

MAPEAMENTO DO SEQUESTRO DE CARBONO: UM PASSO IMPORTANTE PARA CONSOLIDAR O PROTOCOLO DE QUIOTO

Gustavo Macedo de Mello Baptista¹

O efeito estufa é um processo de manutenção da temperatura global que ocorre porque alguns gases que envolvem a Terra bloqueiam a radiação de ondas longas emitida pela superfície terrestre, responsável pelo aquecimento do ar atmosférico. Graças a esse processo a temperatura média do planeta mantém-se em torno de 16 °C. Não fosse isso, essa média cairia cerca de 30 °C, atingindo os 18 °C negativos.

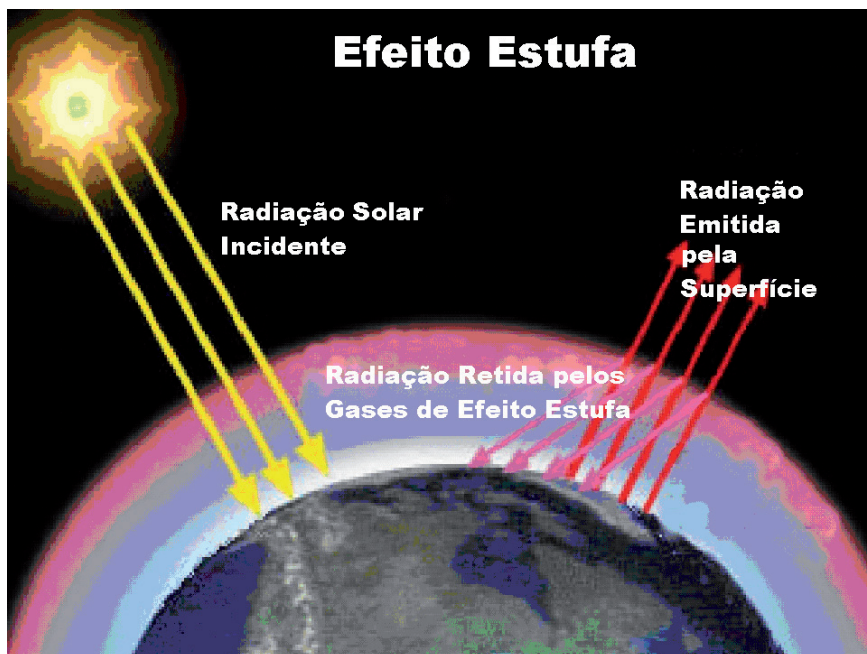


Figura 1. Efeito estufa

Fonte: adaptado de Tellus/AED/IIIE

¹ Geógrafo, professor adjunto III do Instituto de Geociências, coordenador do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA-Ceam) e diretor do Ceam da Universidade de Brasília. E-mail: gmbaptista@unb.br.

Os responsáveis por essa passagem do calor são o vapor d'água, o dióxido de carbono, o ozônio, o metano e o óxido nitroso. Dentre os chamados gases de efeito estufa, destacam-se o vapor d'água e o dióxido de carbono como os principais agentes.

O CO₂ desempenha papel primordial também no processo de fotossíntese (Figura 2), no qual o dióxido de carbono é absorvido pelas plantas, que o transformam em glicose e liberam oxigênio. Essa absorção de CO₂ pela vegetação é denominada hoje sequestro de carbono.

A concentração de CO₂ na atmosfera vem aumentando ao longo das últimas décadas: de 280 ppmv (partes por milhão por volume) em 1990 passou a 370 ppmv em 2001. As razões para esse incremento têm sido objeto de inúmeras pesquisas, mas ainda não se chegou a um consenso. Enquanto se investigam as causas, diversos países mobilizam-se para avaliar as consequências e encontrar alternativas viáveis para controlar e evitar que o fenômeno de aquecimento global continue ocorrendo.

Protocolo de Quioto

Em 1997, na cidade de Quioto, Japão, cerca de 10 mil delegados elaboraram um tratado estabelecendo compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa. Este ficou conhecido como Protocolo de Quioto. Uma das principais cláusulas desse documento prevê que, entre 2008 e 2010, os países desenvolvidos deverão reduzir as emissões dos gases de efeito estufa a níveis 5% inferiores aos registrados em 1990. Para tanto, algumas medidas e políticas, previstas no artigo 2º do protocolo, devem ser adotadas, tais como:

- aumentar a eficiência energética em setores relevantes da economia nacional;
- proteger e aumentar os sumidouros e os reservatórios de gases de efeito estufa;
- promover formas sustentáveis de agricultura;
- pesquisar, promover, desenvolver e aumentar o uso de formas novas e renováveis de energia, de tecnologias de sequestro de dióxido de carbono e de tecnologias ambientalmente seguras, que sejam avançadas e inovadoras;
- estimular reformas adequadas em setores relevantes, visando à promoção de políticas e medidas que limitem ou reduzam as emissões de gases de efeito estufa;
- limitar ou reduzir as emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes.

Outra inovação do Protocolo é o conceito de comercialização de créditos de sequestro ou redução de gases de efeito estufa: para cada país será estabelecida uma meta de redução; aqueles que não atingirem o resultado determinado poderão recorrer aos que superarem sua meta – os níveis de redução excedentes poderão ser convertidos em cotas, que serão comercializadas.

Recentemente, na Conferência Rio +10, adotou-se um ensaio interessante de comércio de carbono. Os delegados que compareceram a Johannesburgo foram convidados a comprar cotas referentes à emissão de dióxido de carbono pelos ônibus e aviões que os levaram ao encontro, estimadas em cerca de 290 mil toneladas de CO₂. Adotou-se o valor de US\$ 10 por tonelada de carbono, e cada delegado pôde comprar uma tonelada de carbono. Aqueles que efetuaram a compra receberam um certificado que afirma que o dinheiro arrecadado será investido em projetos que visem à eficiência energética e à substituição de combustíveis fósseis por alternativas limpas na África do Sul, país sede da Conferência.

Países com vocação florestal estão em vantagem nesse novo mercado mundial uma vez que a presença natural da concentração vegetal se encarrega de reduzir o impacto, pela fotossíntese, da emissão de CO₂. A tendência é que as metas sejam atingidas com cotas excedentes, que poderão ser negociadas.

Nessa perspectiva, o resultado de cada país dependerá da determinação da quantidade de carbono emitida, deduzida da parcela de carbono que porventura sua vegetação tenha sequestrado; a emissão de dióxido de carbono já obedece a processo conhecido de levantamento e quantificação. Todavia, como quantificar o inverso, ou seja, a absorção de CO₂ pela vegetação durante a fotossíntese em escala regional ou até mesmo global? Seria possível mapear as diversas gradações espaciais desse sequestro? O sensoriamento remoto tem, se não as respostas, o caminho para se chegar a elas.

Mapeamento do sequestro de carbono

Atualmente o sensoriamento remoto passa por duas mudanças de paradigma significativas, representadas pelos novos sistemas hiperespectrais e hiperespaciais. Os sistemas hiperespectrais primam pela alta resolução espectral, ou seja, centenas de imagens para representar uma faixa do espectro, enquanto os hiperespaciais visam à detalhada resolução espacial, que permite visualizar pequenos detalhes da cena, como carros, por exemplo. Mas isso não impede que se utilizem sistemas tradicionais para analisar o sequestro de carbono. Tanto os sistemas mais modernos como os mais convencionais podem ser utilizados, desde que permitam visualizar as absorções de radiação solar necessárias ao processo de fotossíntese.

Durante sua fase clara, o processo de fotossíntese utiliza dióxido de carbono, água e luz solar para transformá-los em glicose e oxigênio. A luz solar utili-

zada na realização desse processo está associada aos comprimentos de onda das regiões do azul e do vermelho no espectro de luz visível: esses comprimentos são absorvidos pela vegetação. A parte não absorvida (a região do verde) é refletida, razão pela qual a maioria das plantas é normalmente verde. A Figura 3 mostra os espectros da vegetação sadia e verde e o que acontece quando ela seca. Todas as depressões apresentadas no gráfico são feições de absorção, e os picos são reflectâncias. Pode-se notar que as feições de absorção de luz solar utilizadas na fotossíntese e indicadas na figura vão gradativamente desaparecendo.

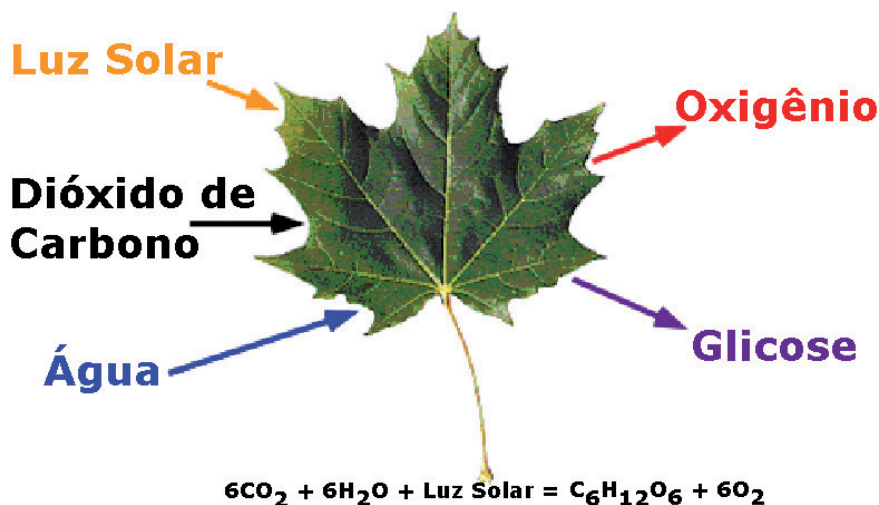


Figura 2. Processo de fotossíntese

Fonte: adaptado de Michael J. Pidwirny

Para estimar o sequestro de carbono pela vegetação durante a fase clara da fotossíntese por meio do sensoriamento remoto, é necessário que os dados contemplem as feições de absorção apresentadas na Figura 3. Além disso, é possível mapear também os teores de CO_2 na coluna de ar atmosférico adjacente aos alvos de superfície, desde que a imagem apresente a feição de absorção desse gás centrada em $2,0 \mu\text{m}$. Essa informação já está disponível nos sistemas hiperespectrais atuais.

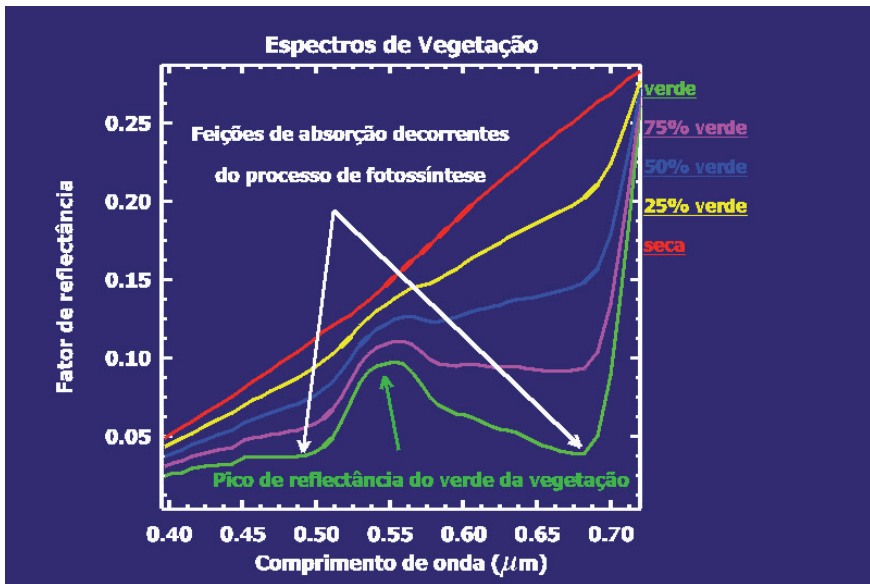


Figura 3. Espectros de vegetação mostrando o gradual desaparecimento das feições de absorção de luz para a fotossíntese

Fonte: elaboração do autor

O Hyperion é um desses sistemas, e a Figura 4 apresenta uma cena, obtida no início de 2001, que apresenta o Parque Nacional de Brasília e parte de seu entorno imediato, além de algumas cidades. Essa imagem é bastante representativa para mostrar a eficiência do sensoriamento remoto para o mapeamento do sequestro de carbono, pois apresenta, numa mesma cena, uma unidade de conservação, um reflorestamento e áreas urbanas.

Após aplicar os índices espectrais que modelam as feições de absorção da fotossíntese e do CO_2 atmosférico, pode-se notar que a imagem que representa o sequestro de carbono é o oposto da imagem que representa o dióxido de carbono presente no ar atmosférico. Esse resultado já era previsto, pois áreas com maior densidade florestal, tais como matas ciliares e reflorestamento, apresentam valores elevados (áreas claras) de eficiência de sequestro de carbono e baixos teores (áreas escuras) de CO_2 atmosférico na coluna de ar adjacente. Por sua vez, as áreas urbanas e as de solos expostos apresentam comportamento inverso, ou seja, sequestram menos ou nenhum carbono e, portanto, apresentam maiores conteúdos de dióxido de carbono na atmosfera. Com esse tipo de procedimento é possível monitorar a eficiência desses sumidouros de carbono e mapear quanto de carbono está sendo absorvido pela vegetação durante a fotossíntese.

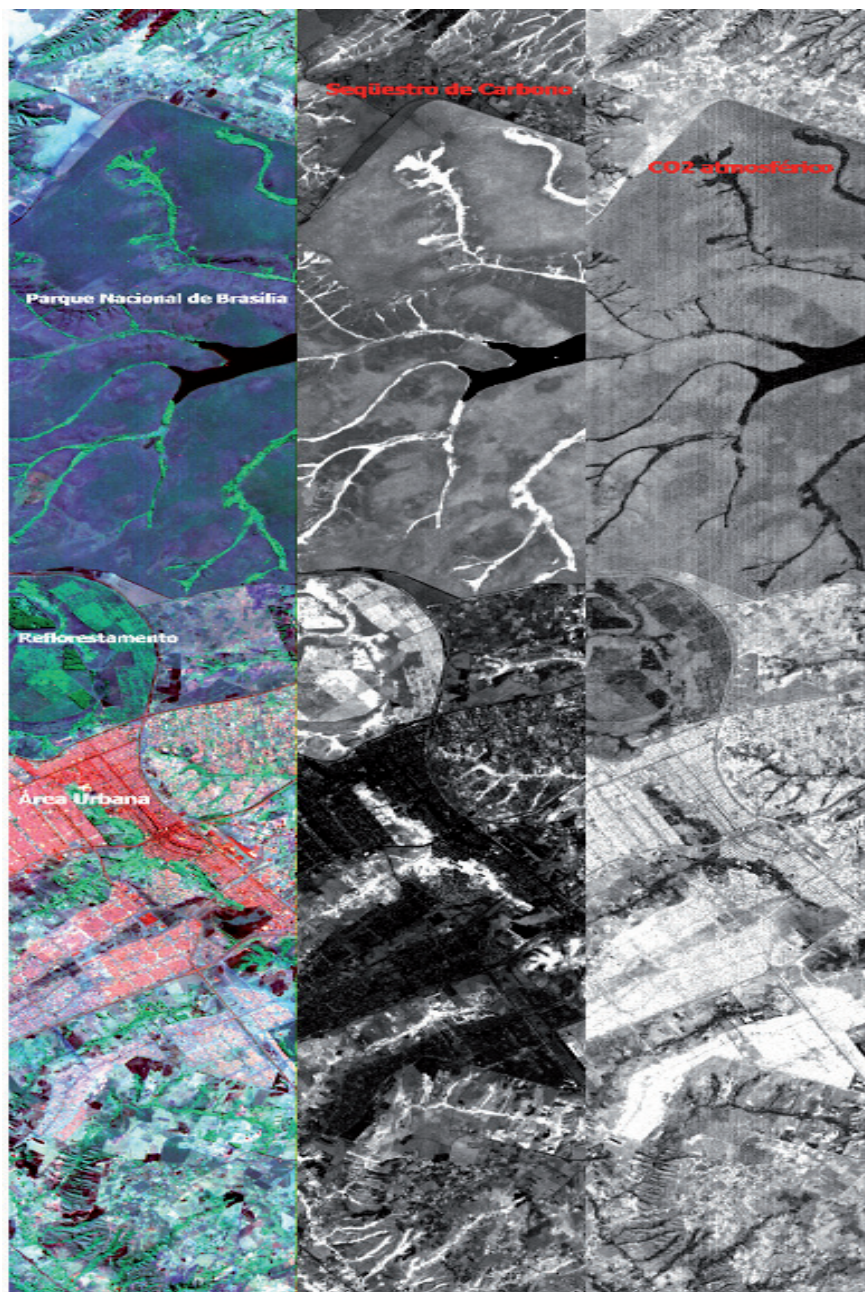


Figura 4. Composição colorida, imagem de sequestro de carbono e imagem do conteúdo de CO₂ atmosférico para a cena Hyperion de Brasília

Fonte: elaboração do autor

Outro questionamento intrigante é como comparar áreas que sequestram carbono com as que não sequestram. Isso é possível utilizando-se os sensores remotos hiperespectrais, como o Ikonos, um sistema sensor que obtém imagens cuja menor área imageada é de 1 m². Esse tipo de dado é uma ferramenta poderosa para a atualização cartográfica, mas apresenta quatro bandas que representam as mesmas feições de absorção da luz solar visível para o processo de fotossíntese, permitindo assim mapear o sequestro de carbono intraurbano. Nem é preciso explicitar a importância desse instrumento, uma vez que muitas metrópoles enfrentam os problemas decorrentes dos altos índices de emissão de CO₂ na atmosfera. A Figura 5a apresenta uma Superquadra da Asa Sul de Brasília, a SQS 304, que, por ser uma das mais antigas do Plano Piloto, apresenta uma arborização considerável. Por sua vez, a Figura 5b apresenta sua antípoda, a SQN 304, que por ser mais recente apresenta, portanto, menor exuberância vegetal.



Figura 5a. SQS 304 por meio dos dados Ikonos II



Figura 5b. SQN 304, por meio dos dados Ikonos II

Fonte: elaboração do autor

Pode-se, por exemplo, avaliar o impacto da presença de áreas arborizadas nos grandes centros urbanos em contraposição à poluição causada pela ação antrópica. A imagem de dois pontos diferentes na cidade de Brasília evidencia bem o potencial de visualização e interpretação desses dados.

Com a utilização da modelagem do sensor Ikonos, é possível avaliar a eficiência do sumidouro de carbono nos dois pontos, ou seja, as duas Superquadras. Após essa determinação, foi possível precisar a área da porção que efetivamente sequestra carbono e compará-la com a área que não sequestra ou mesmo libera CO_2 . Lembre-se que mesmo em áreas residenciais há emissão de dióxido de carbono em decorrência do trânsito de veículos. A presença ou a ausência de sumidouro de carbono está diretamente relacionada à sua liberação ou ao sequestro desse gás na atmosfera.

Com base nesse cálculo, procede-se à razão entre área de sequestro e de não sequestro para identificar como a arborização intraurbana pode minimizar os efeitos advindos do lançamento de altos teores de CO_2 na atmosfera. Essa razão pode ser compreendida como a relação entre a área de vegetação que realiza fotossíntese e a área de equipamentos urbanos.

A 304 Sul, a mais arborizada, apresentou uma área de sequestro de carbono (em verde na Figura 6a) de 0,108 km² e uma área de não sequestro (em vermelho na Figura 6a) de 0,117 km², o que resultou numa razão de 0,92. Por sua vez, a 304 Norte, menos arborizada, apresentou uma área de sequestro de carbono (em verde na Figura 6b) de 0,089 km² e uma área de não sequestro (em vermelho na Figura 6b) de 0,136 km², o que resultou numa razão de 0,65. Nota-se uma razão bem próxima a 1 na SQS 304, o que representa um equilíbrio entre área arborizada responsável pelo sequestro com a urbanizada que não sequestra. Ao contrário, a Superquadra da Asa Norte, por ser mais recente e, por consequência, menos arborizada, apresenta uma razão de 0,65 por ter predomínio de áreas de não sequestro de carbono.



Figura 6a. Relação de sequestro de carbono (verde) com o não sequestro (vermelho) na SQS 304, obtida por meio dos dados Ikonos II

Fonte: elaboração do autor



Figura 6b. Relação de sequestro de carbono (verde) com o não sequestro (vermelho) na SQN 304, obtida por meio dos dados Ikonos II

Fonte: elaboração do autor

Esse tipo de metodologia, além de identificar com precisão todos os elementos, é recurso indispensável na orientação de políticas locais de incentivo ao verde e controle da poluição pela emissão de CO₂.

Dessa forma o sensoriamento remoto permite a espacialização de focos de emissão bem como os principais sumidouros de carbono com periodicidade, pois como os sistemas apresentados estão em satélites pode-se obter uma nova imagem em poucos dias. Pode-se notar como as áreas de unidades de conservação, as matas ciliares e os reflorestamentos são eficientes nesse processo de sequestro de carbono e como os conteúdos de dióxido de carbono são elevados em áreas urbanas.

Pode-se, com um sensor como o Ikonos, inferir, com a precisão de 1 metro, como o desenho urbano e sua materialização podem minimizar os efeitos de atividades antrópicas que geram localmente perturbações no conforto térmico. Esse tipo de verificação permite que novas gerações de urbanistas pensem uma cidade mais saudável e mais agradável para ocupação e existência, baseando-se nos resultados obtidos em ambientes urbanos já consolidados. Além disso, com a implementação da comercialização de cotas previstas no

Protocolo de Quioto, as áreas que desenvolverem melhor seu planejamento ambiental urbano poderão beneficiar-se posteriormente dos créditos de carbono e reinvesti-los em prol da própria comunidade.

Referências

GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, p. 492-501, 1997.

GREEN, R. O. **Measuring the spectral expression of carbon dioxide in the solar reflected spectrum with AVIRIS**. In: AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, California, 2001. Disponível em: <http://popo.jpl.nasa.gov/docs/workshops/01_docs/2001Green_co2_web.pdf>. Acesso em: 07/06/2002.

GREEN, R. O.; EASTWOOD, M. L.; SARTURE, C. M.; CHRIEN, T. G.; ARONSSON, M.; CHIPPENDALE, B. J.; FAUST, J. A.; PAVRI, B. E.; CHOVIT, C. J.; SOLIS, M.; OLAH, M. R.; WILLIAMS, O. Imaging spectroscopy and the Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer (AVIRIS). **Remote Sens. Environ**, 65, p. 227-248, 1998.

RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. **Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery**. In: AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, California, 2000.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de carbono: uma experiência concreta**. Palmas: Instituto Ecológico, 2001.

SLATER, P. N. **Remote Sensing: optics and optical systems**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1980.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Sequestro de CO₂. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, ano IV, n. 21, 2001.