabilitar alguns itens. Como no Brasil dificilmente há neve, é possível desabilitar “quality\_snow\_confidence” (Fig. 34). Para salvar a imagem, pouse o mouse sobre o produto, dê um clique com o mouse da direita e vá em “Save Product” e depois em “Save”.

## Exemplo 1: O Disco de Secchi

No exemplo apresentado abaixo, será utilizada uma imagem dos reservatórios Jaguari e Jacaré (46° 25' 26" W e 22° 55' 26" S, São Paulo, Brasil), do Sistema Cantareira, composto por mais três reservatórios em sequência, com função de abastecimento público de cerca de 9 milhões de pessoas, com retiradas diárias de até 33 m<sup>3</sup>/s (POMPÊO *et al.*, 2017). A título de exemplo, as equações aplicadas, estimam a profundidade do desaparecimento do disco de Secchi, um pequeno disco de metal abaixado dentro da massa de água, da superfície em direção ao fundo, até o seu desaparecimento da visão do operador, auxiliando na estimativa da profundidade da zona fótica do reservatório (<https://goo.gl/YTvM51><sup>3</sup>).

<sup>3</sup> O link foi encurtado por questão de formatação.

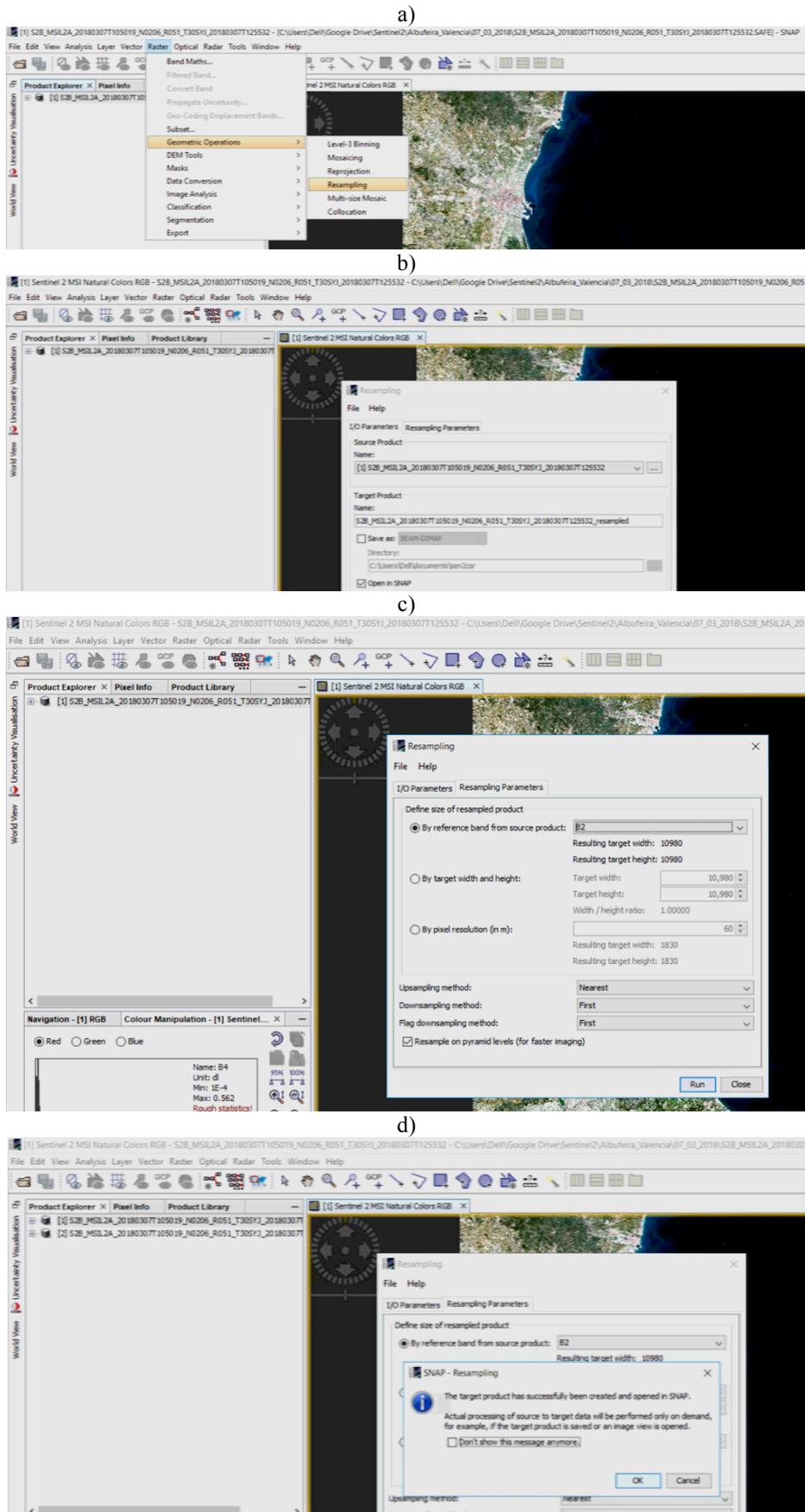


Fig. 29: Etapas do “Resampling”. Ver texto.

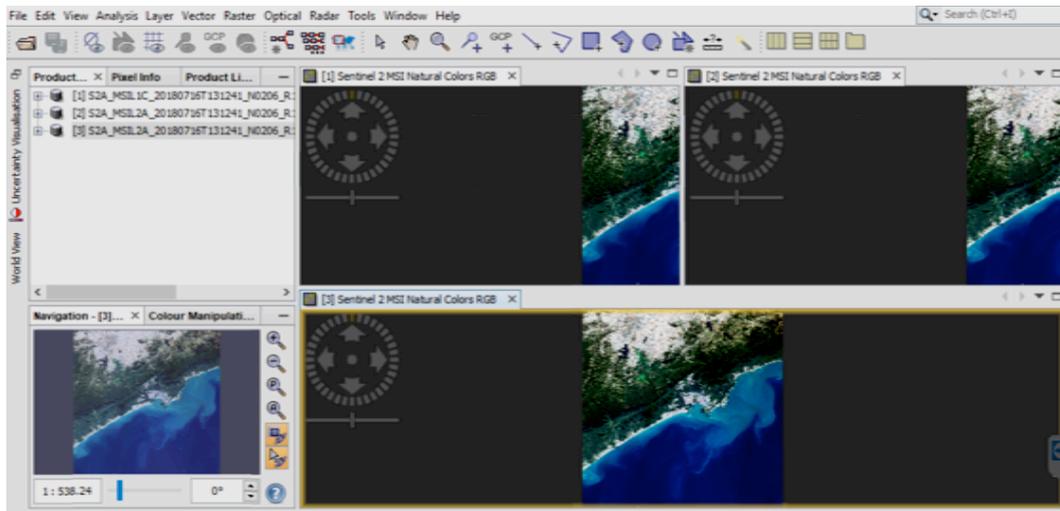


Fig. 30: Imagem nível 1C [1], Imagem nível 2A [2] e após o “Resampling” [3].

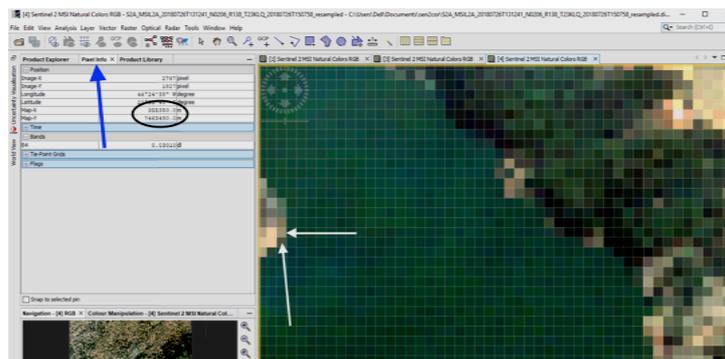
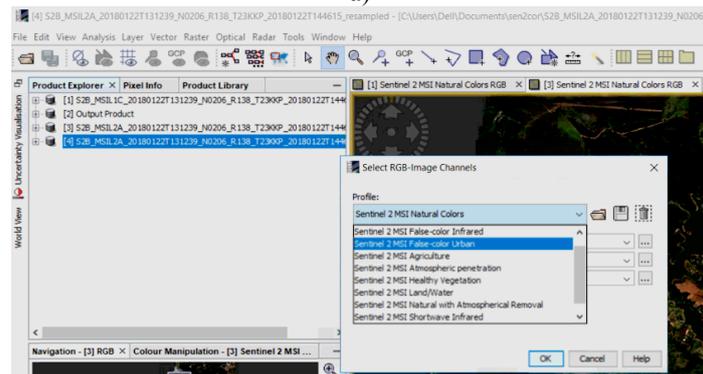


Fig. 31: Visualização das coordenadas do pixel para conferência do “Resampling”.

a)



b)

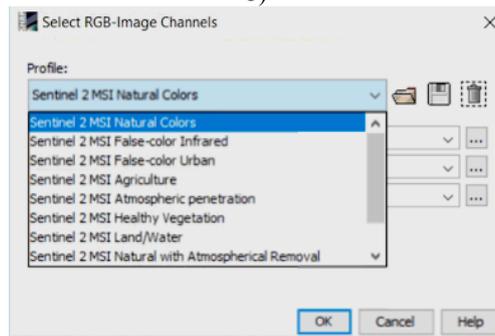


Fig. 32: Procedimentos para abrir imagens com combinação de bandas já nativas no SNAP.

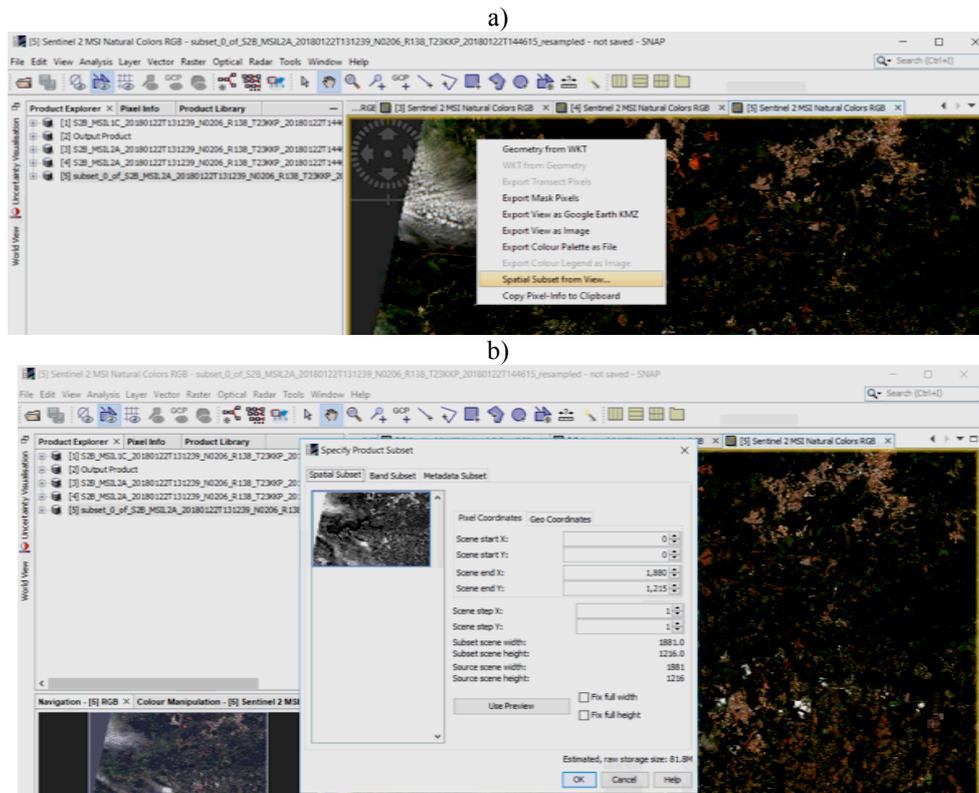


Fig. 33: Procedimentos para recortar a imagem da cena. Ver texto.

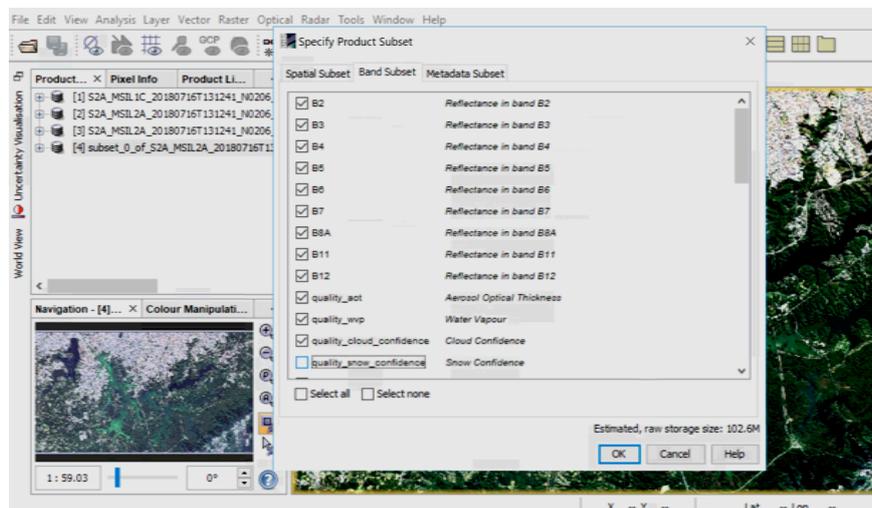


Fig. 34: Desabilitando produtos específicos. Ver texto.

Neste exemplo serão aplicadas equações bi bandas para gerar uma imagem representando diferentes profundidades para toda a massa de água, empregando as equações disponíveis em Soria-Perpinyà *et al.* (2018).

Com base nas equações empregadas, com a imagem corrigida pelo Sen2cor, o primeiro procedimento é gerar o “Ratio\_B3\_B5”. Para a imagem já com o “Resampling”, entrar em “Raster” e “Band Maths”. Na janela que se abre, em “Name”, nomear o que se pretende gerar (Fig. 35), neste caso “Ratio\_B3\_B5”, uma divisão entre as respectivas bandas B3 e B5. Em “Replace NaN and infinity results by”, anotar 0.0 (zero) e clicar em “Edit Expression”. Na nova janela que se abre utilize o painel central para as operações e a “Data sources” para os operadores, e construa a equação “B3 / B5”, e finalize em OK. Caso a expressão gerada apresente erro, aparecerá uma

notificação em vermelho. No exemplo está anotado em verde “Ok, no errors”, indicando que a equação está bem construída. A equação poderá ser salva e posteriormente recuperada. Caso decida empregá-la para outra imagem poderá ser recuperada em “Load”. Mas é sempre recomendável conferir a equação antes do uso. Após aplicar a equação, será gerada nova imagem com o nome “Ratio\_B3\_B5” (Fig. 36).

O próximo passo é aplicar a equação para o disco de Secchi. Assim, novamente entrar em “Raster” e “Band Maths” e dar nome para a imagem que será gerada, que neste exemplo será Disco\_Secchi. Em “Replace NaN and infinity results by”, anotar 0.0 (zero) e clicar em “Edit Expression”. Na janela que se abre utilize o painel central para as operações e a “Data sources” para os operadores, para adicionar a equação “0.224 \* 'Ratio\_B3\_B5' + 0.0836” (Fig. 37). Antes de finalizar verifique se a equação gerada apresenta algum problema. Neste exemplo anteriormente foi criado o “Ratio\_B3\_B5”, que deverá estar corretamente anotado na equação, com o mesmo nome que foi criado. Finalizando o procedimento, será gerada nova imagem chamada Disco\_Secchi. Também neste caso é recomendável que salve a equação para novos usos.

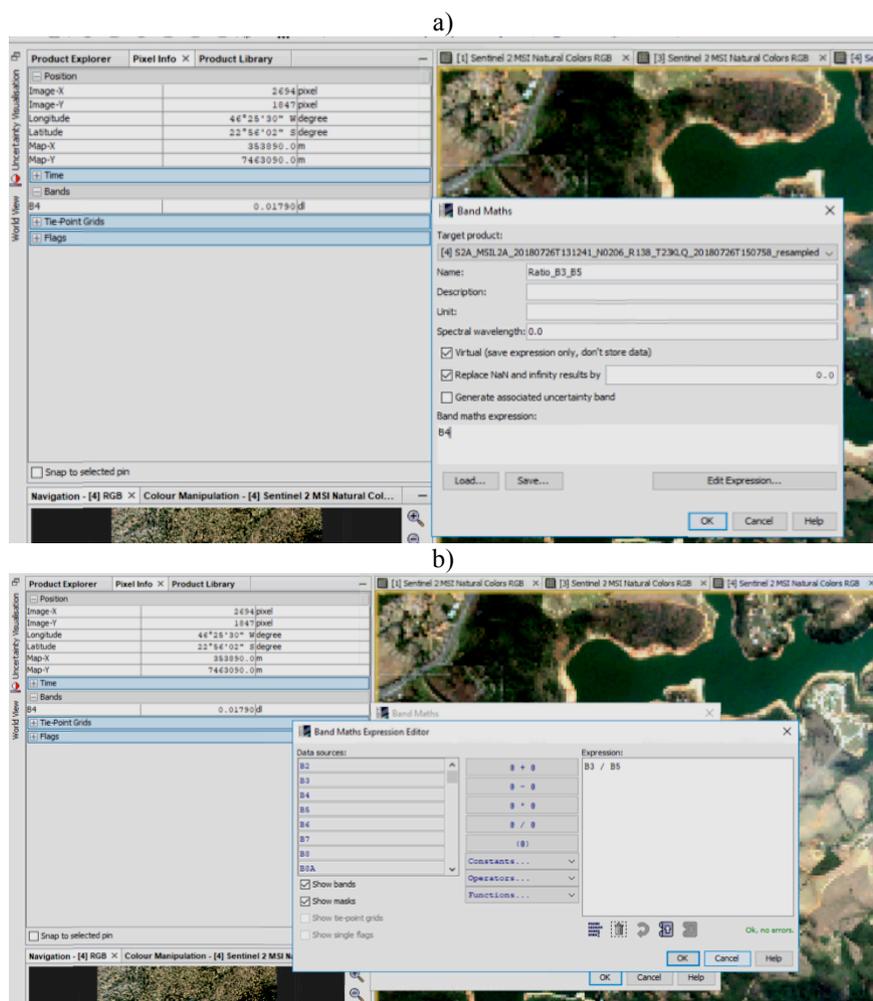


Fig. 35: Operações entre bandas para o cálculo da profundidade do disco de Secchi. Ver texto.

## Aplicando “Water Mask”

Também a título de exercício, para a imagem Disco\_Secchi, gerado acima, será aplicada uma máscara de água (WM – *water mask*), para melhor delimitação do corpo d’água. Nem sempre esta etapa será necessária, particularmente quando na última imagem gerada há clara delimitação entre o espelho de água e o entorno, mas é conveniente sempre aplicá-la.

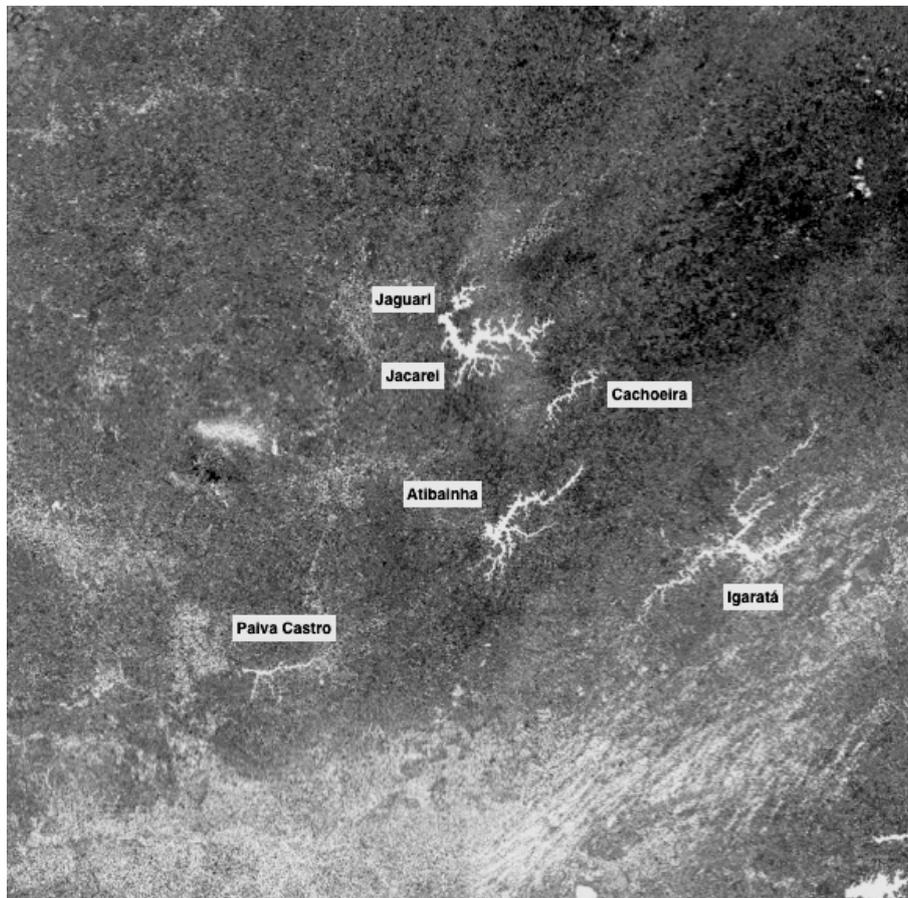


Fig. 36: Imagem gerada de toda cena de interesse, após aplicação da equação “Ratio\_B3\_B5”. Nesta cena é possível observar os cinco principais reservatórios do Sistema Cantareira, os reservatórios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e o Paiva Castro, bem como o reservatório de Igaratá.

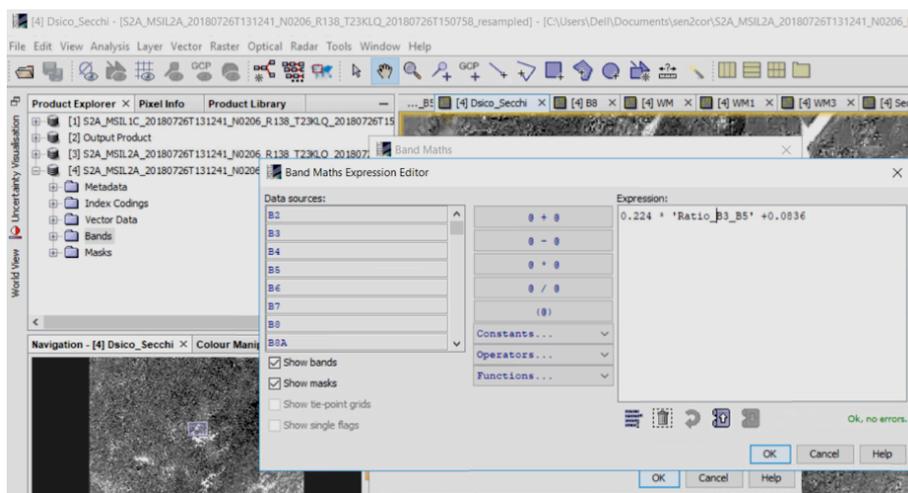


Fig. 37: Etapa do procedimento para inclusão da equação para estimar a profundidade do disco de Secchi.

Para criar a máscara de água entrar na aba “Product Explorer” e na imagem de interesse clicar em mais (+) para expandir a pasta e entre em “Bands”, quando observará todas as bandas que compõem esta cena. Poderá entrar em cada uma das bandas e escolher aquela que melhor discrimine a massa de água de seu entorno. Após ter selecionado a melhor banda, dar um zoom até observar os pixels referente as porções água e a terra, o entorno do reservatório (Fig. 38). Neste exemplo será empregada a banda B8. Ao entrar em “Pixel Info”, passear com o mouse pela porção

água, referente a banda B8, e observe os valores que vão se sucedendo a medida que troca de pixel. Neste exemplo, numa primeira passada no reservatório Jaguari, o maior valor encontrado estava abaixo de 0,039. Agora passeie com o mouse pelo entorno e observará que os valores são muito diferentes daqueles observados na massa de água. Siga com a observação, agora detalhando a zona de interface água / entorno. Também neste caso observará que ao passar da água para o entorno os valores dos pixels são muito diferentes quando comparado ao maior valor observado na massa de água. Já de posse desses números, é possível criar a WM.

A WM é criada entrando em “Raster” e “Band Maths” e nomeando a imagem que será gerada, que neste exemplo será WM. Em “Replace NaN and infinity results by”, anotar 0.0 (zero) e clicar em “Edit Expression”. Na janela que se abre adicionar a seguinte equação:  $\text{if } B8 < 0.039 \text{ then } 1 \text{ else } 0$ , e salvá-la. Esta condicionante está aplicando valor zero para todos os pixels com valores superiores ou igual a 0,039 e 1 aos menores (Fig. 39a).

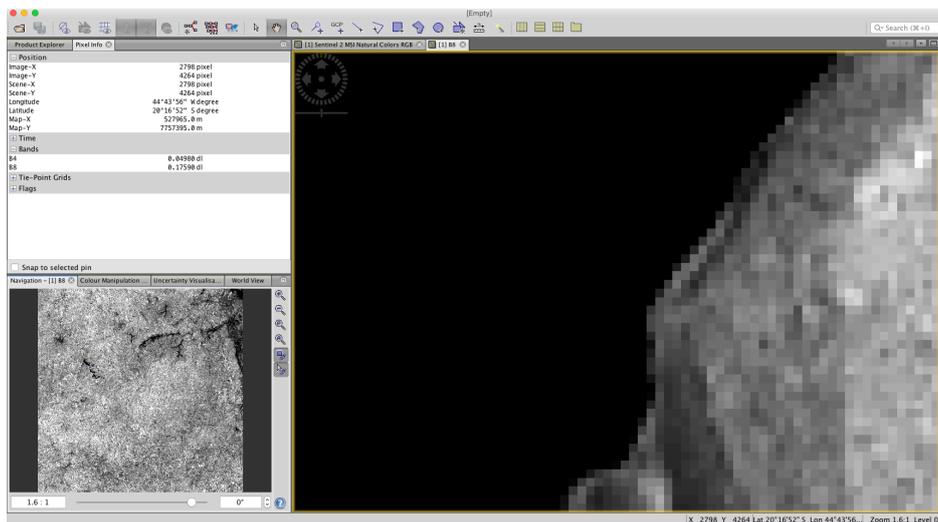


Fig. 38: Zoom da banda B8, sendo possível visualizar os pixels do espelho de água e do entorno do reservatório.

Ao observar em detalhe a nova imagem WM gerada, é possível verificar que para o reservatório Jacareí, o valor escolhido para separar a massa de água do entorno não está adequado, pois parte do espelho de água está sendo confundido com a terra, marcado no círculo em vermelho da Fig. 39a. Ao conferir os valores dos pixels para o reservatório Jaguari, na imagem da banda B8, optou-se por alterá-lo para 0,050 e refazer a WM (Fig. 39b), agora denominada de WM3, pois o SNAP não permite criar o mesmo nome para um mesmo produto aberto.

A próxima etapa é combinar as imagens do Disco\_Secchi com a WM3, bastando entrar em “Raster” e “Band Maths” e editar equação “Disco\_Secchi \* WM3”, uma simples multiplicação, gerando nova imagem (Fig. 40). Considerar que já foram apresentados os procedimentos para corretamente gerar e salvar a equação em “Raster” e “Band Maths”.

Como pode ser observado, estes procedimentos de cálculos funcionam como uma planilha do Excel, pois permite a interação entre diferentes arquivos, neste caso chamados de bandas, e de células, mas aqui definidas por pixels, e a incorporação de novos valores a um dado pixels, permitindo gerar uma nova imagem de interesse.

## Deixar a imagem bonita e visível

Como etapa final, temos a preparação da imagem para ter maior visibilidade, na medida do interesse, como em falsa cor (RGB), por exemplo.

Na última imagem gerada no exemplo anterior (Secchi\_WM3) é possível adicionar uma paleta de cor, clicando em “Colour Manipulation” e “Basic” (Fig. 41). Em “Basic” há inúmeras

opções de paletas, mas em “Sliders” é possível adicionar ou remover mais uma faixa, ou mesmo alterar o tamanho das já nativas no SNAP. Para tanto, basta arrastar os triângulos ou dar clique com o botão direito do mouse sobre a base da paleta, quando se abrirá uma janela solicitando “Add new slider”, possibilitando adicionar mais um critério. Em “Table” é possível alterar o tamanho e a cor as faixas. Para salvar a paleta de cor, clicar com o mouse no símbolo , de modo que será possível voltar a utilizar esta paleta personalizada, na medida do interesse. Para utilizar em um dado mapa a legenda da paleta de cores, clicar com o mouse da direita sobre a imagem e na janela que se abrirá em “Export Colour Palett as File”. Para salvar a imagem clique em “Export View as Image”.

De modo geral, a imagem gerada com as paletas padrões (Fig. 42) nem sempre são adequadas aos objetivos do trabalho, assim, o mais indicado é alterá-la de acordo com o interesse, para que de fato possa ser mostrado o que se busca.

Na Fig. 43 é apresentado em detalhe a imagem dos reservatórios Jaguari e Jacareí e sua respectiva paleta de cores criada.

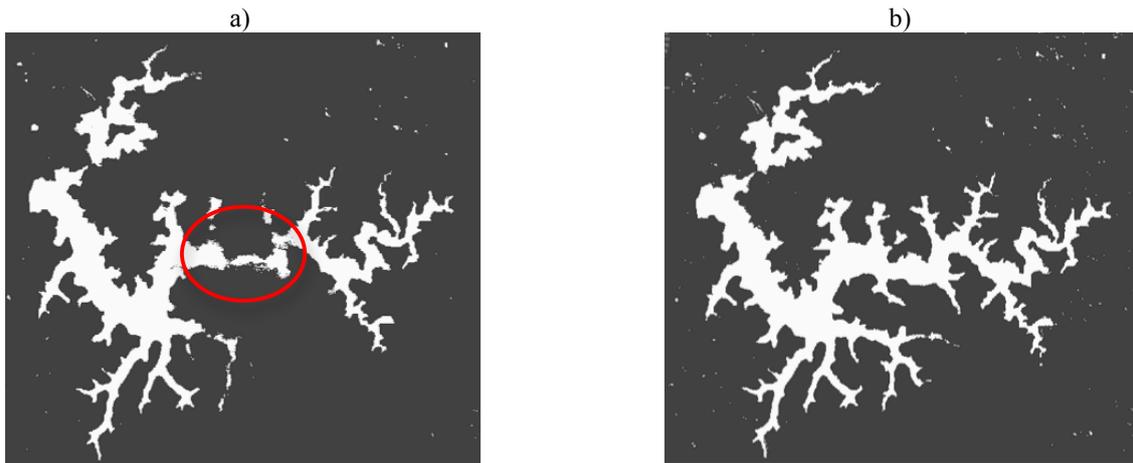


Fig. 39: Criação de “Water mask” para pixel menor do que 0,039 (a) e do que 0,050 (b), para banda B8. Ver texto.

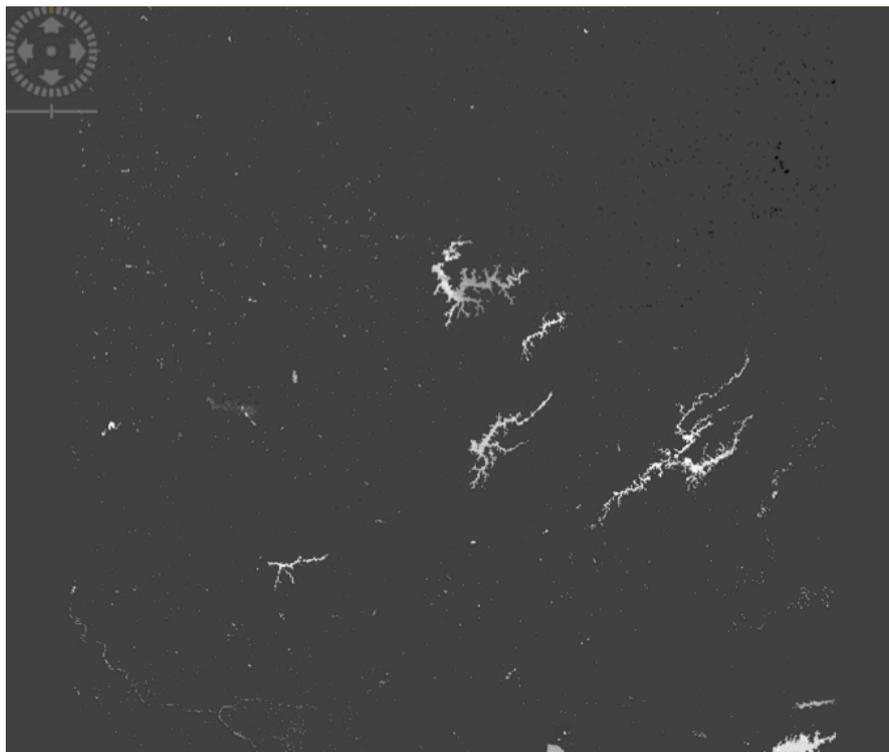


Fig. 40: Imagem da cena após combinar imagens do Disco\_Secchi e WM3. Ver texto.

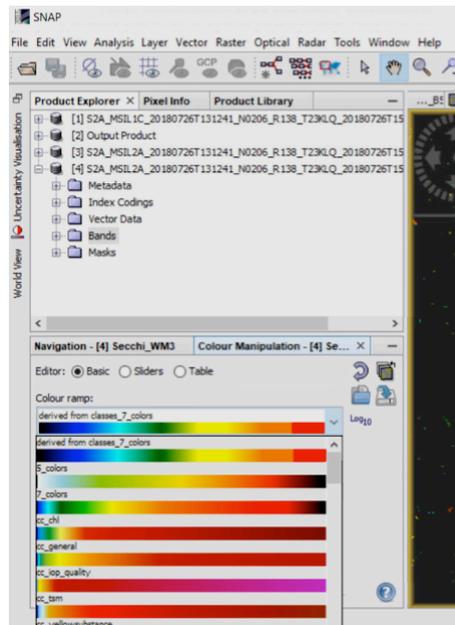


Fig. 41: Alguns modelos de paletas de cores, já disponibilizadas pelo SNAP.

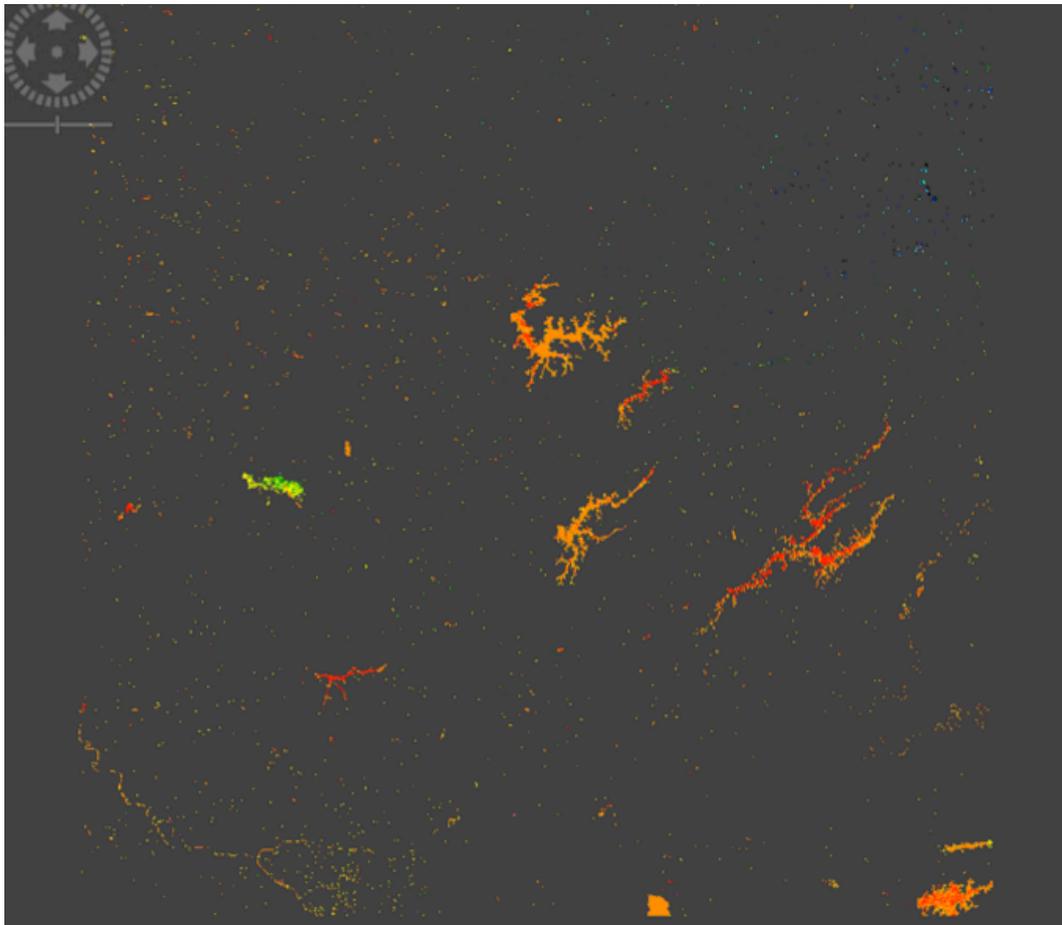


Fig. 42: Imagem da cena gerada automaticamente com a inclusão de uma paleta colorida nativa do SNAP.

Os procedimentos apresentados anteriormente, unicamente adicionarão paleta a última imagem gerada. Caso haja interesse em adicionar o padrão de cores a imagem corrigida e com o “Resampling”, com esta janela aberta em primeiro plano entrar em “Layer” e em “Layer Manager” (Fig. 44a). Verificar se está ativado a imagem em RGB (Sentinel 2 MSI Natural Colors RGB) e

clicar em  (Fig. 44b) e posteriormente em “Imagem of Band / Tie-Point Grid” e “Next”. Procure a imagem que será adicionada, neste exemplo a imagem Secchi\_WM3, cuja paleta de cores já se encontra ajustada aos interesses do trabalho (Fig. 45).

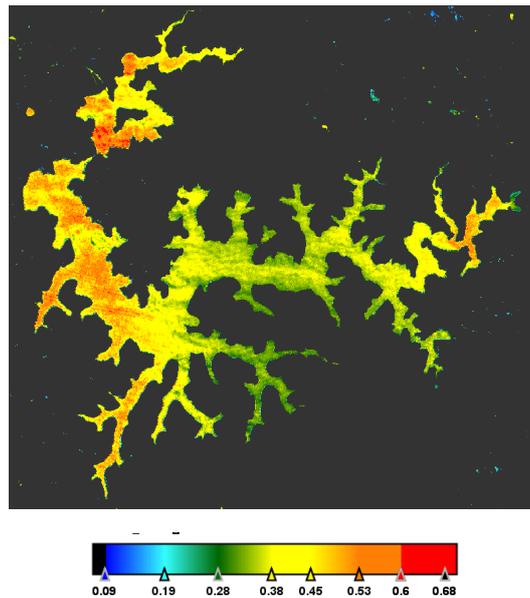


Fig. 43: Heterogeneidade espacial horizontal da profundidade do disco de Secchi, em metros, nos reservatórios Jaguari e Jacarei, São Paulo, Brasil.

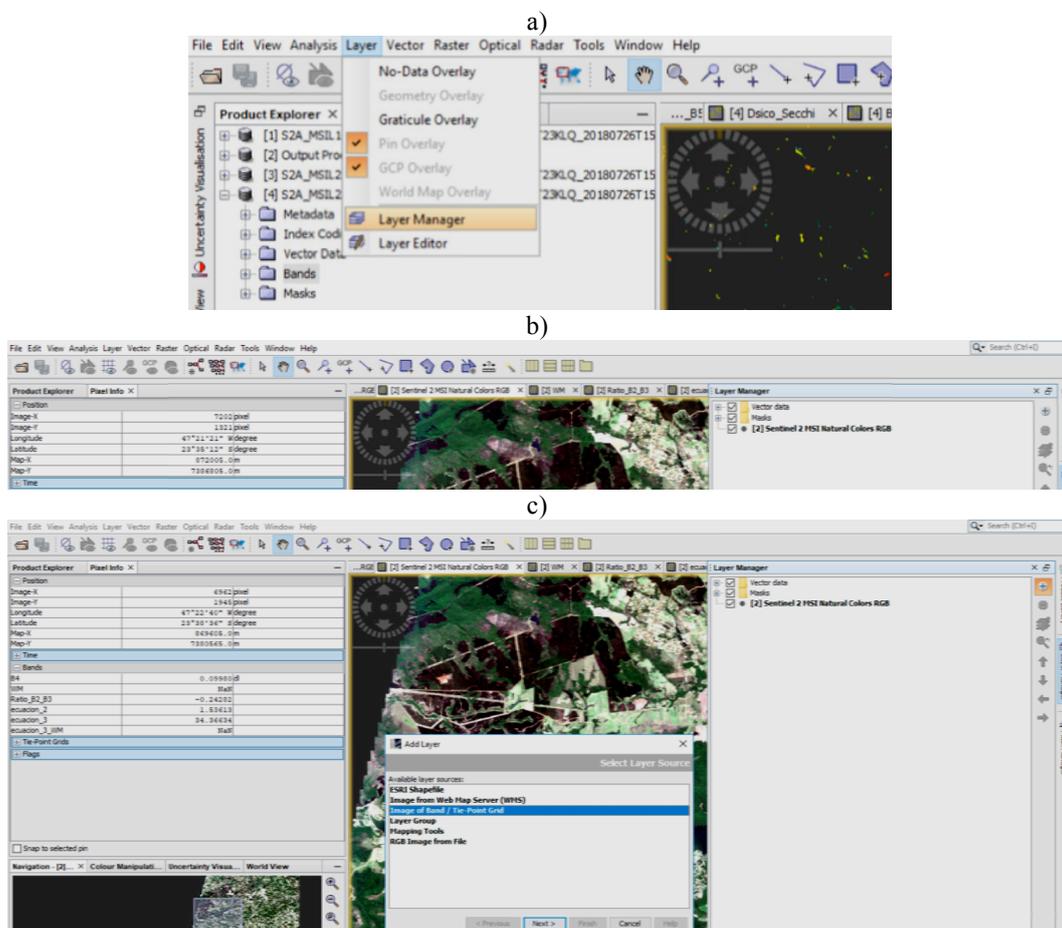


Fig. 44: Procedimentos para adicionar o padrão de cores a imagem em RGB. Ver texto.

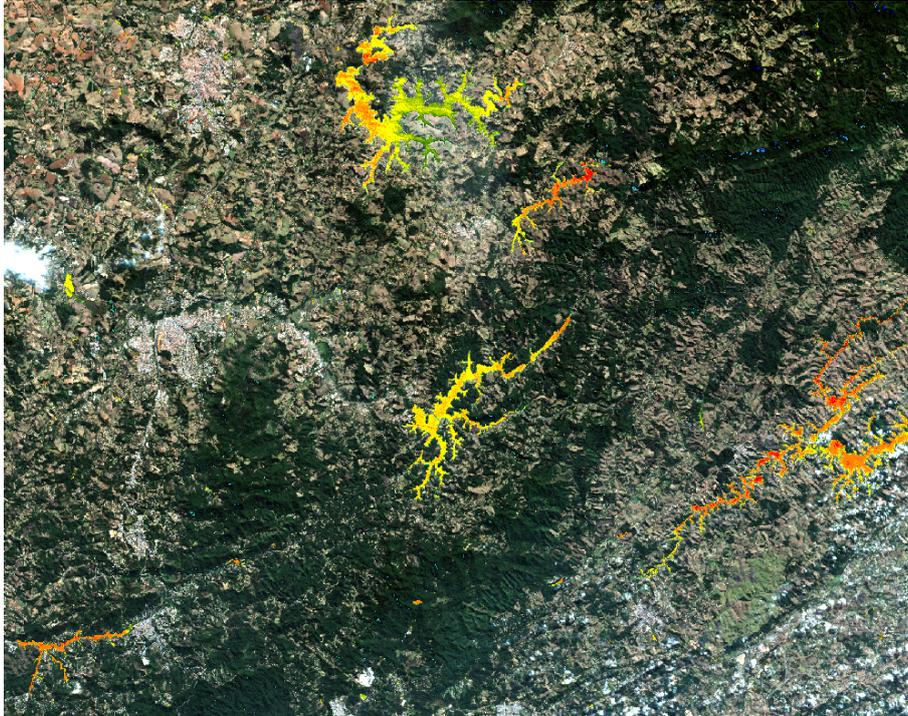


Fig. 45: Imagem em RGB com diversos reservatórios e suas heterogeneidades espaciais referentes à profundidade do disco de Secchi. Ver texto.

## Exemplo 2: a clorofila

A clorofila é uma das mais importantes variáveis biológicas empregadas na avaliação da qualidade da água. A concentração de clorofila é uma medida indireta da biomassa fitoplanctônica, que normalmente é amostrada na região limnética da massa de água, em profundidades determinadas de acordo com a penetração da luz, medida com diversos instrumentos, tais como radiômetro, quantameter ou disco de Secchi (HENRY *et al.*, 2006). Para quantificar a concentração de clorofila *a*, corrigida para feofitina, amostras de água são filtradas com filtros de alta qualidade e porosidade definida. A extração dos pigmentos é realizada com solventes como metanol, etanol ou acetona (a quente ou a frio) e o cálculo das concentrações efetuados segundo equações, como descritas em Lorenzen (1967). Com base nos valores calculados é possível inferir o *status* trófico da massa de água (CARLSON, 1997; SALAS & MARTINO, 1991). Para massas de águas brasileiras tem sido muito empregado o trabalho desenvolvido por Lamparelli (2004), quando o objetivo é estimar seu grau de trofia.

No exemplo mostrado abaixo não serão apresentados todos os detalhes, como efetuado no exemplo anterior, do disco de Secchi, pois seguem as mesmas etapas, apresentadas acima, bastando consultá-los.

Para estimar as concentrações de clorofila, primeiramente abrir a imagem, proceder a correção atmosférica com o Sen2cor e aplicar o “Resampling”, já comentados, e criar a máscara de água (WM). Para este exemplo, as concentrações de clorofila serão estimadas de acordo com o modelo bi banda representado pelo algoritmo OC2\_490, para baixos teores de clorofila (DELEGIDO *et al.*, 2018), com uma relação entre as bandas B2 e B3. Mas há outros modelos, como o tri banda, que segundo Delegido *et al.* (*op cit.*), é melhor empregado para ambientes com elevadas concentrações de clorofila, relacionando as bandas B4, B5 e B6, como seguem as equações: TBDO<sup>4</sup>: “ $B6*(1/B4-1/B5)$ ”; “ $104.1*(\text{pow}(\text{TBDO},2))+221.1*\text{TBDO}+2$ ”.

<sup>4</sup> Modelo triple banda de Dall’Olmo *et al.* (2003).

Abaixo são apresentados de modo bem sucinto as etapas utilizadas para estimar as concentrações de clorofila na massa de água superficial do reservatório de Itupararanga (São Paulo, Brasil), com o modelo bi banda, e gerar as imagens apresentadas:

- Baixar a imagem: S2B\_MSIL1C\_20180122T131239\_N0206\_R138\_T23KKP\_20180122T144615;
- Aplicar Sen2cor;
- Resampling – B2 – 10 m;
- Subset;
- Raster / Band Maths;
- Water Mask: (WM1) “if B12 < 0.017 then 1 else 0”;
- Ratio\_B2\_B3: “log10((B2/B3))” (Fig. 46);
- equacao\_2: “0.6727-(2.7864\*(Ratio\_B2\_B3))+(2.587\*(pow(Ratio\_B2\_B3,2)))-(2.3956\*(pow(Ratio\_B2\_B3,3)))” (Fig. 47);
- equacao\_3: “exp(equacao\_2)” (Fig. 48);
- equacao\_3\_WM1: “equacao\_3\*WM1” (Fig. 49);
- Colour manipulation / Basic;
- Layer” / “Layer Manager” /  ;
- “Imagem of Band / Tie-Point Grid” / “Next”;
- Adicionar imagem, cuja paleta de cores já se encontra ajustada aos interesses do trabalho (Fig. 50).



Fig. 46: Imagem gerada após a aplicação da relação entre as bandas B2 e B3.



Fig. 47: Imagem gerada após a aplicação da equação 2.

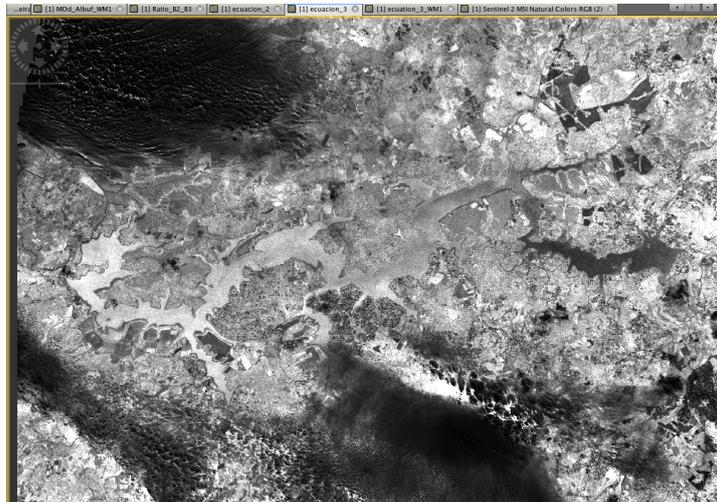


Fig. 48: Imagem gerada após a aplicação da equação 3.

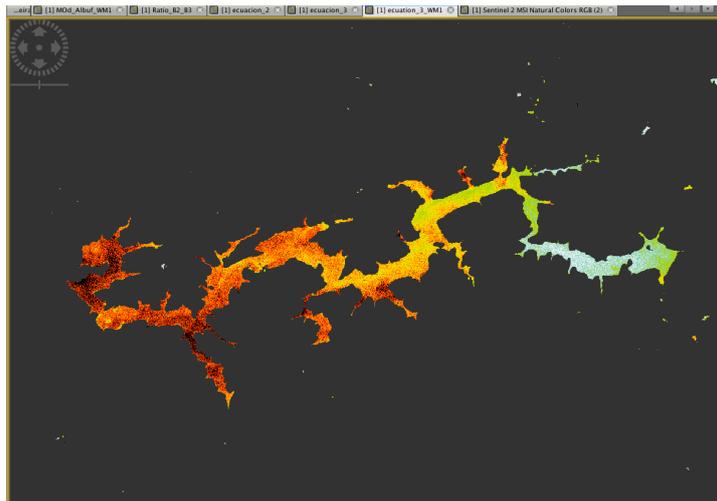


Fig. 49: Imagem gerada após geração de paleta de cores.

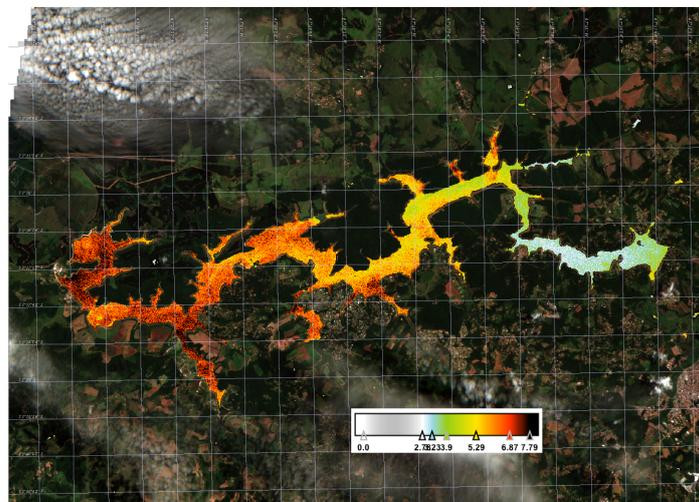


Fig. 50: Imagem RGB com aplicação da escala de cores.

Vale reforçar que os modelos empregados nestes exemplos, tanto para disco de Secchi como para o de clorofila, foram desenvolvidos e aplicados para massas de águas europeias, mais

precisamente espanholas. Para empregar esses mesmos modelos no Brasil é necessário testá-los com dados de campo obtidos em reservatórios nacionais e efetuar ajustes nas equações.

### Correção do modelo do disco de Secchi à realidade brasileira

Trabalhando com os procedimentos apresentados no exercício do disco de Secchi (DS), foi possível gerar uma imagem que mostra a estimativa da profundidade do DS com base no modelo empregado, como segue:

**Modelo Secchi 1** (SÒRIA-PERPINYÀ *et al.*, 2018):

Equação 1: Ratio\_B3\_B5: “B3 / B5”

Equação 2: Secchi1: “0.224\*(Ratio\_B3\_B5)+0.0836”.

Apesar da coerência observada na Fig. 43, os valores estimados das profundidades não são compatíveis com dados reais de campo, sendo muito subestimados. Para fazer esta conferência dos dados estimados com os medidos em campo, no exemplo apresentado a seguir, foi utilizada a imagem do reservatório de Itupararanga (São Paulo, Brasil), obtida no dia 03/11/2017, enquanto que os dados de campo foram levantados no dia 31/10/2017. O reservatório modelo aqui empregado, foi amostrado em sete estações de coletas, distribuídas ao longo do reservatório. Na Tab. 1 são apresentados os dados de localização das estações de coletas e da profundidade do disco de Secchi levantados em campo. Complementam os dados nesta tabela, os valores do disco de Secchi estimados pelo modelo empregado (as Equações 1 e 2 acima), e a relação entre as bandas B3 e B5 (Equação 1) para as mesmas coordenadas, de P1 a P7.

Em decorrência da inadequação do Modelo Secchi 1 (SÒRIA-PERPINYÀ *et al.*, 2018), empregado no exemplo apresentado acima, é conveniente obter novas equações, mas desta vez empregando dados da realidade brasileira. Isto é possível ao comparar os valores relativos à relação B3/B5 com os dados de campo para disco de Secchi (Tab. 1).

Tab. 1: Coordenadas das estações de coletas, dados de campo para profundidade do disco de Secchi valores inferidos pelo modelo empregado (Equações 1 e 2) e valores relativos à relação de bandas B3/B5.

	Estações de coletas*			Ratio B3/B5	disco de Secchi	
	coordenadas UTM – GSM89				modelo m	Campo** m
	E	S				
P1	23k	272381,63	7385956,73	1,18310	0,37399	1,20
P2	23k	268931,10	7387956,60	1,17424	0,38887	1,35
P3	23k	264454,23	7388441,24	1,62972	0,43598	1,20
P4	23k	263553,55	7385045,08	1,76730	0,42423	1,35
P5	23k	257669,77	7384336,00	2,61719	0,51653	1,50
P6	23k	255397,27	7385070,05	2,88444	0,53975	1,50
P7	23k	256335,60	7386285,79	2,86301	0,53693	1,65

\* Imagem: S2B\_MSIL1C\_20171103T131229\_N0206\_R138\_T22KHU\_20171103T180356).

\*\* Dados não publicados – André Henrique Rosa (UNESP, Campus de Sorocaba, SP, Brasil).

Deste modo, na Fig. 51 é possível observar a significativa correlação linear entre os valores de disco de Secchi levantados em trabalho de campo e a relação entre as bandas B3/B5 para os mesmos pontos, gerando o modelo linear abaixo (Equação 3), para ser aplicado à realidade brasileira:

### Modelo brasileiro

Equação 3: Secchi\_Br: “1.0083\*(B3/B5)+0.19067”.

Deste modo, com base na equação 3, foi gerado o mapa da Fig. 52, onde podem ser observados os valores estimados da profundidade do disco de Secchi. Na legenda é possível observar valores mais próximos à realidade brasileira, diferente dos valores subestimados da Fig. 50, que utilizou as equações propostas por Sòria-Perpinyà *et al.* (2018), mais adequados à realidade espanhola.

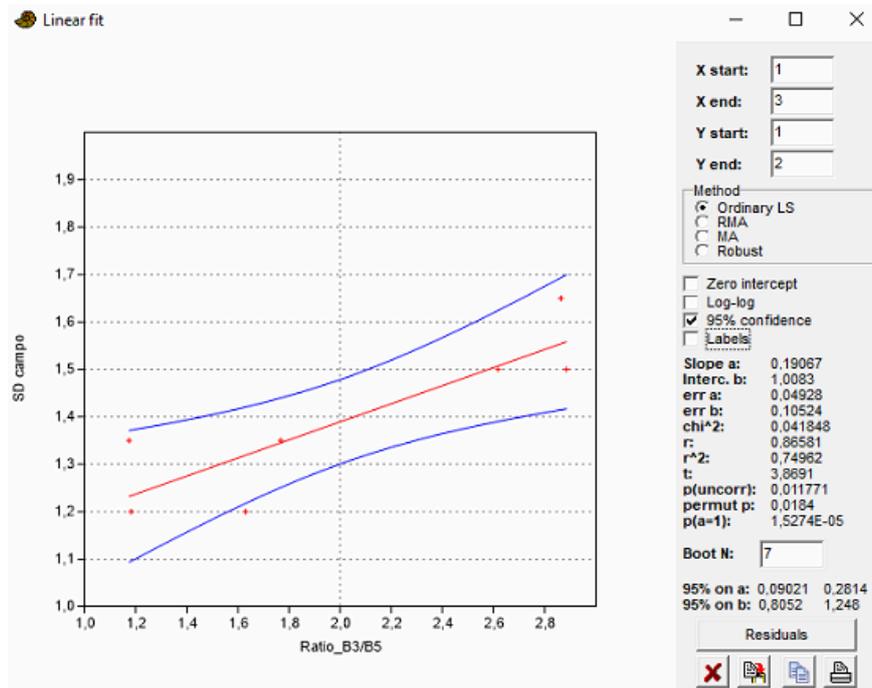


Fig. 51: Correlação linear entre os valores de disco de Secchi estimados em campo e a relação entre as bandas B3/B5.

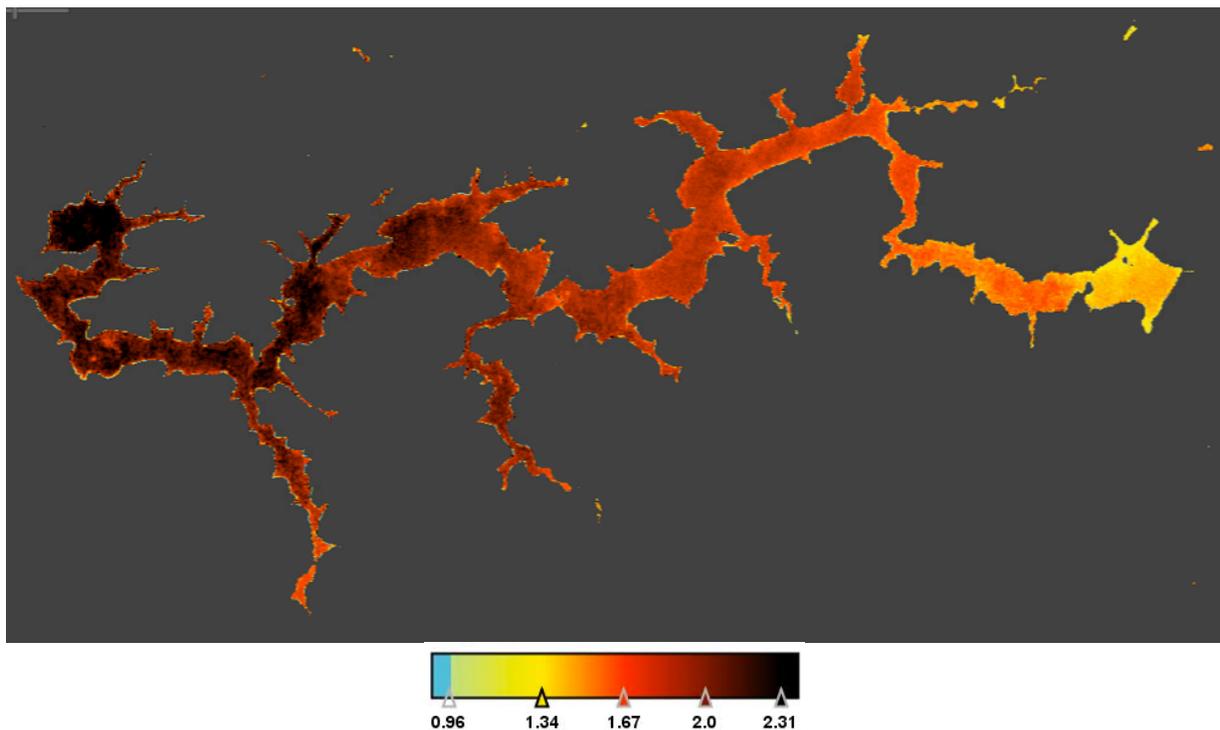


Fig. 52: Profundidade do disco de Secchi no reservatório de Itapararanga, empregando o modelo elaborado com dados obtidos no próprio reservatório. Imagem de 11/03/2017.

## Correção atmosférica com C2RCC

Como já comentado, as imagens provenientes dos satélites Sentinel 2 (A e B) descarregadas do servidor da ESA se encontram em dois níveis de processamento. O nível L1C está sem correção atmosférica, enquanto que o nível L2A já se encontra corrigida com o Sen2cor. O *plugin* Sen2cor é nativo do SNAP e muito executado para a correção atmosférica em produtos de terra e vegetação. Porém, para estudos de águas continentais, o Sen2cor não tem apresentado bons resultados. Deste modo, tem sido desenvolvidos outros métodos de correção atmosférica, alguns deles também já nativos no SNAP. Um dos mais simples de utilizar é o C2RCC (*Case-2 Regional Coast Colour*). Para empregá-lo o usuário deverá seguir os passos apresentados a seguir:

- abrir a imagem de interesse no nível L1C de processamento;
- da cena aberta, recortar a área de interesse. Manter somente a área de interesse (“Spatial Subset from View”) é recomendável, pois acelera o processamento da correção atmosférica. Nesta etapa também deverá primeiramente processar o “Ressampling”, para equalizar o tamanho dos pixels, diferente do Sen2cor, que necessita primeiramente efetuar a correção atmosférica e só depois disso é possível aplicar o “Ressampling”;
- posteriormente entre em “Optical”, e siga para “Thematic Water Processing”, “C2RCC Processors” e finalmente em “S2-MSI” (Fig. 53a);
- na caixa que se abre, em “I/O Parameters”, procurar e abrir a imagem de interesse e em “Processing Parameters” manter as informações já anotadas na ficha que se abre (Fig. 53b);
- em “Set of neuronal nets” há duas opções: “C2RCC Nets” é empregada para águas mais transparentes, enquanto que “C2X Nets” para águas mais turbidas (Fig. 53c). Com base na realidade do reservatório estudado, selecionar uma destas opções e “Run” (Fig. 53d).

Após a correção atmosférica, nova imagem será gerada, no exemplo apresentado abaixo é a imagem [4], anotada em vermelho (Fig. 54a), com seu nome finalizado em C2RCC. Ao abrir a pasta referente a esta nova imagem, será possível observar em “Bands” (Fig. 54b) as bandas de reflectividade em TOA (*top of atmosphere*) (“rtoa”), as de reflectividade na superfície da água (“rtow”) e as “rhow” normalizadas (“rhawn”). Para aplicar os métodos de avaliação da qualidade da água é necessário empregar as bandas “rhow”.

A seguir é apresentado um exemplo para o reservatório de Ituparanga. Por ser um reservatório de águas transparentes, optou-se por empregar a correção atmosférica C2RCC com a opção “C2RCC Nets”. Para o cálculo das concentrações de clorofila, optou-se pelo modelo OC2\_443, calibrado por Pereira *et al.* (2019). Para seguir com os cálculos, após clicar com o mouse na nova imagem gerada, vá em “Raster / Band Maths”, e proceder a inclusão das seguintes equações:

**Modelo Secchi 2** (PEREIRA *et al.*, 2019):

Equação 4  $X = \log_{10}(\text{rhow\_B1} / \text{rhow\_B3})$  (Fig. 55a)

Equação 5  $Y = -0.02648 - 1.7287 * X + 1.3087 * \text{pow}(X, 2) - 1.0036 * \text{pow}(X, 3)$  (Fig. 55b)

Equação 6  $\text{Chla} = \text{pow}(10, Y) - 0.8963$  (Fig. 56)

Na Fig. 55 é possível observar as diversas etapas de processamento da imagem para o cálculo das concentrações de clorofila e na Fig. 56 é apresentado o mapa final dos valores de concentrações, em  $\text{mg}/\text{m}^3$ , com a inclusão de escala de cores.

Normalmente a correção C2RCC mostra mapas com pontos de diferentes cores, com o ruído chamado ‘sal e pimenta’. Para suavizá-lo, é possível aplicar um filtro em “Raster”, “Filtered Band” e “Arithmetic Mean 3x3” (Fig. 57), o que permitirá trocar o valor de cada pixel pelo valor médio de

seus 9 pixels vizinhos. Como exemplos, são apresentados dois ajustes de suavização, um para “Arithmetic Mean 3x3” (Fig. 58a) e outro para “Arithmetic Mean 5x5” (Fig. 58b).

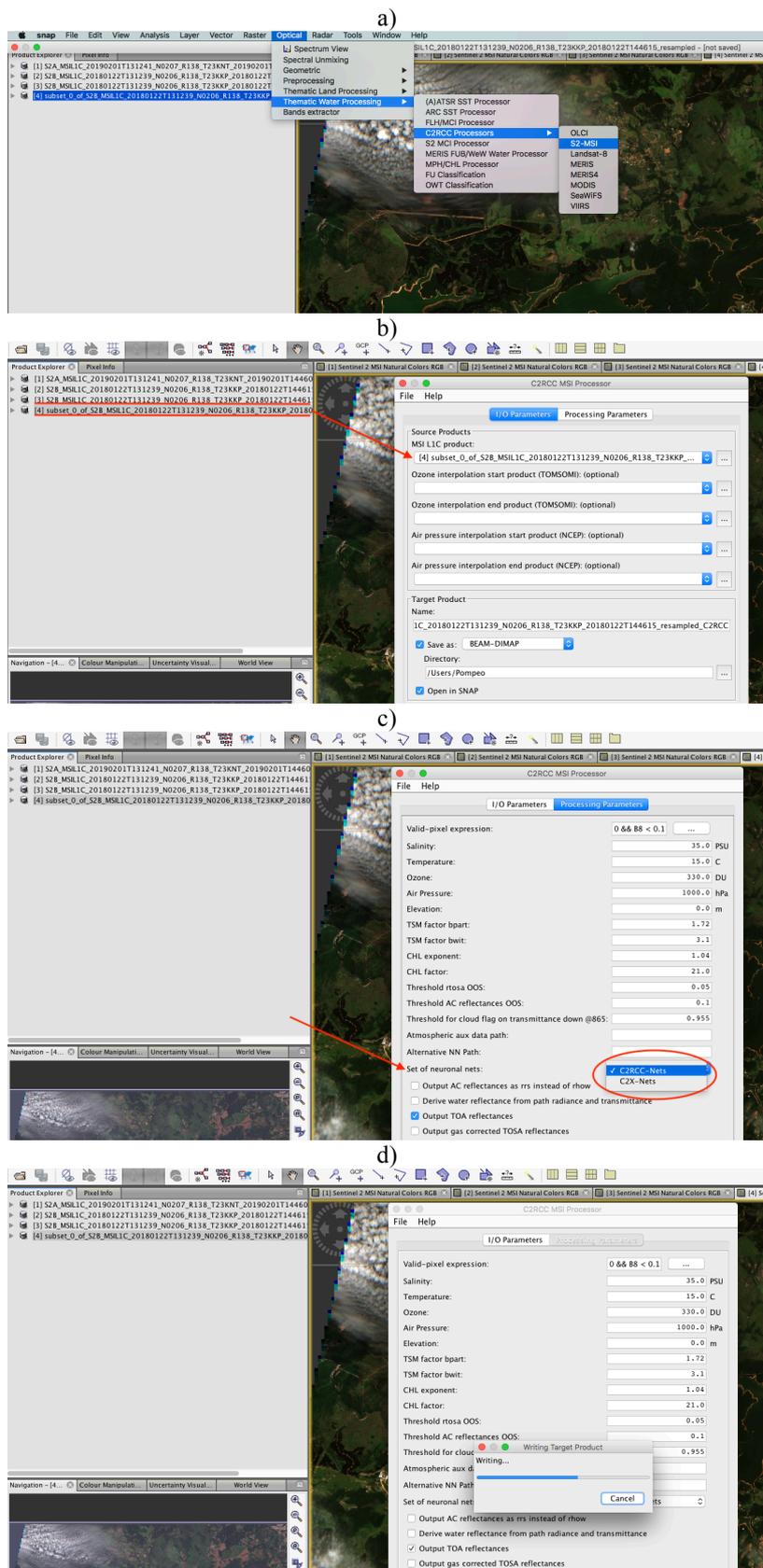


Figura 53: Procedimentos para efetuar a correção atmosférica com C2RCC.

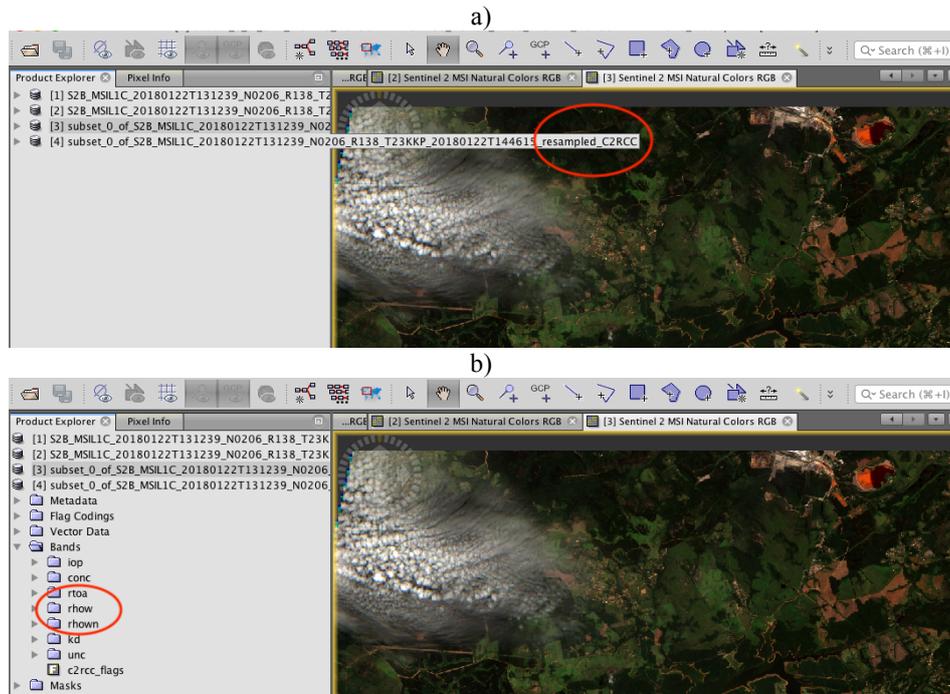


Figura 54: Geração da imagem com correção atmosférica empregando C2RCC (a) e as bandas de reflectividade (b).

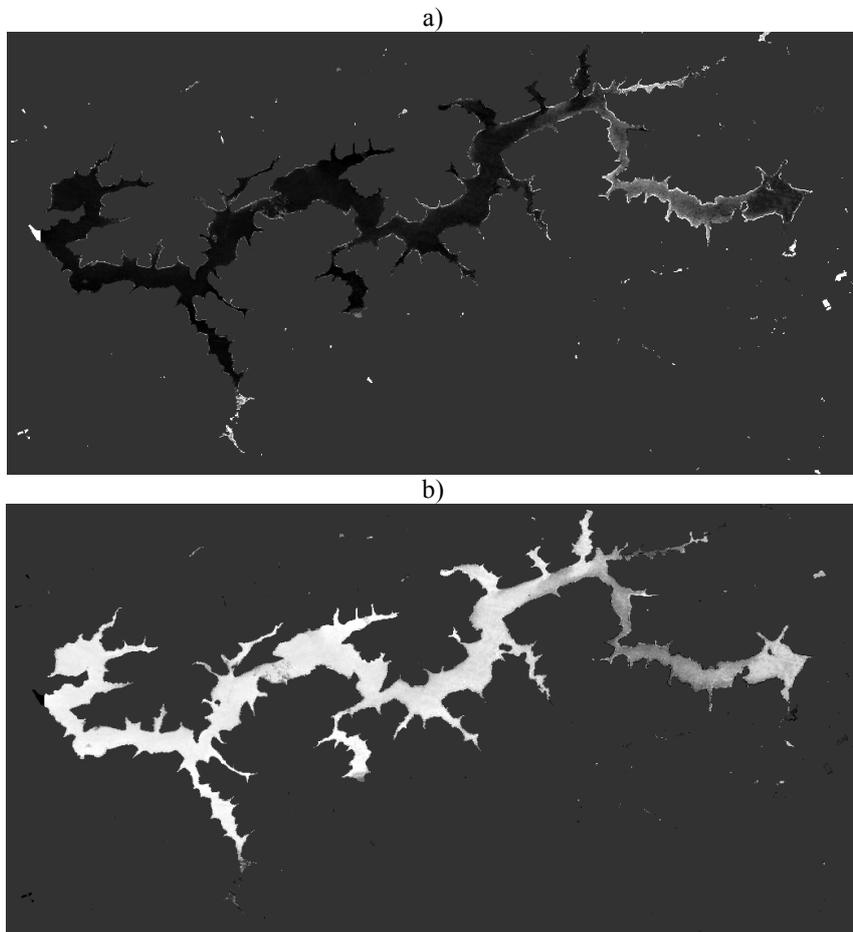


Figura 55: Etapas de processamento para o cálculo da concentração de clorofila. a) com a aplicação da equação  $\log_{10}(\text{rhow\_B1} / \text{rhow\_B3})$  e em b) após a aplicação da equação  $-0.02648 - 1.7287 * X + 1.3087 * \text{pow}(X, 2) - 1.0036 * \text{pow}(X, 3)$ .

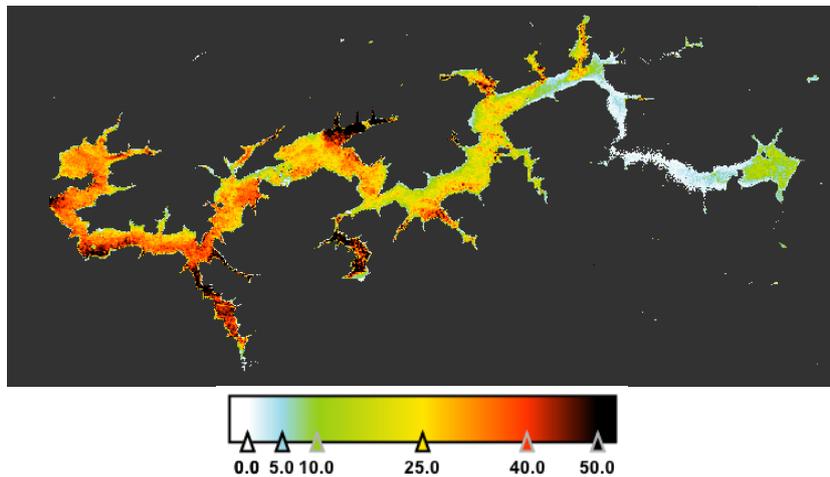


Figura 56: Mapa da concentração de clorofila (em  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) do reservatório de Itapararanga. Referente a imagem S2B\_MSIL1C\_20180122T131239\_N0206\_R138\_T23KKP.

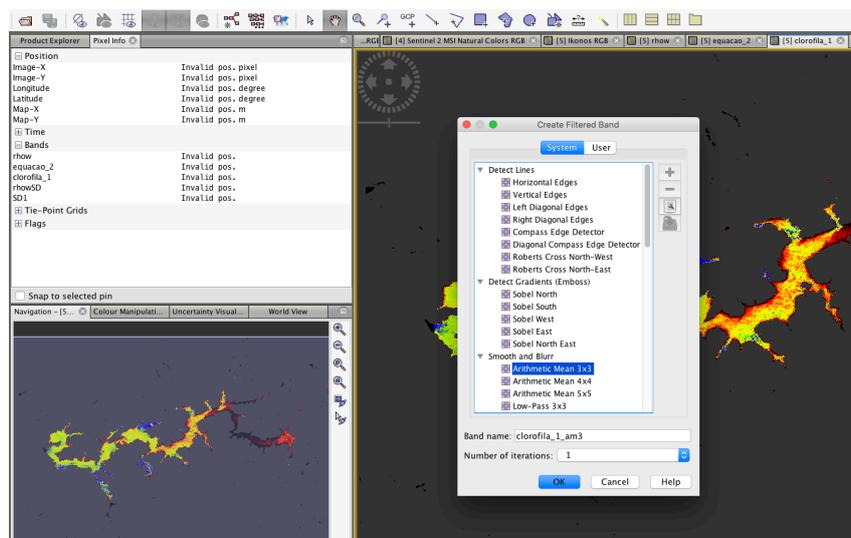


Figura 57: Procedimento para suavizar as imagens. Ver texto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado, este protocolo não cobre todas as possibilidades de uso do SNAP e muito menos as possibilidades de uso das imagens Sentinel, em especial o Sentinel 2 (A e B), objeto de apreciação desta publicação. Mas poderá ser empregado para oferecer os primeiros passos aos iniciantes.

Quanto as equações apresentados, não se teve a pretensão de sugerir seu uso ou mesmo de empregá-las de modo indistinto para o Brasil. Decorrente da falta de equações já calibradas e validadas para a realidade dos reservatórios brasileiros para as imagens Sentinel, foram empregadas equações desenvolvidas para a realidade espanhola, em particular os modelos desenvolvidos para a hoje hipertrófica e emblemática Lagoa de Valência, na cidade de Valência, uma lagoa costeira rasa, às margens do Mediterrâneo, na cidade de mesmo nome, apenas a título de exemplo para demonstrar as etapas de processamento das imagens e de seus respectivos cálculos.

Outra preocupação também diz respeito à correção atmosférica. Os estudos em curso desenvolvidos pelo IPL, o Laboratório de Processamento de Imagens, da Universidade de Valência (Campus de Paterna, Espanha), sob coordenação pelo Professor Jesús Delegido, sugerem que o

Sen2Cor não é o melhor *plugin* para processar a correção atmosférica, quando o objetivo maior for avaliar a qualidade de massas de águas continentais. Decorre disso, a sugestão para empregar o modelo de correção referente a R2RCC.

Já o modelo desenvolvido com dados da profundidade do disco de Secchi do reservatório de Itupararanga (Tab. 1), apesar de oferecer dados mais realísticos, não poderá ser empregado de modo indiscriminado no Brasil. Há necessidade de mais do que sete pontos para desenvolver a equação e esta posteriormente deverá ser testada em outros reservatórios e em diferentes datas, para que possa ser validade e de fato proposta como um modelo para nossos reservatórios.

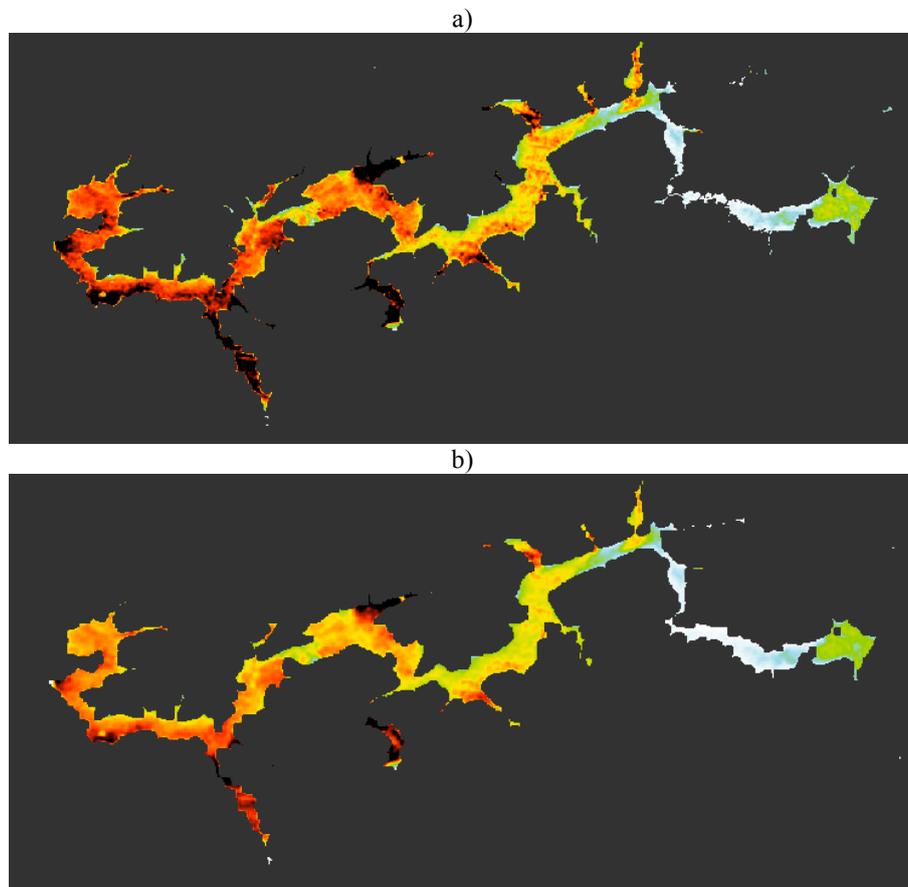


Figura 58: Exemplos de suavização na apresentação dos dados de profundidade do disco de Secchi. Em a) foi empregado “Arithmetic Mean 3x3” e em b) “Arithmetic Mean 5x5”.

Outro cuidado para o processamento final das imagens, com a inclusão da escala de cores, diz respeito à sua representatividade, pois deve haver concordância do que se quer mostrar com o gradiente de cores empregadas. Para concentrações de clorofila muito elevadas estas devem ser representadas por cores semafóricas mais escuras, como o vermelho, enquanto que para baixas concentrações é mais conveniente cores mais claras. Como para o disco de Secchi é desejável maiores valores de profundidade, é mais adequado expressar esse gradiente com cores mais claras, enquanto que baixas profundidades do disco de Secchi devem ser representadas por cores mais escuras. Mas não só isso. Nos exemplos do disco de Secchi e da clorofila apresentados aqui, há de se notar que quando estes refletem valores elevados para as concentrações de clorofila, para o disco de Secchi os valores são mais baixos. Isso ocorre pois, quanto maiores as concentrações de clorofila, maiores são os valores de sólidos presentes na água, refletindo em menores profundidades do disco de Secchi. Assim, ao escolher a escala de cores esta também deve mostrar essa heterogeneidade espacial, facilitando a visualização e comparação de ambas as figuras.

## REFERÊNCIAS

- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- DALL'OLMO, G.; GITELSON, A. A.; RUNDQUIST, D. C. Towards a unified approach for remote estimation of chlorophyll-a in both terrestrial vegetation and turbid productive waters. **Geophysical Research Letters**, v. 30, p. 18, 2003.
- DELEGIDO, J.; PEREIRA-SANDOVAL, M.; URREGO, E. P.; RUIZ-VERDÚ, A.; RUESCAS, A.; SORIA-PERPINYÀ, X.; VICENTE, E.; SORIA, J.; TENJO, C.; PEÑA, R.; MORENO, J. Estudio de la calidad del agua en lagos y embalses de la Comunidad Valenciana (España) con Sentinel 2. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE LA SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL, 18., 2018, La Habana.
- DELEGIDO, J.; TENJO, C.; RUIZ-VERDÚ, A.; PEREIRA-SANDOVAL, M.; PASQUALOTTO, N.; GIBAJA, G.; VERRELST, J.; PEÑA, R.; URREGO, E. P.; BORRÁS, J.; SANCHIS-MUÑOZ, J.; PEZZOLA, A.; MOSQUERA, Z.; QUINTO, Z.; GÓMEZ, J. J.; MORENO, J. Aplicaciones de Sentinel 2 a estudios de vegetación y calidad de aguas continentales. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER, 17., 2016, Puerto Iguazú Misiones. **Anais: Geotecnologías, herramientas para la construcción de una nueva visión del cambio global y su transformación para un futuro sostenible**. Puerto Iguazú Misiones: Universidad Nacional de Luján, Universidad Autónoma de Entre Ríos, 2016. p. 1111-1126.
- HENRY, R.; NOGUEIRA, M. G.; POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Annual and short-term variability in primary productivity by phytoplankton and correlated abiotic factors in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, SP). **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 66, n. 1B, p. 239-261, 2006.
- LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água de estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: Spectrophotometric equations. **Limnol. Oceanogr.**, v. 12, n. 2, p. 343-346, 1967.
- POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LOPEZ-DOVAL, J. C.; ABDALLA-MARTINS, N.; CARDOSO-SILVA, S.; FREIRE, R. H. F.; BEGHELLI, F. G. S.; BRANDIMARTE, A. L.; ROSA, A. H.; LÓPEZ, P. Nitrogen and phosphorus in cascade multi-system tropical reservoirs: water and sediment, **Limnological Review**, v. 7, n. 3, p. 133-150, 2017.
- PEREIRA-SANDOVAL, M.; URREGO, E. P.; RUIZ-VERDÚ, A.; TENJO, C.; DELEGIDO, J.; SORIA-PERPINYÀ, X.; VICENTE, E.; SORIA, J.; MORENO, J. Calibration and validation of algorithms for the estimation of chlorophyll-a concentration and Secchi depth in inland waters with Sentinel-2. **Limnetica**, v. 38, n. 1, p. 471-487, 2019.
- SALAS, H. J.; MARTINO, P. **Metodologias simplificadas para la evaluation de eutrofication em lagos calidos tropicales**. Washington: CEPIS, 1990.
- SÒRIA-PERPINYÀ, X.; DELEGIDO, J.; URREGO, E. P.; PEREIRA-SANDOVAL, M.; VICENTE, E.; RUIZ-VERDÚ, A.; SORIA, J. M.; PEÑA, R.; TENJO, C.; MORENO, J. Validación de algoritmos para la estimación de la Clorofila-a con Sentinel 2 en la Albufera de Valencia. In: CCONGRESO DE LA AET, 17., 2017, Murcia. **Anais...** Murcia, 2017. p. 293-296.
- SÒRIA-PERPINYÀ, X.; URREGO, E. P.; PEREIRA-SANDOVAL, M.; RUIZ-VERDÚ, A.; SORIA, J. M.; DELEGIDO, J.; VICENTE, E.; MORENO, J. 018. Using multitemporal Sentinel 2 images for monitoring water transparency of a hypertrophic lake (Albufera of València, Spain). **Send to Limnetica**, n. special, 2018. Congreso de la Asociación Ibérica de Limnología, 19, 2018.

## REFERÊNCIAS PARA AS IMAGENS

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel\\_2#/media/File:Sentinel\\_2-IMG\\_5873-white\\_\(crop\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel_2#/media/File:Sentinel_2-IMG_5873-white_(crop).jpg)  
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>  
<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>  
[http://shop.forest-gis.com/pages/mapas/Sentinel\\_grade.jpg](http://shop.forest-gis.com/pages/mapas/Sentinel_grade.jpg)