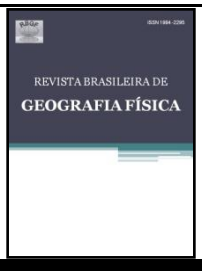
ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Dinâmica de Carbono Orgânico Dissolvido em Ecossistemas Florestais: Uma Revisão Sobre a Lixiviação pela Chuva

Felipe Soter de Mariz e Miranda[1], André de Souza Avelar[2]

[1]Dr. em Geografia, Pesquisador colaborador do Laboratório Interdisciplinar de Estudos Geoambientais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, LIEG-UFRJ,. Av Athos da Silveira Ramos 149, Departamento de Geografia, sala H-15 - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909, felipesoter@yahoo.com.br (autor para correspondência). [2]Geólogo, Dr. em Geografia, Professor Adjunto do Departamento de Geografia da UFRJ e Coordenador do LIEG, Av Athos da Silveira Ramos 149, Departamento de Geografia, sala H-15 - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909, andre.avelar@globo.com

Artigo recebido em 20/06/2018 e aceito em 04/12/2018

R E S U M O

O fluxo de matéria orgânica é um componente importante da dinâmica de ecossistemas e dos impactos ambientais. A água da chuva, ao percolar os ambientes terrestres, transporta partículas orgânicas das quais as menores têm maior mobilidade espacial e são mais ativas do ponto de vista ecológico, sendo chamadas de dissolvidas quando menores que 0,45 µm na maioria dos estudos recentes. A dinâmica de carbono orgânico dissolvido (COD) inclui entradas atmosféricas de moléculas alóctones, tanto pela deposição úmida vinculada à chegada direta via chuva e que pode ser observada pela concentração de COD na precipitação inicial, quanto pela deposição seca originada pela lavagem da biomassa viva onde se acumulam poeiras orgânicas de origem atmosférica, a qual pode ser observada na precipitação atravessada. Nesta segunda, também há a presença de COD originado por exsudatos solúveis secretados pela própria vegetação. Nas deposições úmida e seca, é mais relevante a condição atmosférica vinculada à influência de atividades industriais e centros urbanos do que a produtividade dos ecossistemas em si. Ao percolar e lixiviar os estoques de serapilheira a água da chuva atinge as maiores concentrações de COD, onde a dinâmica de produtividade e decomposição de cada ecossistema torna-se preponderante. Quando infiltra o horizonte mineral do solo o COD pode adsorver-se às partículas minerais, reduzindo sua concentração na solução do solo gradativamente com o aumento da profundidade. Quando ocorrem escoamentos superficiais, ficam reduzidas as oportunidades de adsorção do COD ao solo, resultando em aumento das transferências dos ecossistemas terrestres para os aquáticos.

Palavras-chave: Carbono orgânico dissolvido; lixiviação florestal, geoecologia

Dissolved Organic Carbon Dynamics in Forest Ecosystems Through Rainfall Mediated Leaching: A Review

A B S T R A C T

The flows of organic matter are an important part of the ecosystem dynamics and environmental impacts. Rainwater, when percolating through terrestrial environments, transports organic particles, of which the smallest ones have greater spatial mobility and are more ecologically active. These particles are considered dissolved when smaller than 0.45 µm in most recent studies. The dynamics of dissolved organic carbon (DOC) involves the atmospheric input of allochthonous molecules, due to the wet deposition associated with rainfall, which can be observed in the DOC concentration in the initial precipitation, as well as by the dry deposition caused by the washing of living biomass where organic dust of atmospheric origin accumulates, which can be observed in the throughfall fluxes. In the later, there is also the presence of DOC originated by soluble exudates secreted by the vegetation itself. About wet and dry depositions, the atmospheric condition associated with the influence of industrial activities and urban centers is more relevant than the productivity of the ecosystems themselves. When percolating and leaching the litter stocks, rainwater reaches the highest concentrations of DOC, where the dynamics of productivity and decomposition of each ecosystem becomes preponderant. When it infiltrates the soil mineral horizon the DOC can adsorb to the mineral particles, reducing its concentration in the soil solution gradually as the depth increases. With the occurrence of surface runoff, opportunities for adsorption of DOC to the soil are reduced, resulting in increased transfer from terrestrial to aquatic ecosystems.

Key-words: Dissolved organic carbon; forest leaching; geoecology

Introdução

A mobilização de matéria orgânica (MO) em ecossistemas naturais ou modificados pode resultar em fluxos espaciais de nutrientes e energia entre diferentes unidades de paisagem, de forma que cada ecossistema responde conforme sua regulação interna a estas transferências no contexto do equilíbrio dinâmico. O conhecimento integrado dos fatores bióticos e abióticos que controlam tais transferências, assim como sobre suas resultantes ecológicas, situa-se no escopo epistemológico da Geografia Física uma vez que tal dinâmica é fundamental para a constituição estrutural e espacial dos ambientes naturais ou antropogênicos, assim como parte relevante dos reflexos indesejados das ações humanas, os quais entendemos como impactos ambientais.

Como dinâmica de MO consideremos o conjunto de processos biofisicoquímicos atuantes sobre a biomassa, principalmente a morta, que se acumula sobre o solo na forma de serapilheira, desde sua deposição até sua mineralização completa. Tal dinâmica é responsável por um conjunto de serviços ambientais oferecidos por ambientes naturais e que podem ser aproveitados para o planejamento de sistemas agrícolas menos impactantes.

Uma boa estruturação de agregados e aeração do solo, assim como sua maior capacidade nutritiva e de infiltração da água, são bons exemplos destes serviços em relação à qualidade dos solos executados pela presença de MO (Pereira e Thomaz, 2014; Abdolalahi et al., 2014). Sistemas agrícolas alternativos como o "plantio direto" e sistemas agroflorestais (SAFs) utilizam-se destes serviços para a manutenção da produtividade afim de evitar processos erosivos e a necessidade de utilização de insumos, alcançando uma melhor manutenção da umidade e a reposição orgânica de nutrientes (Brandão et al., 2017; Mascarenhas et al., 2017; Zhang et al., 2018; Melloni et al., 2018).

A mobilidade espacial da MO, intra e interecossistemas, é parte importante de sua dinâmica, podendo apresentar reflexos sobre a estrutura ecológica dos ecossistemas e resultar em impactos ambientais (Seekell et al., 2015). Podemos destacar a relevância especial das transferências de MO dos ecossistemas terrestres para os aquáticos, uma vez que a chegada de nutrientes e energia "extra" pode apresentar severos impactos sobre a teia trófica dos ecossistemas límnicos, assim como pode também afetar a qualidade da água para o consumo humano (pH, turbidez, presença de poluentes, etc.).

A fração da MO conhecida como "dissolvida" (MOD – matéria orgânica dissolvida) é a mais relevante em relação às transferências espaciais (mais móvel), percolando os ambientes pela ação transportadora da água. O termo Carbono Orgânico Dissolvido (COD) se refere ao conteúdo de carbono na MOD. É possível focar também em outros elementos, como o nitrogênio (NOD – Nitrogênio Orgânico Dissolvido) que é estudado isoladamente ou, em muitos casos, junto ao COD, considerando que ambos são elementos de alta relevância ecológica (Vera et al., 2016; AlMulla et al., 2018). Do conteúdo de MO transportada pela água da chuva ao curso da lavagem dos ecossistemas, algo entre 70 e 90% encontra-se na forma dissolvida (Lombardo et al., 2017).

À dinâmica de COD associa-se, por exemplo, a qualidade química e estrutura/dinâmica trófica da água de lagos (Ye et al., 2015; Toming et al., 2016) e reservatórios para o abastecimento humano afetados diretamente pela sua presença excessiva (Hestir, et al., 2015; Massicote et al., 2017). Também há a influência indireta pelo controle exercido sobre mobilidade espacial de contaminantes, em virtude da competição entre ambas pelos sítios de sorção à superfície das partículas minerais do solo (Céspedes et al., 2002; Marques et al., 2017; Favorito et al., 2018).

Segundo Seekell et al. (2015) a chegada de COD afeta a produtividade primária de lagos uma vez que traz consigo nutrientes importantes (favorece a produtividade), ao tempo que sua presença pode dificultar a entrada de luz (desfavorece a produtividade), acarretando em um comportamento não linear referente a sua influência sobre a produtividade. Menores chegadas trazem os nutrientes pouco afetando a entrada de luz, de forma que a produtividade se correlaciona de forma positiva ao conteúdo de COD até um determinado limiar. Quando a entrada de luz começa a ser afetada pela presença de MO a correlação se inverte para negativa. Tal limiar de inversão de correspondência pode variar de ambiente para ambiente. Em suma, os ecossistemas límnicos são extremamente sensíveis em sua estrutura trófica às modulações das taxas de exportação de COD de origem terrestre pelos canais de drenagem.

Uma produção bibliográfica considerável já foi realizada com foco na exportação de COD de bacias hidrográficas e alguns de seus fatores controladores, como o aspecto topográfico (Creed et al., 2002; Mengistu et al., 2014), o uso e cobertura do solo (Jiang et al., 2014), as vias de fluxo hidrológico predominantes (Chaplot e Ribolzi, 2014; Oni et al., 2014) e propriedades fisicoquímicas do solo (Nosrati et al., 2012), sem contabilizar entradas atmosféricas ou a produção de COD pelo ecossistema local. Quando contabilizadas as entradas de COD de origem atmosférica, refere o estudo ao balanço de COD em

bacias hidrográficas (Figueiredo et al., 2014; Singh, et al., 2014).

No contexto destes estudos, os esforços de modelagem dos padrões de exportação poucas vezes adentram o universo da dinâmica de MO nos ambientes terrestres. São comuns, nestes trabalhos, referências sobre a influência da dinâmica de serapilheira, muitas vezes relacionando à sua sazonalidade e citando estudos sobre sua produção e decomposição para explicar variações de exportação de COD. A dinâmica de produção de COD nos ambientes terrestres e sua influência direta sobre as exportações ainda é pouco estudada, e seu conhecimento é importante para a melhoria dos modelos de exportação. (Figueiredo et al., 2014)

Em vista da sua importância ecológica, o presente trabalho teve como objetivo trazer uma síntese simplificada sobre a dinâmica espacial de COD balizada nas variações em sua concentração na água da chuva que percola os ambientes terrestres florestados. A revisão é baseada em estudos recentes sobre o tema e ressalta aspectos ecológicos gerais à frente da complexidade e singularidades das interações químicas em cada condição ambiental. Busca-se aqui uma abordagem compartimentada desta dinâmica, relacionada à presença de COD em cada compartimento hidrológico da chuva: Precipitação Inicial; Fluxo de Atravessamento (conteúdo que atravessa o dossel florestal e chega à camada de serapilheira); Precipitação Terminal (conteúdo que atravessa a serapilheira alcançando o horizonte predominantemente mineral do solo); Solução do Solo; e Canal de Drenagem. São debatidos os possíveis fatores controladores das variações de concentração com base nas discussões realizadas em diferentes trabalhos de pesquisa. Assim, procura-se dar um panorama geral da dinâmica de COD em ambiente terrestre que possa contribuir para estudantes e pesquisadores que estejam adentrando temas correlatos.

O carbono orgânico dissolvido

Uma grande quantidade de MO desloca-se através do ambiente pela ação transportadora da água. Menores partículas tendem a possuir maior mobilidade espacial e maior relevância físico-química (Singh et al. 2014). Costuma-se diferenciar duas frações de MO nos estudos sobre sua dinâmica espacial em água: Matéria Orgânica Dissolvida (MOD); e Matéria Orgânica Particulada (MOP). O termo dissolvido é utilizado para menores partículas e não representa a condição química de dissolução, pois a diferenciação é realizada por filtragem, onde além do material verdadeiramente dissolvido encontram-se colóides de tamanho menor que a abertura utilizada. Não há uma definição exata sobre o tamanho da partícula para esta diferenciação, sendo comumente utilizadas, para tanto, filtragens com aberturas entre 0.2 e 0.7 µm.

Mayorga e Aufdenkampe (2002) realizaram um debate acerca da implicância ecológica do tamanho das partículas orgânicas, argumentando sobre o uso da abertura de filtragem de 0.45 µm para uma diferenciação baseada em mudanças no comportamento bioquímico deste tamanho de partícula. Segundo estes autores, a principal caraterística da matéria orgânica menor que 0,45 µm é a possibilidade de biodisponibilidade direta. Microrganismos, raízes das plantas, e muitos tecidos animais podem transportar moléculas desta fração através das membranas celulares, tanto passiva quanto ativamente. Os contaminantes também exibem a sua maior toxicidade nesta condição.

Há uma maior mobilidade desta fração em ser transportada, uma vez que partículas maiores tendem a apresentar maior força de adsorção às partículas minerais do solo. A disponibilidade para biodegradação é maior nas menores partículas, já que a associação das maiores às partículas minerais do solo pode oferecer certa resistência à atividade microbiana (resistência à dessorção para a biodegradação). Esta abertura de filtragem é indicada pela agência de proteção ambiental estadunidense (EPA – *Environmental Protection Agency*) e parece ser a mais utilizada em trabalhos recentes (Nosrati et al., 2012; Chaplot E Ribolzi, 2014; Figueiredo et al., 2014; Jiang, 2014; Menjistu et al., 2014; Singh et al., 2014; Zhou et al., 2015; Lombardo et al., 2016; Leinemann et al., 2016; Vera et al., 2016; Sparling et al., 2016; Miranda, 2017; Favorito et al., 2018; entre outros). A EPA indica a utilização de membrana de polietersulfona (PES) para o processo de filtração, baseada no estudo comparativo entre membranas de diferentes materiais em relação à contaminação e à adsorção (à membrana) de COD, realizado por Karanfil et al. (2003).

A matéria orgânica na água, particulada ou dissolvida, é comumente quantificada pelo seu teor de carbono, tanto por razões operacionais (métodos de quantificação pela oxidação da matéria orgânica – massa de carbono em dióxido de carbono), quanto pelo significado ecológico do carbono, surgindo os termos Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Carbono Orgânico Particulado (COP). O COD pode ser formado por moléculas de diferentes pesos moleculares (alto e baixo), assim como por frações mais lábeis (proteínas, carboidratos e lipídeos) ou mais refratárias (ligninas e ácidos húmicos).

No que se refere à dinâmica espacial do COD nos ecossistemas, em termos gerais, é possível considerar que nem sempre a MO presente na água

da chuva adveio do próprio ecossistema em questão, configurando uma entrada *(input*) de MO alóctone. Além disso, ocorre o enriquecimento da concentração na água da chuva pela lixiviação de diferentes compartimentos florestais (dossel e serapilheira), o que representa a dinâmica de migração de COD entre compartimentos florestais e se reflete em heterogeneidade de concentrações entre diferentes compartimentos hidrológicos da chuva (chuva inicial, fluxo de atravessamento e chuva terminal).

Quando há infiltração da água no horizonte mineral, observa-se a tendência de redução das concentrações de COD com o aumento da profundidade até o lençol freático onde a concentração pode se estabilizar (Fröberg et al., 2011; Chaplot e Robolzi, 2014). No canal de drenagem, a concentração de COD costuma permanecer próxima à concentração encontrada no lençol freático, enquanto sua vazão se encontra em condição de fluxo base. As mudanças de concentração na água do canal geralmente ocorrem em associação às alterações da vazão frente aos eventos de precipitação, respondendo às condições geoquímicas das vias fluxo predominantes da água até sua chegada ao canal de drenagem (Peralta-Tapia et al., 2014; Moyer et al., 2015; Roig-Planasdemunt et al., 2016).

Por conta desta dinâmica, as vias de fluxo da água da chuva têm considerável capacidade de influenciar a chegada de MO aos ambientes de riacho, o que, inclusive, tem habilitado o uso das concentrações de COD nos canais de drenagem como indicadores das vias de fluxo da água - proporção entre infiltração e fluxo superficial - através da ideia de assinatura hidrogeoquímica (Chaplot e Ribolzi, 2014; Oni et al., 2014). Por sua maior mobilidade, a fração dissolvida (COD) representa a maior contribuição de transferência de carbono orgânico dos ambientes terrestres para os ambientes aquáticos

Grande parte dos trabalhos sobre a dinâmica de COD trabalham com sua concentração em diferentes compartimentos hidrológicos. É possível observar que estudos mais recentes optam pelo $mgC.L^{-1}$ (miligrama de carbono por litro) como unidade para a concentração, embora alguns, principalmente os vindos de departamentos de química, utilizem $\mu molC.L^{-1}$.

Trabalhos que tenham amostrado um número de eventos de precipitação que possa ser considerado representativo do ano hidrológico, por vezes, utilizam as médias anuais de precipitação ou a vazão dos canais para estimar as taxas de fluxo em $gC.ano^{-1}$, onde ainda deve ser acrescentada uma unidade espacial, geralmente hectare (ha – geralmente combinada com Kg) ou metro quadrado (m^2), sendo, aparentemente, esta segunda, mais usual ($gC.m^{-2}.ano^{-1}$) (Zhou et al., 2015; Costa et al., 2016; Leinemann et al., 2016; Godoy-Silva, 2017). Raros estudos tem a oportunidade de quantificar as concentrações de COD em todos os eventos pluviométricos ao longo de um ano inteiro.

Além da concentração de COD obtida em cada compartimento, é possível subtrair-se a concentração obtida no compartimento anterior – concentração de entrada no compartimento em questão – para isolar a lixiviação deste compartimento. Em outras palavras, existe o valor de concentração obtido em um determinado compartimento hidrológico, por exemplo, no fluxo de atravessamento, que exige a subtração da concentração obtida na chuva inicial como forma de isolar/obter a concentração resultante da lixiviação do dossel florestal (Miranda, 2017; Leinemann et al., 2018).

Precipitação inicial: deposição úmida

Uma parcela de COD advém da precipitação inicial em virtude da dissolução/carreamento de compostos orgânicos voláteis que se encontram na atmosfera. Há uma grande variedade de moléculas orgânicas na atmosfera tais como hidrocarbonetos leves, aldeídos e cetonas, uma vez que essas moléculas podem vaporizar em condições ambientais naturais. Além disso, uma grande quantidade de compostos orgânicos é lançada à atmosfera pelas atividades industriais e queima de combustíveis (Siudek et al, 2015).

Ao conteúdo de COD mobilizado diretamente da atmosfera pela água da chuva, indicado pela sua concentração observada na precipitação inicial, dá-se o nome de deposição úmida, seguindo o termo já bem estabelecido para a entrada de poluentes via chuva. No caso da deposição úmida de COD, as moléculas orgânicas apresentam alta probabilidade de não terem sido sintetizadas no ecossistema de deposição, representando a entrada de uma fração de MO alóctone.

A presença de COD na chuva tende a reduzir seu pH, tornando-a mais ácida e existem dois mecanismos básicos de dissolução: (1) pré-formação das gotas de precipitação, no interior das nuvens; (2) pós-formação das gostas, lavagem da camada inferior da atmosfera (nuvens abaixo) (Vet et al., 2014).

Liu e Sheu (2003) indicam que valores de até cerca de 2 mg/L^{-1} de COD na chuva inicial podem ter origem biogênica associada a exsudatos voláteis originados nos ambientes naturais (em grande parte o próprio ecossistema de deposição).

Por outro lado, valores acima deste patamar costumam representar alguma influência antropogênica como queima de combustíveis fósseis e aerossóis orgânicos.

Considerando-se que o COD de origem atmosférica foi liberado/emitido de outros lugares, áreas que se localizem próximas a grandes centros urbanos ou parques industriais podem receber uma entrada de COD via precipitação maior do que áreas mais distantes destes centros, embora a força da circulação atmosférica possa transportar tais moléculas até longas distâncias (Zhang et al., 2017; Iavorivska et al., 2017). A tabela 1 apresenta valores de concentração de COD na precipitação inicial observados por diferentes pesquisadores em variados ambientes.

A queima de combustíveis para o aquecimento doméstico é um fator com influência bastante citada sobre o aumento das concentrações de COD na água da chuva, com tendência sazonal. Em casos extremos de aglomerações urbanas, como o observado nas megacidades chinesas por Pan et al. (2003), as concentrações de COD na chuva inicial podem comumente exceder os 40 $mg.L^{-1}$ – valor este da ordem de valores encontrados no lixiviado da serapilheira em outros estudos – no inverno e apresentar, no mesmo sítio, valores próximo de 2,0 $mg.L^{-1}$ no verão. Siudek et al. (2015) também encontram valores próximos, cerca de 46,0 $mg.L^{-1}$ na precipitação inicial, porém como um valor incomum e, provavelmente, associado a algum evento de natureza estocástica. Inagaki et al. (1995) também encontraram maiores concentrações de COD na precipitação em época de inverno, associando tal resultado ao aquecimento doméstico.

É possível inferir que a relevância do aquecimento doméstico sobre a sazonalidade das entradas de COD atmosférico tem forte relação com a capacidade de influência dos centros urbanos em relação à área estudada, com tendência de perder força à medida que aumenta a distância entre estes, ou em função da direção dos ventos. A necessidade ou não de aquecimento, e a intensidade da necessidade, também são aspectos relevantes para as taxas de entradas de COD influenciada pelo aquecimento doméstico.

Em ambiente costeiro, Kieber et al. (2002) encontraram maiores entradas de DOC via chuva no verão, ressaltando uma dinâmica singular em relação à área de origem das tempestades. Segundo os autores, as chuvas com origem no oceano resultam em menores entradas de COD em comparação às chuvas originadas no continente.

Aparentemente, a tendência sazonal sobre o COD na chuva inicial perde força em ambientes tropicais, onde raramente se utiliza aquecimento doméstico e os ambientes naturais apresentam dinâmica ecológica sazonal menos pronunciada. Costa et al. (2016) encontraram concentrações de COD um pouco maiores na precipitação no inverno do sudeste brasileiro, porém, com valores próximos entre as estações. Para estes autores, tal resultado reflete a maior incidência de queimadas no inverno (estação seca), emitindo para atmosfera grandes quantidades de fuligens orgânicas. A possibilidade de influência exercida pela ocorrência de queimadas foi inferida por Miranda (2017), também no sudeste brasileiro, para explicar alguns "picos" na concentração de COD na precipitação inicial durante o inverno.

A atividade de queima de cana-de-açúcar, comum nas áreas onde esta é cultivada, pode ser responsável por grandes incrementos na concentração de COD na chuva, como foi observado em São Paulo, Brasil. Sua recorrência sistemática pode exceder, em taxas anuais, outras fontes de COD como toda queima de combustíveis fósseis, por exemplo, mesmo em cidades de médio porte e industrializadas, quando estas se encontram dentro do raio de ação dos efeitos atmosféricos das queimadas (Godoy-Silva et al., 2017).

Um estudo detalhado sobre as variações de concentração de COD na precipitação ao longo dos eventos de chuva foi conduzido por Iavorivska et al. (2017). Estes autores indicaram a tendência de redução das concentrações com o progresso dos eventos. Todavia, aumentos de concentração foram detectados de forma atípica, influenciados pela advecção das massas de ar e por emissões locais durante os eventos.

Fluxo de atravessamento: a lavagem da biomassa viva

O conteúdo de MO na atmosfera também pode influenciar o enriquecimento de COD na precipitação após o atravessamento pelas copas vegetais, a partir do acúmulo de compostos orgânicos de origem atmosférica sobre estas. Ao atravessar as copas, a precipitação lava a biomassa a cada evento de chuva, resultando em aumento na concentração de COD (Costa et al., 2016; Chen et al., 2017; Howard et al., 2018).

Tabela 1: Valores de concentração de COD encontrados na precipitação inicial em diferentes trabalhos de pesquisa.

Ecossistema	País	COD (mg/L^{-1})	Referências

		Outono / Inverno	Primavera / Verão	Média	
Floresta de coníferas	Estados Unidos	-	-	1,5	Edmonds et al, 1995
Floresta de coníferas	Japão	-	-	1,0	Inagaki et al., 1995
Floresta folhosa	Estados Unidos	-	-	1,8	Currie et al., 1996
Floresta mista	Alemanha	-	-	1,8 ± 1,8	Bäumler e Zech, 1997
Floresta folhosa	Porto Rico	-	-	1,0	Mcdowell, 1998
Zona costeira	Nova Zelândia	0,2	0,7	0,5	Kieber et al., 2002
Floresta subtropical	Taiwan	-	-	4,7 ± 2,9	Liu e Sheu, 2003
Área semi-urbana	Brasil	-	-	4,7	Coelho et al., 2008
Área urbana	China	40,0	1,0	-	Pan et al., 2010
Agricultura Área urbana	Polônia	- -	- -	5,2 5,9	Siudek et al, 2015
Floresta tropical Cacau SAF	Brasil	1,2 1,3	0,3 2,8	0.8 2,1	Costa et al., 2016
Área desflorestada	Espanha	0,5	1,3 ± 0,1	1,1 ± 0,1	Roig-Planasdemunt et al., 2016
F. folhosa decídua	Japão	-	-	7,08 ± 0,42	Chen et al., 2017
Área rural	Estados Unidos	-	-	1.7	Iavorivska et al., 2017
Parque arborizado	Espanha	6,0 - 14,0	3,0 - 7,0	-	Lombardo et al., 2017
Floresta tropical	Brasil	-	-	5,3	Miranda, 2017
Floresta folhosa	Estados Unidos	-	-	< 7,0	Howard et al., 2018

O conteúdo de COD de origem atmosférica depositado sobre a biomassa e lixiviado pela chuva representa a deposição seca. Além da MO de origem atmosférica, a concentração observada nos fluxos de atravessamento também inclui exsudatos solúveis originados da biomassa viva, apresentando, assim, também uma fração autóctone de MO. Tal fração tende a ser mais relevante nos fluxos de tronco do que no atravessamento direto pelo dossel, fazendo que as concentrações de COD costumem ser mais altas nos fluxos de tronco (Costa et al, 2016; Lombardo, 2017).

Liu e Sheu (2003), ao observar maiores concentrações de COD nos fluxos de tronco de uma floresta (plantada) de coníferas em comparação às florestas de folhosas, citam as singularidades morfológicas da casca das coníferas, apresentando caráter multicamadas. Isto a torna capaz de reter mais água por mais tempo e explicaria as diferenças encontradas entre os tipos florestais. Espécies de coníferas tendem a convergir uma quantidade ligeiramente maior de água para o escoamento de tronco, que ao lixiviar sua superfície, se enriquecesse de COD.

Contudo, é importante ressaltar que os fluxos de tronco poucas vezes representam mais do que 1 % do total de precipitação, podendo alcançar valores um pouco maiores (3-5%) em algumas florestas de coníferas (Lombardo et al., 2017; Aydm et al., 2018). Dessa forma, no contexto do COD encontrado no fluxo de atravessamento, é mais relevante o processo de deposição seca com origem atmosférica. A tabela 2 apresenta valores de concentração de COD obtidos nos fluxos de atravessamento em diferentes trabalhos de pesquisa, sob diferentes coberturas florestais.

Pode ser esperada alguma correlação entre a acumulação de compostos orgânicos nas copas e o tempo de estiagem precedente, em razão do maior tempo de oportunidade para a ocorrência de deposição seca, contexto no qual surge a ideia de pré-lavagem. Turgeon e Courchesne (2008), ao compararem os fluxos de COD em eventos pluviométricos similares, porém, sob condições de umidade antecedentes distintos, em bacia hidrográfica florestada no Canadá, encontraram maior enriquecimento de COD em condição de maiores tempos de estiagem precedentes. Miranda (2017) observou correlação inversa entre o acumulado de chuva antecedente (em mm) e a concentração de COD na chuva atravessada em Floresta Atlântica do Rio de Janeiro (Brasil). Ambos os autores associaram seus resultados mencionados ao efeito de pré-lavagem. No caso de Miranda (op cit.) seus resultados indicaram o melhor ajuste em relação ao período 15 dias de antecedência para o acumulado de chuva antecedente, em detrimentos a outros intervalos de tempo testados (10 e 30 dias), e o acumulado de chuva antecedente obteve melhor ajuste do que o tempo de estiagem precedente.

As concentrações de COD nos fluxos de atravessamento podem tender a menores valores na medida que os eventos de chuva apresentem maior volume ou intensidade de precipitação, através do efeito de diluição. Hafner et al. (2005) observaram correlação inversa entre a concentração de COD na precipitação atravessada e o volume precipitado nos eventos, destacando o efeito de diluição. Estes autores encontraram também uma correlação positiva entre essa concentração e a temperatura do ar, indicando sua influência para a dissolução de compostos sobre as folhas, o que pode ajudar a explicar algumas variações sazonais em florestas temperadas e boreais. Miranda (2017) encontrou algum efeito de diluição similar, porém, associado à intensidade de precipitação dos eventos.

David e Discroll (1984) encontraram valores um pouco maiores na concentração de COD da precipitação atravessada em florestas de coníferas ao comparar-lhes aos encontrados em floresta de folhosas em condição ambiental semelhante. Para os autores, tal fato reflete as relações alométricas das espécies dominantes em cada ambiente, no caso, a maior densidade de biomassa (fechamento) dentro do raio de abrangência do dossel da *Pinus resinosa* (*Red pine*), árvore dominante no sítio de coníferas.

Outros autores que encontraram este resultado foram Inagaki et al. (1995), os quais observaram maiores concentrações médias de COD nos fluxos de atravessamento em dois sítios de coníferas, quando comparados a um sítio de folhosas, em condições ambientais semelhantes no Japão. Em contrapartida, ao comparar uma plantação de abetos (coníferas do gênero *Abies*) com florestas de folhosas (primária e secundária), Liu e Sheu (2003) encontraram maiores concentrações de COD nos fluxos de atravessamento na floresta primária de folhosas, buscando a explicação na existência de um sub-bosque neste sítio. Costa et al. (2016), ao compararem um SAF de produção cacau com uma floresta natural próxima, no Brasil, observaram que o maior fechamento do dossel fruto da maior biomassa acarretou em maior enriquecimento das concentrações COD na precipitação atravessada pela floresta natural.

A presença de epífitas também pode incrementar o enriquecimento de COD no atravessamento da chuva pela sua tendência de acumular MO e água por bastante tempo. Este foi o resultado encontrado por Howard et al., (2018) ao comparar as concentrações de COD de árvores ricas em epífitas com outras onde estas eram ausentes, no mesmo ambiente. A presença de epífitas resultou em maiores concentrações nos fluxos de atravessamento e nos fluxos de tronco. Os autores também destacaram a maior labilidade do COD encontrado nos fluxos de tronco e atravessamento, em comparação ao encontrado na solução do solo, onde a fração lábil é rapidamente consumida.

É importante ressaltar que, em relação ao conteúdo de COD nos fluxos de atravessamento, a arquitetura de biomassa das formações florestais se faz mais relevante quando os ambientes em comparação estão sob condições ambientais similares em relação às fontes de poluentes, perdendo força à medida que mudam as condições de entradas atmosféricas mantendo-se em mente que deposição seca é a principal fonte de COD neste compartimento. Dessa forma, diferenças entre sítios sob condições ambientais distintas (proximidade de centros urbanos, por ex.) tendem a serem maiores do que as encontradas entre formações/ecossistemas diferentes sob condições similares.

Tabela 2: Valores de concentração de COD encontrados nos fluxos de atravessamento, em diferentes trabalhos de pesquisa.

Ecossistema de lavagem do dossel	País	COD mg/L^{-1}*	Referências

Floresta de coníferas	Estados Unidos	9,6	David e Discroll, 1984
Floresta folhosa decídua		4,8	
Floresta de folhosas	Canadá	12,3 ± 2,4	Dalva e Moore, 1991
Floresta de coníferas	Estados Unidos	10,5	Edmonds, 1995
Floresta de folhosas		7,3	
Floresta de coníferas 1	Japão	4,3	Inagaki et al., 1995
Floresta de coníferas 2		2,9	
Floresta de folhosas		3,1	
Floresta de coníferas	Estados Unidos	Ver. 24 ± 2,6 Out. 13 ± 1,2 Prim. 37 ± 5,8	Currie et al., 1996
Floresta de folhosas		Ver. 16 ± 2,2 Out. 11 ± 1,2 Prim. 60 ± 17	
Floresta mista	Alemanha	6,5 ± 6,3	Bäumler e Zech, 1997
Floresta de folhosas perene	Porto Rico	6,2	McDowell, 1998
Floresta de folhosas primária	Taiwan	8,3 ± 3,4	Liu e Sheu, 2003
Floresta de folhosas secundária		9,9 ± 4,0	
Floresta folhosa	Brasil	Ver. 6,43 Inv. 17,33	Costa et al., 2016
SAF Cacau		Ver. 4,87 Inv. 4,95	
F. folhosa decídua	Japão	7,08 ± 0,42	Chen et al., 2017
Floresta folhosa perene	Brasil	13,3 ± 11,31	Miranda, 2017
Floresta folhosa	Estados Unidos		Howard et al., 2018
Rica em epífitas		64,0 ± 34,0	
Sem epífitas		35,0 ± 19,0	

*Outono (Out.), Inverno (Inv.), Verão (Ver.), e Primavera (Prim.)

Precipitação terminal: a lixiviação da serapilheira

Enquanto a concentração de COD na precipitação atravessada representa, em grande parte, a entrada de moléculas orgânicas alóctones, o enriquecimento de COD via lavagem da serapilheira apresenta como fonte de C moléculas orgânicas formadas a partir da fotossíntese local. É neste compartimento que a dinâmica de produção e decomposição de cada ecossistema se reflete nas concentrações de COD lixiviado, sendo o estoque de serapilheira sobre o solo o balanço entre estes dois processos.

A quantificação do incremento de COD na água após atravessar a serapilheira, assim como a avaliação das condições em que as taxas se alteram, não são observações muito comuns na bibliografia. Sobre este tema, destaca-se a produção científica sobre as florestas boreais (Hongve, 1999; Fröberg et al., 2006; Fröberg et al., 2011), onde o frio constante e o sazonal congelamento da serapilheira dificultam a mineralização da MO, acarretando em grandes estoques sobre o solo, com grande presença de turfeiras e a formação de organossolos (histossolos). Todavia, a maioria dos trabalhos realizam lixiviações controladas em laboratório e objetivam entender a dinâmica de degradação de material não renovado ou acumulado. A coleta da solução percolada pela serapilheira *in situ* é um desafio do ponto de vista metodológico e exige grandes esforços de campo, sendo raros os estudos que a tenha feito. As amostras ambientais da solução (*in situ*) se aproximam mais de indicar o que acontece na natureza ao manter as condições de campo, onde

há o aporte quase constante de material novo (variando de ambiente para ambiente) e o acúmulo das frações semi-decompostas.

Ao grande acúmulo de matéria orgânica sobre o solo associa-se, por exemplo, a coloração escura de lagos nórdicos, fruto da alta taxa de migração de MO, principalmente, de sua fração dissolvida (Hongve, 1999; Seekell et al., 2015). De maneira geral, os estoques de serapilheira fonte de COD nas florestas boreais costumam ser maiores do que os estoques encontrados na zona tropical onde a decomposição tende a ser mais rápida (Smolander et al., 2001; Fröberg et al., 2006; Fröberg et al., 2011; Miranda, 2017).

Ainda no âmbito das florestas boreais, a produção de COD via serapilheira tem sido investigada em função da qualidade química do material fonte, observando-se as diferentes taxas obtidas a partir das folhas de três espécies arbóreas principais: *Picea abies*, *Pinus sylvestris* e *Betula pendula* (Smolander et al., 2001; Fröberg et al., 2011). Estas três espécies juntas representam cerca de 90% dos indivíduos arbóreos nas florestas do Norte da Europa (Anonymous, 2010 apud Fröberg op cit.). Foram detectadas, *in situ*, maiores produções de COD no lixiviado de serapilheira em áreas de domínio da árvore *Picea abies*, argumentadas em função da menor biodegradabilidade das suas folhas ocasionando maior acúmulo sobre o solo.

Guggenberger e Zech (1993) observaram o fluxo de COD a partir da lavagem das folhas frescas de Abeto Vermelho da Noruega (*Picea abies*) em solos com diferentes concentrações de nitrogênio, na Alemanha. O resultado obtido indicou o favorecimento da presença de nitrogênio no solo à liberação de COD pela serapilheira, fato associado pelos autores à maior atividade decompositora. Tal fato ocorre uma vez que a degradação da MO pela microbiota decompositora pode liberar subprodutos de maior solubilidade. Em contra partida, experimento parecido foi realizado por Magill e Aber (2000) para serapilheira mista (composta por material de diferentes espécies) e os autores não encontraram efeito associado à adição de N para a comunidade decompositora sob as taxas de lixiviação de COD. Porém, estes também não avaliaram as taxas de decomposição (como fizeram Guggenberger e Zech, 2003) para determinar a efetividade do N, onde pode residir o motivo do resultado observado, considerando-se a possibilidade de que o N não era limitante à atividade decompositora.

Não é fácil estabelecer uma associação clara entre as taxas de decomposição da serapilheira e a produção de COD, onde parece residir certa dualidade: se por um lado baixas taxas de mineralização do C mantém a abundância de MO disponível a ser lixiviada (menos C perdido por respiração), por outro, a maior atividade decompositora pode originar maiores fluxos de COD pela disponibilização de novos solúveis (retrabalhamento químico). A Tabela 3 apresenta valores de concentração de COD no lixiviado da serapilheira, obtidos em diferentes trabalhos de pesquisa em variados ecossistemas florestais.

Lee et al. (2018) testaram a capacidade de reposição de solúveis pela microbiota decompositora através de experimento de precipitação e temperatura controladas sobre a serapilheira de diferentes tipos de coníferas, encontrando correlação positiva entre a temperatura do ambiente e tal reposição. O mesmo resultado foi encontrado por AlMulla et al., (2018) onde foi destacado a maior atividade decompositora correlata à temperatura, resultando em maior liberação de COD pelo retrabalhamento químico.

Em experimento de decomposição utilizando *litter bags* com serapilheira de floresta tropical, e com lixiviação controlada em laboratório, Zhou et al., (2015) encontraram aumento na concentração de COD no lixiviado correlato ao aumento da temperatura. Ao longo do experimento, houve um pico inicial na concentração de COD do lixiviado seguido de queda (perda dos solúveis). Posteriormente, um segundo pico vinculado ao aumento da temperatura e do retrabalhamento químico consequente da atividade decompositora.

Por outro lado, uma sistematização de dados de diferentes trabalhos, sob variados tipos florestais, realizada por Camino-Serrano et al. (2014), apontou maiores concentrações médias de COD no piso florestal de coníferas comparada às florestas de folhosas, em razão da condição ambiental e qualidade química das folhas de coníferas, ambas desfavoráveis à decomposição, resultando em espessos estoques de serapilheira. Para os autores, a lixiviação é mais intensa na serapilheira de folhosas, mas as maiores taxas de perda de C por respiração da microbiota, ocasiona menores concentrações de COD já no topo do solo.

Tabela 3: Valores de concentração de COD encontrados no lixiviado do estoque de serapilheira em diferentes trabalhos de pesquisa com amostra ambiental (*in situ*).

Ecossistema/constituintes da serapilheira	País	COD mg/L^{-1}	Referências

F. mista	Estados Unidos	37,5	McDowell e Likens, 1988
F. folhosa decídua	Estados Unidos	33,0	Qualls et al., 1991
F. coníferas	Estados Unidos	34,5	Richter e Markewitz, 1996
F. coníferas	Estados Unidos	14,0 - 75,0	Currie et al., 1996
F. folhosa decídua		5,7 - 45,0	
F. coníferas	República Checa	87,2	Krám et al., 1997
F. coníferas		48,4	Park e Matzner, 2003
F. coníferas/*Picea Abeas*	Suécia		Fröberg et al., 2006
Sítio 1		49,3	
Sítio 2		38,6	
Sítio 3		30,3	
Campo de gramíneas		1,2 - 17,1	Kindler et al., 2010
Agricultutra		3,9 - 17,3	
F. folhosa decídua		7,1 - 43,1	
F. coníferas/*Piceas Abeas*	Suécia	43,0	Fröberg et al., 2011
F. coníferas/*Pinus sylvestris*		39,0	
F. folhosa/*Bétula pendula*		25,0	
F. folhosa decídua	Japão	21,33 ± 1,01	Chen et al., 2017
F. Tropical/multivariada	Brasil	44,16	Miranda, 2017

A possibilidade de um equilíbrio entre acúmulo de material como estoque fonte de COD e o retrabalhamento químico que disponibiliza novos solúveis, que favoreça a lixiviação de COD foi apontada por Miranda (2017), ao comparar a lixiviação de serapilheira em áreas com diferentes taxas de decomposição, em floresta tropical do Brasil. Este autor observou que nos fundo de vale, mais úmido e com estoque de serapilheira delgado (decomposição mais rápida), foi lixiviado menos COD deste compartimento do que nas áreas acima adjacentes. Entretanto, os estoques espessos do topo da encosta, mais seco (decomposição mais lenta), não se manifestaram em maiores concentrações de COD no lixiviado, apresentando valores menores do que observado nos estoques intermediários de meia-encosta. O autor inferiu que a condição de encosta apresentava um equilíbrio entre acúmulo de MO fonte e retrabalhamento químico mais propício à lixiviação de COD, em comparação aos extremos geomorfológicos (topo e fundo de vale).

O elevado potencial de retrabalhamento químico, incluindo o trabalho sobre os compostos mais recalcitrantes, vinculado à atividade microbiana mais intensa pela maior temperatura e umidade, assim como a maior solubilidade provável, devem explicar o potencial de lixiviação de COD do piso das florestas tropicais. As concentrações de COD no lixiviado da serapilheira em florestas tropicais podem encontrar-se em patamar similar ao encontrado em diversas florestas boreais onde os estoques de serapilheira são bem mais espessos, como ressaltou Miranda (2017) ao comparar seus resultados em floresta tropical aos obtidos em florestas temperadas e boreais.

Quanto mais fragmentado o material da serapilheira, maior a taxa lixiviação de COD em função do aumento da superfície de contato, como foi observado Hongve (1999) na Noruega. Todavia, podem haver diferenças químicas entre os lixiviados de folhas íntegras e fragmentadas, associada à "idade" do material, uma vez que a composição química da MO vai se alterando ao longo do processo de decomposição pela lixiviação e biodegradação seletivas.

Observa-se na literatura a tendência de materiais mais jovens liberarem matéria orgânica mais lábil, enquanto as frações mais refratárias são liberadas de tecidos em estágio de decomposição mais avançado (Kaiser et al., 2001; Aitkenhead, 2003). Há uma tendência forte de maior lixiviação de COD em serapilheira fresca, principalmente carboidratos e proteínas, de forma que, com sucessivas lavagens, a continuidade da lixiviação

começa a depender mais das transformações químicas por parte da microbiota (Magill e Aber, 2000; Duan et at., 2014; Singh et al., 2014; Zhou et al., 2016).

Hongve (1999) encontrou altos valores de concentração de COD (cerca de 1000 $mg.L^{-1}$) na fase inicial de lixiviação controlada em experimento com serapilheira de floresta decídua, valor mais alto de que o encontrado para a serapilheira de coníferas, na Noruega. Todavia, amostras ambientais dificilmente apresentam valores neste patamar por conta da mistura de materiais frescos com materiais mais antigos e já lixiviados.

A lixiviação sobre folhas senis antes de sua deposição sobre o solo (*standing litter*) remove considerável massa de solúveis, com importância reforçada para a dinâmica de C em ambientes semi-áridos, onde a fase "em pé" da serapilheira costuma ser mais longa, principalmente, relativo à senilidade das folhas de gramíneas. Nestes ambientes, a grande exposição ao sol e a variabilidade de temperatura e umidade (noturna e diurna) afetam a composição química das folhas de gramíneas por fotodegradação e pela ação de microorganismos altamente especializados na condição "em pé", antes mesmo de sua queda ao solo (Wang et al., 2017). À serapilheira depositada sobre o solo resta os compostos mais recalcitrantes. Neste contexto, as taxas de perda de massa e de liberação de COD podem ser maiores na serapilheira ainda "em pé" comparado ao que ocorre nos estoques sobre o solo, no âmbito de ecossistemas semi-áridos.

Em relação aos ambientes temperados, estes apresentam dois tipos florestais básicos: floresta de folhosas e floresta de coníferas. Já foram citados estudos comparando a lixiviação de COD entre estes ambientes, demonstrando maior produção de COD sob coníferas por conta de maior acúmulo de material sobre o solo. Contudo, resta uma questão temporal: as florestas de coníferas costumam ser "sempre verdes" (perenefolias) enquanto as florestas folhosas temperadas podem ser altamente caducifólias. Tal deciduidade acarreta em grande aporte de serapilheira em determinada época do ano, o que não acontece com as coníferas. Consideráveis aumentos na concentração de COD em canais de drenagem ocorrem com sazonalidade bem marcada, demonstrando tendência de aumento no outono, estação de queda das folhas, e na primavera, quando pode haver o derretimento de neve e o transporte massivo de MO para os riachos (Meyer et al., 1988; Hongve, 1999; Peralta-Tapia et al., 2014). Contudo, esses aumentos refletem mais as entradas diretas para o canal de drenagem, por queda de folhas ou arraste destas por escoamento superficial na primavera, não refletindo a dinâmica de produção de COD no piso florestal pela lixiviação da serapilheira.

Autores como Schmidt et al. (2010), Dawson et al. (2008), e Jiang et al. (2014), encontraram mais COD lixiviado do piso florestal no verão em ambientes temperados, estação onde as taxas de decomposição são maiores. Eles inferem que o frio pode dificultar a lixiviação por congelamento ou redução da solubilidade, mesmo após o aporte massivo de material ao solo (florestas decíduas). Nas maiores latitudes, o congelamento destes estoques recém-aportados tende a inibir a produção de COD no piso florestal. Ou seja, o conteúdo depositado no ambiente terrestre encontra-se sob baixas taxas de lixiviação no outono e inverno. Assim, ambas, as florestas de coníferas e decíduas, apresentam tendência de maior produção de COD no piso florestal durante o verão.

O pH da água também influência na solubilidade dos componentes químicos da serapilheira, entretanto, em dependência às características de cada soluto. Ou seja, diferentes compostos têm afinidades distintas de solubilidade em função do pH, sendo difícil afirmar que uma determinada condição de pH favoreça ou desfavoreça a produção de COD. Fortes correlações inversas são encontradas entre a concentração COD e pH da solução. Contudo, neste caso, o pH é muito mais reflexo da presença de COD reduzindo o pH (pH como variável dependente da presença de COD) do que fator fundamental à sua produção (Aitkenhead, 2003; Chaplot e Ribolzi, 2014). Em condições naturais, o potencial de solubilidade está mais vinculado às variações na temperatura da água encontradas sob diferentes condições ambientais, do que em função do seu pH.

Cerca de 70% da massa de detritos depositados (serapilheira) é composto por folhas. Esta proporção se mantém tanto para florestas típicas de clima temperado como as de coníferas e decíduas (An et al., 2017), assim como nas florestas tropicais (Miranda, 2017; Rowland et al., 2018). A maior presença em massa garante seu protagonismo em relação à produção de COD no piso florestal. Hafner et al. (2004) compararam a liberação de COD oriunda de troncos caídos com a liberação do pacote de serapilheira sobre o solo, nos Estados Unidos, encontrando maior produção para os troncos. Todavia, apesar da maior contribuição pontual dos troncos, os autores ressaltaram que estes representam menos de 2% da serapilheira, corroborando a ideia de maior importância dos tecidos foliares para os fluxos de COD.

Experimento realizado por Park e Matzner (2003) testou os efeitos da retirada da serapilheira, assim como da duplicação de seu estoque, para os fluxos de COD no solo. Os resultados obtidos apontaram para alterações nos fluxos,

principalmente, na camada mais superficial do solo, onde foi observada a significativa diminuição da concentração com a retirada da serapilheira, e seu aumento com a duplicação do estoque, frente a uma área controle onde o estoque não foi manipulado. Tais variações tenderam a diminuir em profundidade, de forma que já não eram significativas as diferenças encontradas no horizonte B (± 20 cm de profundidade). Com estes resultados, os autores puderam destacar a influência dos processos de sorção do COD ao solo para explicar, junto à produção na serapilheira, a chegada de COD aos corpos hídricos. Em suma, a manipulação do estoque de serapilheira condicionou mais a quantidade de COD no solo do que a quantidade que chega ao canal, com considerável reflexo na atividade biológica do solo (medida através de respirometria) que foi maior onde a serapilheira foi duplicada.

Já Meyer et al. (1988) encontraram redução nas concentrações de COD no canal de drenagem quando foi retirado o aporte de serapilheira, inferindo que este compartimento é responsável, direta ou indiretamente, por cerca de 30% do COD exportado pelo canal, em floresta mista na costa leste dos EUA. De forma geral, a dinâmica de sorção do COD ao solo é tão importante quanto sua dinâmica de produção nos ecossistemas, para explicar sua chegada aos corpos hídricos. Este é um dos pontos-chave em relação ao planejamento do uso e cobertura do solo em relação à chegada de COD aos corpos hídricos.

Solução do solo: sorção e mineralização de COD

Com a infiltração da água da chuva no horizonte mineral do solo as concentrações de COD tendem a decair. Esse é o resultado encontrado por diversos trabalhos, tanto sob florestas temperadas (Hongve, 1999; Park e Matzner, 2003; Fröberg et al., 2006; Fröberg et al., 2011; Chaplot e Robolzi, 2014; Peralta-Tapia et al., 2014; Leinemann et al., 2016), como também em florestas tropicais (Mcclain et al., 1997; Mcdowell, 1998; Gouveia Neto, 2006; Zambrosi et al., 2008; Figueiredo, 2014; Miranda, 2017). Tal tendência é resultado do potencial comportamento como adsorbato da MO em solução aquosa quando em contato com as partículas minerais do solo.

A profundidade onde a tendência se inverte, de um compartimento fonte de COD para um "meio filtrante" depende, em grande parte, do conteúdo de MO já incorporada ao solo. Nos histossolos e turfeiras, resultado de grandes acúmulos de MO que se mistura ao horizonte mineral, é comum a manutenção de um comportamento de aumento das concentrações de COD em profundidade no solo. Nestas condições, há menos oxigênio para a decomposição em profundidade e maior tempo de residência da água (Camino-Serrano et al., 2014). A Tabela 4 apresenta valores de concentração de COD na solução do solo em diferentes profundidades, obtidos em diferentes estudos.

Em solos com menor conteúdo de MO incorporado, como no caso das florestas tropicais onde a decomposição é mais intensa, tal mudança pode ocorrer bem no topo do solo (primeiros 10 cm), pois a intensa mineralização da MO redisponibiliza os sítios de adsorção das partículas minerais. Há situações com potencial de ocorrer tal inversão alguns centímetros abaixo do horizonte mineral em eventos de chuva com maior intensidade de precipitação em razão do aumento da capacidade de eluição da água e a dessorção de MO consequente, na camada superficial do solo (Miranda, 2017).

Leinemann et al., (2016) encontraram correlações inversas entre as concentrações de DOC e o fluxo de água de no topo do solo, sinalizando um efeito de diluição como possível reflexo dos processos de lixiviação das biomassas viva e morta acima. Tal efeito apresentou-se mais forte no topo do solo, enfraquecendo com a profundidade e sendo ainda observado em 150 cm de forma fraca.

É grande a complexidade nas interações fisicoquímicas entre a MOD e as partículas minerais do solo. São encontradas peculiaridades na tendência de sorção à medida que se refina características da MO, tanto em relação ao peso molecular (alto ou baixo), quanto em relação à hidrofilia/hidrofobia (Kaiser, et al., 1996; Kaiser et al., 2001).

Tabela 4: Valores de concentração de COD encontrados na solução do solo em diferentes trabalhos de pesquisa.

Ecossistema	País	Profundidade (cm) / horizonte	COD (mg/L^{-1})	Referência
F. de coníferas		60 / B	26 ± 5,2	Currie et al., 1996
F. de folhosas		60 / B	21 ± 3,9	
F. de coníferas	Estados Unidos	15 / A	24	Richter and
		60 / B	1,5	Markewitz, 1996
		600 / C	0,6	

F. mista	Alemanha	10 / -	10,5 ± 13,5	Bäumler e Zech, 1998
		30 / -	2,7 ± 3,4	
		50 / -	2,1 ± 1,3	
Plantação de Abeto	China	15 / -	8,8 ± 14,5	Liu e Sheu, 2003
		30 / -	7,7 ± 16,7	
		60 / -	3,2 ± 2,9	
F. de folhosas secundária		15 / -	15,5 ± 11,6	
		30 / -	13,5 ± 7,7	
		60 / -	8,5 ± 6,2	
F. de folhosas primária		15 / -	21,3 ± 11,9	
		30 / -	11,0 ± 7,1	
		60 / -	10,1 ± 5,9	
F. equatorial primária	Brasil			Marques et al., 2012
Platô		30 / -	1,3 - 12,1	
		100 / -	4,0 - 11,0	
		200 / -	1,8 - 6,0	
Encosta		30 / -	2,2 - 13,8	
		100 / -	2,0 - 10,0	
		200 / -	1,3 - 10,0	
Baixio		30 / -	48,4 - 49,0	
		60 / -	49,0	
F. folhosa (Fagus sylvatica)	Alemanha			Leinemann et al., 2016
Sitío 1		10 / -	72,0 ± 26,4	
		50 / -	20,9 ± 23,8	
		150 / -	12,46 ± 23,0	
Sítio 2		10 / -	66,7 ± 25,4	
		50 / -	30,0 ± 16,4	
		150 / -	-	
Sítio 3		10 / -	51,8 ± 18,0	
		50 / -	13,4 ± 10,1	
		150 / -	6,9 ± 6,2	
Pasto 1	Espanha	50-90 /-	6.5 ± 0.3	Roig-Planasdemunt et al., 2016
		422 / -	2.9 ± 0.2	
Pasto 2		50-90 / -	16.7 ± 1.4	
		208 / -	5.6 ± 0.4	
F. Tropical	Nova Zelândia	60 / B	5,7 ± 15,6	Sparling et al., 2016
F. folhosa decídua	Japão	20 / B	5,89 ± 0,5	Chen et al., 2017
F. tropical	Brasil	50 / B	27,34 ± 12,44	Miranda, 2017
		100 / B	24, 86 ± 8,63	

A fração de alto peso molecular tem grande capacidade em associar-se às argilas por quimiossorção (adsorção química), sendo este o principal fator a explicar a maior dificuldade de dessorção desta fração, enquanto as de menor peso molecular tem maior tendência de associações de fisissorção (adsorção física através das forças de Van der Waals). A fisissorção é mais fraca que a quimissorção, facilitando a dessorção (Mayorga e Aufdenkampe, 2002).

Sendo assim, os compostos de alto peso molecular tendem a ser adsorvidos preferencialmente e a serem melhor estabilizados no solo, por ocasião de uma maior proteção à dessorção e, consequentemente, à respiração microbiana (Tietjen et al., op cit; Ganter, 2007). Kaiser e Guggenberger (2007) confirmaram esta tendência observando a correlação inversa entre a presença de compostos de alto peso molecular na

serapilheira e a presença de compostos de baixo peso molecular adsorvidos às partículas do solo.

Fröberg et al. (2006) utilizaram o isótopo C_{14} para analisar a fonte do carbono no solo, e concluíram que grande parte do COD na solução do solo era produzido no próprio solo a partir da decomposição de frações maiores de MO incorporado. Os autores destacaram a influência da resistência dos compostos da folha da *Picea Abes* associada ao ambiente desfavorável à mineralização do C, resultando em grandes acúmulos de MO disponível ao lento consumo no horizonte mineral dos espodossolos (*podzols*) da Suécia.

Em experimento similar realizado por Scheibe e Gleixner (2014), foi confirmado que quase todo o carbono orgânico na solução do solo em 5 cm de profundidade não era originado diretamente da serapilheira, pois o conteúdo que era lixiviado da serapilheira adsorvia-se ao topo do solo e o COD era produzido a partir da liberação de subprodutos da degradação bioquímica deste material. Estas observações ressaltam a importância dos processos de dessorção e transformação da MO no solo para os fluxos de COD.

A capacidade de retenção de MOD do solo é reflexo de sua composição química e mineralógica. Segundo estudo realizado por Kaiser et al. (1996), em um universo de complexas interações químicas para adsorção da MOD, destacam-se como principais características químicas do solo os conteúdos de óxidos de Fe e Al, de hidróxido de Fe, sesquióxidos e de MO incorporada. A presença dos óxidos, hidróxidos e sesquióxidos incrementam as taxas de adsorção uma vez que se apresentam como "sítios" de forte quimiossorção, onde a força de sorção pode variar em função do pH da solução onde está contido o adsorbato (Ganter, 2007; Kindler et al., 2010, Singh et al., 2017). Pode haver certa preferência geral de adsorção e estabilização para enzimas aromáticas (Leinemann et al., 2018).

O conteúdo de MO no solo interfere negativamente nas taxas de retenção pela ocupação dos "sítios" de adsorção. A introdução de insumos contendo fosfato tem demonstrado potencial em reduzir a adsorção de COD nos solos, resultando em aumento das taxas de exportação por canais de drenagem, pela redução do Fe (Musolff et al., 2017). Kaiser et al. (1996) complementam que o conteúdo de MO incorporado ao solo se apresenta como o fator isolado mais relevante em relação às características químicas do solo para as taxas de adsorção de MOD.

Neste contexto, os solos orgânicos (histossolos) típicos de florestas boreais onde há a ocorrência de turfeiras (*peatlands*), podem apresentar maiores concentrações de COD nas maiores profundidades quando comparados a outros tipos de solo. Tal fato foi comprovado em comparação direta entre sítios próximos, diferindo em relação ao solo, na Noruega (Hongve et al., 1999), assim como através da sistematização e aplicações estatísticas sobre os dados obtidos por diversos trabalhos em diferentes ambientes e tipos de solo (Camino-Serrano et al., 2014).

Em relação às características químicas da solução aquosa onde se encontra a MO, o aumento do pH da solução costuma reduzir as taxas de adsorção da MOD ao solo, uma vez que afeta a carga de superfície dos minerais de carga variável, que tende a tornar-se cada vez mais negativa à medida que aumenta o pH (Ganter, 2007). Tanto a força iônica, quanto a presença de cátions livres na solução, podem incrementar as taxas de adsorção da MO através de pontes catiônicas entre a MO e os minerais (no caso dos cátions livres), caso haja afinidade das cargas. Em teste sob condições controladas, maiores taxas de adsorção de COD ao horizonte mineral do solo foram obtidas em condição de pH 4,0 por Ussiri e Johnson (2004).

A Área Superficial Específica (ASE) do solo é a sua principal característica física em relação à taxa de adsorção da MO, tendo-se que quanto maior a ASE maior é a capacidade de adsorção de MO (Ganter, 2007, Singh et al., 2017). Quanto menores as partículas minerais do solo, maior é a ASE, sendo esta a razão para as correlações positivas encontradas entre a adsorção da MO e os teores de argila do solo (Kaiser, et al., 1996; Ganter, 2007; Kaiser e Guggenberger, 2007), embora a associação MO-argila também possa depender das características fisioquímicas de ambas.

Por exemplo, Tietjen et al. (2005) observaram maior adsorção de COD em argila do tipo 2:1 (montemorilonita) do que em argilas do tipo 1:1 (caulinita), sendo tal resultado esperado em função da maior atividade das argilas 2:1. Entretanto, ao comparar as taxas de adsorção em função de diferentes fontes de origem de MO, no caso, serapilheira originada de espécies diferentes de árvores, surpreendeu os autores a ausência de adsorção de compostos oriundo da *Pinus taeda* à caulinita, ressaltando a especificidade das interações químicas argila-MO.

A adsorção é o principal processo responsável pela redução de COD na solução do solo em maiores profundidades. Porém, cabe ressaltar que uma fração deste conteúdo de carbono orgânico pode ser imobilizado ou mineralizado (AlMulla et al., 2018). Tais processos se referem ao consumo de carbono orgânico pela microfauna e microflora, de forma que a imobilização biótica (em detrimento ao uso do termo imobilização abiótica para adsorção do COD aos óxidos e hidróxidos)

refere-se ao carbono que, após consumido, passa a compor o tecido orgânico do consumidor, enquanto a mineralização refere-se ao carbono que é liberado na forma de CO_2 pela respiração destes. A mineralização do carbono ocorre em quantidades maiores que a imobilização biótica, e é um processo fundamental para a redisponibilização dos sítios de adsorção para sua ocupação por nova MO.

A eficiência no processo de mineralização parece ser um fator importante para a manutenção de riachos de águas claras em ambientes de alta produtividade, como as Florestas Tropicais, com solos rasos e arenosos, os quais não apresentam as melhores condições para a retenção de COD. É através da mineralização dos compostos mais resistentes, e a consequente redisponibilização dos sítios de adsorção, que garantem o potencial de retenção do C orgânico no sistema terrestre para estes ambientes, como foi observado por Miranda (2017), na Floresta Atlântica do sudeste brasileiro. Os resultados deste autor indicaram uma menor concentração média de COD no riacho do que a média obtida para a precipitação inicial, além de uma menor variância temporal nas concentrações – quando a vazão do canal se encontrava em condição de fluxo de base.

Os processos de degradação química alteram a composição do COD uma vez que é consumida preferencialmente a fração mais lábil da MO, restando a fração mais refratária, muitas vezes, representada pelos compostos de maior peso molecular (Magill e Aber, 2000). Utilizando testes de incubação, Qualls e Haines (1992) testaram a labilidade do COD em diferentes compartimentos hidrológicos: precipitação atravessada, camada orgânica, horizontes A e B, interseção dos horizontes A/B e na água do canal. O resultado encontrado por estes autores foi, na ordem da maior para a menor labilidade: precipitação atravessada; camada orgânica, horizonte B, água do canal, interseção A/B e horizonte A, demonstrando o gradiente de consumo da MO lábil.

Embora a labilidade seja uma característica da MO (presença ou não de compostos mais resistentes), o *locus* da adsorção em relação à estrutura de agregação das partículas do solo também influência sua suscetibilidade à biodegradação ao afetar a possibilidade de acesso à MO pelos decompositores (Kaiser e Guggenberger, 2007). A MO adsorvida dentro dos microporos do solo dificultam esse acesso, melhor estabilizando-a em comparação à MO adsorvida nos macroporos, onde parte pode ser dessorvida quando há o aumento da poropressão por saturação (Kaiser e Guggenberger, op cit.; Ganter, 2007; Chaplot e Robolzi, 2014). As taxas de dessorção são diretamente proporcionais ao aumento de temperatura, como foi possível observar em experimento com temperatura controlada realizado por Kaiser et al. (2001).

A sazonalidade observada para a produção de COD no topo do piso florestal (serapilheira) pode se refletir em alguma sazonalidade em pequenas profundidades para a solução do solo. São normais maiores concentrações nas estações de crescimento vegetal uma vez que é mais intensa a atividade microbiológica em função da temperatura mais alta. Contudo, com o aumento da profundidade, o lençol freático pode não demonstrar sazonalidade bem definida em relação a concentração de COD, mesmo em sítios que as apresentaram em menores profundidades (Roig-Planasdemunt et al., 2016). Tal fato reflete a que dinâmica de sorção do COD às partículas minerais torna-se cada vez mais pronunciada em função da profundidade do solo.

A tendência é de redução das concentrações de COD na solução do solo com o aumento da profundidade. Porém, pequenos acúmulos de MO em subsuperfície podem representar uma exceção, encontrando-se algum aumento nesta concentração à medida que a água percola esta zona de acúmulo, como foi observado por Gouveia Netto (2006). Segundo este autor, tal fato pode estar associado ao soterramento de MO por movimentos de massa. O mesmo resultado foi encontrado por Miranda (2017) em áreas de deposição coluvial, onde movimentos de massa são comuns. Neste trabalho, o solo de coloração mais escura, encontrado a cerca de 70 cm de profundidade, deu suporte ao argumento de um acúmulo de MO soterrada em subsolo. Aumento em profundidade similar – para a estação chuvosa como um todo – foi observado por Marques et al. (2012) e por Neu (2005), ambos na Amazônia brasileira. Entretanto, para tais autores, o fato foi vinculado à atuação das raízes favorecendo o transporte de MO diretamente para os perfis mais profundos do solo.

Canal de drenagem: a via da exportação

Após percolar a vegetação, o piso florestal e o solo, a água chega ao canal de drenagem com concentração de COD que reflete as interações de produção e sorção ao longo de suas vias de fluxo. Como já foi ressaltado, alguns trabalhos recentes ocuparam-se em mensurar a exportação de COD de bacias hidrográficas com diferentes usos e coberturas (Jiang et al., 2014), distintas condições topográficas (Creed et al., 2003; Menjitsu et al., 2014) e propriedades do solo (Nosrati et al., 2012). Sintetizando os resultados encontrados por estes autores, podemos reconhecer a importância das vias de fluxo da água até o canal como um fator de controle para as oportunidades de enriquecimento em contato com a vegetação e seus detritos e,

principalmente, de sorção às partículas minerais do solo. Em outras palavras, se a água não infiltra no solo, não haverá adsorção às partículas minerais, ou se ela não alcança o horizonte B, é provável que a concentração de COD decresça menos.

A capacidade de regulação sobre as exportações de COD exercida pela via de fluxo da água da chuva até o canal foi investigada por Oni et al. (2014), que encontraram correlação direta entre a ocorrência de fluxos superficiais e a exportação de COD via canal. O aumento da exportação em razão do incremento de fluxo superficial é o principal fator inferido também por Jiang et al. (2014) para diferença encontrada entre uma bacia florestada e outra de cobertura agrícola, no Japão. Estes autores encontraram maior exportação de COD na bacia agrícola mesmo esta apresentando menor produção primária e praticamente nenhum estoque de serapilheira, uma vez que a predominância de fluxos superficiais resulta em pouquíssima adsorção de COD ao solo.

Resultado similar foi encontrado na Amazônia por Gouveia Netto (2006), ao comparar uma bacia com cobertura florestal com outra onde havia o predomínio de pastagens, encontrando maior exportação nesta segunda em função do incremento do escoamento superficial. Ainda no Brasil, em ecossistema de savana, Silva et al. (2007) não observaram diferença significativa na exportação de COD em riachos drenados de áreas de plantação de cana-de-açucar, plantação de Eucalipto e savana natural. Nos três sítios, a formação de escoamento superficial era incomum.

A aplicação de fertilizantes industriais também pode incrementar exportações como foi observado na Amazônia brasileira por Neu (2005). Este autor encontrou maiores fluxos de DOC no canal que drena floresta plantada de Eucalipto, em comparação à floresta primária de "terra-firme", resultado associado pelo autor à competição entre os compostos introduzidos artificialmente e a MO autóctone pelos sítios de adsorção.

Chaplot e Ribolzi (2014), ao monitorarem os fluxos de água em diferentes compartimentos hidrológicos na encosta e suas respectivas concentrações de COD, em uma pequena bacia na África do Sul, concluíram que 25% do volume de água e 66% do COD encontrado no canal era de contribuição de fluxos superficiais, enquanto a solução do solo contribuiu com 68% do fluxo de água e 30% do COD, e o lençol freático contribui com 7% da água e 3% do COD.

Roig-Planasdemunt et al. (2016) encontraram rápidos aumentos na concentração de COD em canal de drenagem na Espanha, em bacia que foi desflorestada para a agricultura e depois abandonada. Os autores indicam o aumento da ocorrência de escoamentos superficiais na área e que a vazão do riacho responde de forma rápida aos escoamentos superficiais, gerando uma correlação positiva entre a descarga do canal e as concentrações de COD. Quando o riacho voltava ao seu fluxo de base a concentração se aproximava à encontrada no lençol freático.

Considerando que a água que escoa superficialmente tende a chegar ao canal com maior concentração de COD do que a água em subsolo, a variação nas concentrações de COD no canal pode ser um indicador sobre a proporção das diferentes vias de fluxo da água. Figueiredo et al. (2014) identificaram a covariância da concentração de COD e do pH na água do canal com a variação da vazão em resposta a diferentes eventos de chuva, em uma pequena bacia de drenagem na Espanha, onde eventos pluviométricos de maior intensidade costumam gerar escoamento superficial. À medida que os eventos ocorriam com maior intensidade de precipitação a resposta da vazão era mais rápida, apresentando aumento da concentração de COD e diminuição do pH. Para estes autores, é grande a capacidade de um canal de drenagem refletir as características fisicoquímicas das vias de fluxo da água, ao ponto que características da água no canal podem ser utilizada como indicadores da contribuição destas vias (assinatura hidrogeoquímica). Tal utilização pode ocorrer, tanto do ponto de vista dos escoamentos superficial ou subsuperficial, quanto do ponto de vista de diferentes usos e coberturas do solo a partir do uso de elementos ou substâncias específicas como indicadores (Oni et al, 2014).

Chaplot e Ribolzi (2014) também associaram a concentração de COD no canal às variações da hidrógrafa, destacando a forte correlação direta encontrada. Os resultados obtidos nestes dois estudos (Chaplot E Ribolzi, op cit.; Figuereido et al. 2014), indicaram que a concentração de COD no canal em condição de fluxo de base era bem próxima a concentração encontrada no lençol freático. Pequenos aumentos foram encontrados e associados às dinâmicas ribeirinhas. A concentração de COD aumentava no canal de forma correlata à contribuição dos fluxos superficiais, aproximando-se, mas não alcançando, a mesma concentração encontrada na entrada ao horizonte mineral (lixiviado da serapilheira).

Assim sendo, podemos considerar que os fatores que influenciam as taxas de infiltração da água no solo influenciam também as taxas de chegada de COD ao canal de drenagem. Características do solo como textura e estrutura de agregação, influenciados em grande parte pelo tipo de cobertura, como a presença ou ausência de vegetação ou a impermeabilização por urbanização

(Dias et al., 2015), presença de raízes e seu estágio sucessional da possível cobertura vegetacional (Fraga et al., 2015), consequentemente, condicionam permeabilidade do solo. Quando a intensidade da precipitação é maior que a capacidade de infiltração ocorre a formação do escoamento superficial do tipo hortoniano.

Neste contexto, a característica do evento pluviométrico atua junto à permeabilidade do solo condicionando as vias preferenciais do escoamento, sendo uma variável para a chegada de COD ao canal de drenagem (Jiang et al., 2014; Oni et al., 2014). Outro fator importante é a umidade antecedente, uma vez que pode controlar a capacidade de retenção de água pela vegetação, serapilheira e solo. Corroboram a esta ideia os resultados encontrados Turgeon e Courchesne (2008) ao compararem os fluxos de COD em eventos de precipitação similares sob condições distintas de precipitação antecedente. Tais autores encontraram maiores valores de COD no canal quando em pré-condição de solo úmido, associando o resultado à maior ocorrência de fluxos superficiais.

O controle exercido pela intensidade do evento de precipitação para a formação de escoamento superficial pode ocasionar determinada sazonalidade na exportação de COD, considerando que eventos de maior intensidade costumam ocorrer em estações especificas do ano (Schmidt et al., 2010; Jiang et al., 2014). Sobre esta questão, Singh et al. (2014) indicaram que a quantidade de COD exportada em bacias é controlada pelas vias de fluxo apenas nas estações tempestuosas, diminuindo sua relevância à medida que os eventos pluviométricos perdem intensidade.

Moyer et al. (2015) monitoraram a concentração de COD em 05 riachos de baixa elevação na Flórida, Estados Unidos, encontrando forte correlação com as variações de vazão apresentadas. Estes autores, ao compararem seus resultados a outros em zona tropical, ressaltam a semelhança de dinâmica e fatores controladores entre pequenas bacias subtropicais (do citado estudo) e tropicais. Os fatores críticos destacados por eles foram a elevação, o clima e o tempo de residência da MO no sistema terrestre. Contudo, pequenos riachos tendem a menores concentrações de COD em bacias tropicais, quando comparadas às subtropicais em razão da mineralização um pouco mais eficiente. Os fatores de controle tendem a mudar com o aumento das bacias e dos rios.

As florestas tropicais apresentam baixas taxas de escoamento superficial quando comparadas a outros ambientes de vegetação menos densa. Isto ocorre em função da proteção da vegetação e serapilheira à erosão e selamento do topo do solo, da capacidade de retenção de água pela vegetação e serapilheira, além da atuação da fauna endopendônica e das raízes, que podem favorecer a infiltração da água no solo antes mesmo da saturação hídrica da camada de serapilheira (Coelho Netto, 1987). Neste sentido, a retirada de vegetação nativa acarreta em considerável aumento do escoamento superficial e, consequentemente, favorece a migração de MO do ambiente terrestre, onde realiza seus principais serviços ambientais, para os corpos hídricos, onde o exagero em sua chegada afeta os ecossistemas aquáticos e a qualidade da água.

Conclusões

As concentrações de COD encontradas na precipitação inicial e nos fluxos de atravessamento apresentam, em maior parte, as entradas atmosféricas de moléculas alóctones, refletindo as relações de proximidade às áreas urbanas ou demais fontes de emissão, mais do que as dinâmicas de produção primária dos ecossistemas em questão. A queima de combustíveis para o aquecimento doméstico impõe considerável sazonalidade neste processo que tende a ser menor nos trópicos, podendo ser responsável por altos valores de entradas no inverno em maiores latitudes.

O estoque de serapilheira é o principal compartimento fonte de COD para o horizonte mineral do solo. A lixiviação começa pelos compostos solúveis na serapilheira fresca, continuando na medida da liberação de novos solúveis como subprodutos da atividade bioquímica decompositora. As taxas de decomposição da serapilheira podem influenciar de forma ambígua a lixiviação de COD, pois, se por um lado baixas taxas de mineralização mantém os estoques fonte (menos C respirado), a disponibilidade de novos solúveis depende da ação bioquímica decompositora.

A capacidade filtrante do solo em relação ao COD (adsorção) aumenta em razão direta de seus teores de argila, óxido, hidróxidos e, principalmente, dos seus conteúdos de MO já incorporada, de onde emana a influência das suas taxas de mineralização desta MO, através da (re)disponibilidade dos sítios de adsorção. O solo se destaca como compartimento fundamental para a retenção de MO dos ecossistemas terrestres e quando a água escoa superficialmente ficam reduzidas as chances de retenção do COD. Assim, ambientes com menores produtividade primária e biomassa podem apresentar maiores taxas de exportação de COD quando favorecem a formação de escoamentos superficiais.

O uso e cobertura do solo influencia diretamente as taxas de exportação de COD de bacia hidrográficas à medida que favoreçam ou não a

formação de escoamento superficial. Parte da sazonalidade das exportações de COD via canais de drenagem se origina da sazonalidade da ocorrência de chuvas de maior intensidade e da formação de escoamento superficial a estas associada. Nas florestas temperadas, a deciduidade são outra fonte de variações sazonais nas exportações de COD.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Superior – CAPES pelo provimento de bolsa de doutorado. Ao professor Vinícius Farjalla, do Laboratório de Limnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela parceria de pesquisa e trocas de informações importantes.

Referências bibliográficas

Abdolalahi, L., Schjønning, P., Elmholt, S., Munkholm, L.J., 2014. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. Soil & Tillage Research 136, 28-37. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.011

Aitkenhead, J.A., Mcdowell, W.H., 2000. Soil C:N ratio as a predictor of annual riverine DOC flux at local and global scales. Global Biogeochemical Cycles 14, 127-138. Disponível: https://doi.org/10.1029/1999GB900083

AlMulla, A.A., Jones, D., Roberts, P., 2018. Substrate Influences Temperature Sensitivity of Dissolved Organic Carbon (DOC) and Nitrogen (DON) Mineralization in Arid Agricultural Soils. Soil Systems 2, 28. Disponível: https://doi.org/10.3390/soilsystems2020028

An, J., Park, B.B., Jung Hwa Chun, J.H., Osawa, A., 2017. Litterfall production and fine root dynamics in cool-temperate forests. Plos One 12, 1-16. Disponível: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180126

Aydın, M., Şen, S.G., Celik, S., 2018. Throughfall, stemflow, and interception characteristics of coniferous forest ecosystems in the western black sea region of Turkey (Daday example). Environmental Monitoring and Assessment 190, 316. Disponível: https://doi.org/10.1007/s10661-018-6657-8

Bäumler, R., Zech, W., 1997. Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps. Forest Ecology and Management 95, 243-251. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00039-X

Bäumler. R., Zech, W., 1998. Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. Forest Ecology and Management 108, 231-238. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00238-2

Brandão, S.S., Giongo, V., Olszevski, N., Salviano, A.M., 2017. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. Revista Brasileira de Geografia Física 10, 1079-1089. Disponível: https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1079-1089

Camino-Serrano, M., Gielen, B., Luyssaert, S., Ciais, P., Sara Vicca, S., Guenet, B., Vos, B., Cools, N., Ahrens, B., Arain, M.A., Werner Borken, M., Clarke, N., Clarkson, B., Cummins, T., Don, A., Pannatier, E.G., Laudon, H., Moore, T., Nieminen, T.M., Nilsson, M.B., Matthias Peichl, M., Schwendenmann, L., Siemens, J., Janssens, I., 2014. Linking variability in soil solution dissolved organic carbon to climate, soil type, and vegetation type. Global Biogeochemical Cycles 28, 497-509. Disponível: https://doi.org/10.1002/2013GB004726

Céspedes, F.F., Pradas, G.E., Pérez , M.F., Sánchez, M.V., Viciana, M.S., Amate, M.D.U., 2002. Effects of dissolved organic carbon on sorption and mobility of imidacloprid in soil. J. Environ. Qual. 31, 880-888. Disponível: https://doi.org/10.2134/jeq2002.8890

Chaplot, V., Ribolzi, O., 2014. Hydrograph separation to improve understanding of Dissolved Organic Carbon Dynamics in Headwater catchments. Hydrological Process 28, 5354-5366. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.10010

Chen, S., Yoshitake, S., Iimura, Y., Asai, C., Ohtsuka, T., 2017. Dissolved organic carbon (DOC) input to the soil: DOC fluxes and their partitions during the growing season in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest, central Japan. Ecological Research 32, 713–724. Disponível: https://doi.org/10.1007/s11284-017-1488-6

Coelho Netto, A.L. 1987. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: the role of litter cover. Catena 14, 213-231. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0341-8162(87)80019-X

Coelho, C.H., Francisco, J.G., Nogueira, R.F.P., Campos, M.L.A.M.., 2008. Dissolved organic carbon in rainwater from areas heavily impacted by sugar cane burning. Atmosferic Environment 42, 7115–7121. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.072

Costa, E.N.D., Souza, J.C., Pereira, M.A., Souza, M.F. L., Souza, W.F.L., Silva, D.M.L., 2016. Influence of hydrological pathways on dissolved organic carbon fluxes in tropical streams.

Ecology and Evolution 7, 228-239. Disponível: https://doi.org/10.1002/ece3.2543

Creed, I.F., Sanford, S.E., Beall, F.D., Molot, L.A., Dillon, P.J., 2003. Cryptic wetlands: integrating hidden wetlands in regression models of the export of dissolved organic carbon from forested landscapes. Hydrological Processes 17, 3629-3648. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.1357

Cronan, C.S., Aiken R.G., 1985. Chemistry and transport of soluble humic substances in forested watersheds of the Adirondack Park, New York. Geochimestry and Cosmochimestry Acta 49, 1697–1705. Disponível: https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90140-1

Currie, W.S. Aber, J.D., Mcdowell, W.H., Boone, R.D., Magill, A.H., 1996. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. Biogeochemstry 80, 1-35. Disponível: https://doi.org/10.1007/BF02183037

Dawson, J.J.C.,, Soulsby, C., Tetzlaff, D., Hrachowitz, M., Dunn, S.M., Malcolm, I.A., 2008. Influence of hydrology and seasonality on DOC exports from three contrasting upland catchments. Biogeochemistry 90, 93-113.

Dalva, M; Moore, T.R., 1991. Sources and sinks of dissolved organic carbon in a forested swamp catchment. Biogeochemistry 15, 1-19. Disponível: https://doi.org/10.1007/BF00002806

David, M., B., Driscoll, C. T., 1984. Aluminum speciation and equilibria in soil solutions of a Haplorthod in the Adirondack Mountains (New York, U.S.A.). Geoderma 33, 297-318. Disponível: https://doi.org/10.1016/0016-7061(84)90031-4

Dias, R.H.S., Silva Filho, E.P., Santos, A.M., Rosa, A.L.D., 2015. Influência do uso e ocupação do solo no escoamento superficial na cidade de Ji-Paraná-RO, Amazônia Ocidental. Revista Brasileira de Geografia Física 08, 1493-1508. Disponível: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233612/27203

Duan, S., Delaney-Newcomb, K., Kaushal, S. S., 2014. Potential effects of leaf litter on water quality in urban Watersheds. Biogeochemistry 121, 61–80. Disponível: https://doi.org/10.1007/s10533-014-0016-9

Edmonds, R. L., Thomas, T. B., Blew, R. D., 1995. Biogeochemistry of an old-growth forested watershed, Olympic National Park, Washington. Water Resources Research 31, 409-419. Disponível: https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb04029.x

Favorito, J.E., Matthew J. Eick, M.J., Grossl, P.R., 2018. Adsorption of selenite and selenate on ferrihydrite in the presence and absence of dissolved organic carbon. Journal of Environmental Quality 47, 147-155. Disponível: https://doi.org/10.2134/jeq2017.09.0352

Figueiredo, J. A., Menor, E. A., Taboada-Castro, M. T., Taboada-Castro, M. M., Rodríguez-Blanco, M. L., Braga, E. S., 2014. Using hydrogeochemical signatures of stream water to assess pathways for rainfall events: toward a predictive model. Hydrological Process 28, 2301-2311. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.9801

Fraga, J.S., Oliveira, R.R., Amorim, T.A., Silva, I.M., Coelho Netto, A.L., 2015. Florestas secundárias de diferentes idades e a estabilidade de encostas em Nova Friburgo (Estado do Rio de Janeiro, Brasil). Botânica, Pesquisas 68, 287-309. Disponível: http://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/botanica68/011.pdf

Fröberg, M., Berggren, D., Bergkvist, B., Bryant, C., Mulder, J., 2006. Concentration and fluxes of dissolved organic carbon (DOC) in three Norway spruce stands along a climatic gradient in Sweden. Biogeochemistry 77, 1-23. Disponível: https://doi.org/10.1007/s10533-004-0564-5

Fröberg, M., Hansson, K., Kleja, D.B., & Alavi, G., 2011. Dissolved organic carbon and nitrogen leaching from Scots pine, Norway spruce and silver birch stands in southern Sweden. Forest ecology and management 262, 1742-1747. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.033

Ganter, C., 2007. Stabilization of soil organic matter by mineral surfaces. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais, Instituto Federal de Tecnologia de Zurique.

Godoy-Silva, D., Nogueira, R.F.P., Campos, M.L.A.M., 2017. A 13-year study of dissolved organic carbon in rainwater of na agro-industrial region of São Paulo state (Brazil) heavily impacted by biomass burning. Science of the Total Environment 609, 476-483. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.145

Gouveia Neto, S.C., Concentrações e balanços de Carbono Orgânico Dissolvido em duas bacias do estado de Rondônia: uma comparação entre floresta e pastagem. Dissertação (Mestrado) Piracicaba, São Paulo. USP.

Guggenberger, G., Zech, W., 1993. Dissolved organic carbon control in acid forest soils of the Fichtelgebirge (Germany) as revealed by distribution patterns and structural composition

analyses. Geoderma 59, 109-129. Disponível: https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90065-S

Hafner, S.D., Groffman, P.M., Mitchell, M.J., 2005. Leaching of dissolved organic carbon, dissolved organic nitrogen, and other solutes from coarse woody debris and litter in a mixed forest in New York State. Biogeochemistry 74, 257-282. Disponível: http://www.jstor.org/stable/20055238

Hestir, E.L., Brando, V., Campbell, G., Dekker, A., Malthus, T., 2015. The relationship between dissolved organic matter absorption and dissolved organic carbon in reservoirs along a temperate to tropical gradient. Remote Sensing of Environment 156, 395-402. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.022

Hongve, D., 1999. Production of dissolved organic carbon in forested catchments. Journal of Hydrology 224 91-99. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00132-8

Howard, D.H., Van Stan, J.T., Whitetree, A., Zhu, L., Stubbins, A., 2018. Interstorm Variability in the Biolability of Tree-Derived Dissolved Organic Matter (Tree-DOM) in Throughfall and Stemflow. Forests 9, 236. Disponível: https://doi.org/10.3390/f9050236

Iavorivska, L., Elizabeth W. Boyer, E.W., Grimm, J.W., Miller, M.P., DeWalle, D.R., Davis, K.J., Kaye, M.W., 2017. Hydrologial Process 31, 2935-2950. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.11235

Inagaki, M., Sakai, M., Ohnuki, Y., 1995. The effects of organic carbon on acid rain in a temperate forest in Japan. Water, Air, and Soil Pollution 85, 2345-2350. Disponível: https://doi.org/10.1007/BF01186184

Jiang, R., Hatano, R., Zhao, Y., Kuramochi, K., Hayakawa, A., Woli, K. P., Shimizu, M., 2014. Factors controlling nitrogen and dissolved organic carbon exports across timescales in two watersheds with different land uses. Hydrological Process 28, 5105-5121. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.9996

Kaiser, K., Guggenberger, G., Zech, W., 1996. Sorpion of DOM and DOM fractions to forest soils. Geoderma 74, 281-303. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(96)00071-7

Kaiser, K., Kaupenjohann, M., Zech, W., 2001. Sorption of dissolved organic carbon in soils: effect of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature. Geoderma 99, 317-328. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00077-X

Kaiser, K. E Guggenberger, G., 2007. Sorptive stabilization of organic matter by microporous goethite: sorption into small pores vs. surface complexation. European Journal of Soil Science 58(1): 45-59. 2007. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00799.x

Karanfil, T., Erdogan, I., Schlautman, M.A., 2003. Selecting Filter Membranes for measuring DOC and UV_{254}. Journal of American Water Works Associate 95, 86-100. Disponível: https://doi.org/10.1002/j.1551-833.2003.tb10317.x

Kieber R. J., Peake B., Willey J. D., Brooks A. G., 2002. Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater. Atmos Environment, 36. 3557–3563. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00273-X

Kindler, R., Siemens, J., Kaiser, K., Walmsley, D.C., Bernhofer, C., Buchmann, N., Cellier, P., Eugster, W., Gleixner, G., Grunwald, T., Heim, A., Ibrom, A., Jones, S.K., Jones, J. Klumpp, K., Kutsch, W., Steenberg, K., Larsen, Lehuger, S., Loubet. B., Mckenzie, R., Moors, E., Osborne, B., Pilegaard, K., Rebmann, C., Saunders, M., Schmidt, M.W.I., Schrumpf, M., Seyfferth, J., Skiba, U., Soussana, J.F., Sutton, M.A., Ctefs, C., Vowinckel, B., Zeeman, J.M., Kaupenjohann, M., 2010. Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of the net ecosystem carbon balance. Global Change Biology 17, 1167–1185. Disponível: https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02282.x

Krám, P., Hrusˇka, J., Wenner, B.S., Driscoll, C.T., Johnson, C.E., 1997. The biogeochemistry of basic cations in two forest catchments with contrasting lithology in the Czech Republic. Biogeochemistry 37, 173–202. Disponível: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005742418304

Lee, M.H., Park, J.H., Matzner, E., 2018. Sustained production of dissolved organic carbon and nitrogen in forest floors during continuous leaching. Geoderma 310, 163-169. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.027

Leinemann, T., R. Mikutta, R., K. Kalbitz, K., Schaarschmidt, F., Guggenberger, G., 2016. Small scale variability of vertical water and dissolved organic matter fluxes in sandy Cambisol subsoils as revealed by segmented suction plates. Biogeochemistry 131, 1-15. Disponível:
https://doi.org/10.1007/s10533-016-0259-8

Leinemann, T., Preusserb, S., Mikuttac, R., Kalbitzd, K., Cerlie, C., Höschenf, C., Muellerf, C.W., Kandelerb, E., Guggenbergera, G., 2018. Multiple exchange processes on mineral surfaces

control the transport of dissolved organic matter through soil profiles. Soil Biology and Biochemistry 118, 79–90. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.12.006

Liu, C.P., Sheu, B.H., 2003. Dissolved organic carbon in precipitation, throughfall, stemflow, soil solution, and stream water at the Guandaushi subtropical forest in Taiwan. Forest Ecology and Management 173, 315-325. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00793-9

Lombardo, L., Trujillo, C., Vanwalleghem, T., Gómez, J.A., 2017. Organic carbon fluxes by precipitation, throughfall and stemflow in an olive orchard in Southern Spain, Plant Biosystems 152, 1039-1047. Disponível: https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1414082

Magill, A.H., Aber, J.D., 2000. Variation in soil net mineralization rates with dissolved organic carbon additions. Soil biology and biochemistry 32, 597-601. Disponível: https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00186-8

Marques, J.D.O., Luizão, J.L., Teixeira, W.G., Sávio José Filgueiras Ferreira, S.J.F., 2012. Variações do Carbono Orgânico Dissolvido e de Atributos Físicos do Solo Sob Diferentes Sistemas de Uso da Terra na Amazônia Central. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36, 611-622. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200030

Marques, J.S.J., Dittmar, T., Niggemann, J., Almeida, M.G., Gomez-Saez, G.V., Rezende, C.E., Dissolved black carbon in the headwaters-to-ocean continuum of Paraíba Do Sul River, Brazil. Frontiers in Earth Science 5, 1-12. Disponível: https://doi.org/10.3389/feart.2017.00011

Mascarenhas, A.R.P., Sccoti, M.S.V., Melo, R.R., Corrêa, F.L.O., Souza, E.F.M., Andrade, R.A., Bergamin, A.C., Müller, M.W., 2017. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Ocidental. Pesquisa Florestal Brasileira 37, 19-27. Disponível: https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1295

Mayorga, E., Aufdenkampe, A. K., 2002. Processing of bioactive elements in the Amazon River system, in: McClain, M.E. (Ed.), The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands**,** pp. 1–24.

McClain, M.E., Richey, J.E., Branes, J.A., 1997. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the Central Amazon Basin of Brazil. Global Biogeochemical Cycles 11, 295-311. Disponível: https://doi.org/10.1029/97GB01056

McDowell, W.H., 1998. Internal nutrient fluxes in a Puerto Rican rain forest. Journal of Tropical Ecology 14, 521-536. Disponível: https://www.cambridge.org/core/product/63A4085A805EB6078092D252F240FF8F

Mcdowell, W.H., Likens, G.E., 1988. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. Ecological monographs, 177-195. Diponível: https://doi.org/10.2307/2937024

Melloni, R., Costa, N.R., Melloni, E.G.P., Lemes, M.C.S., Alvarenga, M.I.N., Nunes Neto, J., 2018. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. Ciênca Florestal (SM) 28, 784-795. Disponível: http://dx.doi.org/10.5902/1980509832392

Mengistu, S.G., Creed, I.F., Webster, K.L., Enanga, E., Beall, F.D., 2014. Searching for similarity in topographic controls on carbon, nitrogen and phosphorus export from forested headwater catchments. Hydrological Processes 28, 3201-3216. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.9862

Meyer, J.L., Mcdowell, W.H., Bott, T.L., Elwood, J.W., Ishizaki, C., Melack, J.M., Peckarsky, B.L., Peterson, B.J., Rublee, P.A., 1988. Elemental dynamics in streams. Journal of the North American Benthological Society, Washington 7, 410-432. Disponível: http://www.jstor.org/stable/1467299

Michalzik, B., Kalbitz, K., J.H. Park, Solinger, S., Matzner, E., 2001. Fluxes and concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen – a synthesis for temperate forests. Biogeochemistry 52, 173–205.. Disponível: http://www.jstor.org/stable/1469450

Miranda, F.S.M., 2017. Interações água-biomassa-solo associadas à migração e retenção de carbono orgânico dissolvido no Maciço da Tijuca (RJ). Tese (Doutorado). Rio de Janeiro, UFRJ.

Moore, T.R., Jackon, R.J. 1989. Dynamics or dissolved organic carbon in forested and disturbed catchments, Westland, New Zealand. Water Resources Research 25, 1331-1339. Disponível: https://doi.org/10.1029/WR025i006p01321

Moyer, R.P., Powell, C.E., Gordon, D.J., Long, J.S., Bliss, C.M., 2015. Abundance, distribution, and fluxes of dissolved organic carbon (DOC) in four small sub-tropical rivers of the Tampa Bay Estuary (Florida, USA). Applied Geochemistry 63, 550-562. Disponível:

https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.05.004

Musolff, A., Selle B., Buttner O., Opitz, M., Knorr, K.H., K.H., Fleckenstein, J.H., Reemtsma, T., Tittel, J., 2017. Response to the editor: Does iron reduction control the release of dissolved organic carbon and phosphate at catchment scales? Need for a joint research effort. Global Change Biology 23. Disponível: https://doi.org/10.1111/gcb.13758

Neu, V., 2005. Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ.

Nosrati, K., Govers, G., Smolders, E., 2012. Dissolved organic carbon concentrations and fluxes correlate with land use and catchment characteristics in a semi-arid drainage basin of Iran. Catena, 95, 177-183. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.02.019

Oni, S.K., Futter, M.N., Molot, L.A., Dillon, P.J., 2014. Adjacents catchments with similar patterns of land use and climate have markedly different dissolved organis carbon concentration and runoff dynamics. Hydrological Process 28, 1436-1449. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.9681

Pan, Y., Wang, Y., Xin, J., Tang, G., Song, T., Wang, Y., Li, X., Wu, F., 2010. Study on dissolved organic carbon in precipitation in Northern China. Atmospheric Environment 44, 2350-2357. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.033

PARK, J., MATZNER, E., 2003. Controls on the release of dissolved organic carbon and nitrogen from a deciduous forest floor investigated by manipulations of aboveground litter inputs and water flux. Biogeochemistry 66, 265-286. Disponível: https://doi.org/10.1023/B:BIOG.0000005341.19412.7b

Peralta-Tapia, A., Sponseller, R.A., Tetzlaff, D., Soulsby, C., Laudon, H., 2014. Connecting precipitation inputs and soil flow pathways to stream water in contrasting boreal catchments. Hydrological Process 29, 3546-3555. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.10300

Pereira, A.A., Thomaz, E.L., 2014. Estabilidade de Agregados em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Município de Reserva-PR. Revista Brasileira de Geografia Física, 07, 378-387. Disponível: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233074/26993

Qualls, R.G., Haines, B.L., Swank, W.T., 1991. Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous forest. Ecology 72, 254-266. Disponível: http://www.jstor.org/stable/1938919

Qualls, R.G., Haines, B.L., 1992. Biodegradability of dissolved organic matter in forest throughfall, soil solution, and stream water, Soil Science Society of America Journal 56, 578-586. Disponível: https://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600020038x

Richter, D.D., Markewitz, D., 1996. Carbon changes during the growth of loblolly pine on formerly cultivated soil. The Calhoun Experimental Forest, U.S.A. Advanced Science Institutes Series, 138, 397-407. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_38

Roig-Planasdemunt, M., Llorens, P., Latron, J., 2016. Seasonal and stormflow dynamics of dissolved organic carbon in a Mediterranean mountain catchment (Vallcebre, eastern Pyrenees). Hydrological Sciences Journal 62, 50-63. Disponível: http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2016.1170942

Rowland, L., Costa, A.C.L., Oliveira, A.A.R., Almeida, S.S., Ferreira. L.V., Malhi, Y., Metcalfe, D.B., Mencuccini, M., Grace, J., Meir, P., 2018. Shock and stabilisation following long-term drought in tropical forest from 15 years of litterfall dynamics. Journal of Ecology 106, 1673-1682. Disponível: https://doi.org/10.1111/1365-2745.12931

Scheibe, A., Gleixner, G., 2014. Influence of Litter Diversity on Dissolved Organic Matter Release and Soil Carbon Formation in a Mixed Beech Forest. Plos One 9, 1-21. DOI: 10.1371/journal.pone.0114040.

Schmidt, B.H.M., Wang, C., Chang, S, Matzner, E., 2010. High precipitation causes large fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in a subtropical montane Chamaecyparis forest in Taiwan. Biogeochemistry 101, 243-256. Disponível: https://doi.org/10.1007/s10533-010-9470-1

Seekell, D.A., Lapierre, J.F., Ask, J., Bergström, A.K., Deininger, A., Rodríguez, P., Karlsson, J., 2015. The influence of dissolved organic carbon on primary production in northern lakes. Limnology and Oceanography 60, 1276–1285. Disponível: https://doi.org/10.1002/lno.10096

Silva, D.M.L., Ometto, J.P.H.B., Lobo, G.A., Lima, W.P., Scaranello, M.A., Eazzi, E., Rocha H.R., 2007. Can land use changes alter carbon, nitrogen and major ion transport in subtropical brazilian streams? Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) 64, 317-324. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000400002

Singh, S., Inamdar, S., Mitchell, M., 2014. Changes in dissolved organic matter (DOM) amount and composition along nested headwater stream locations during baseflow and stormflow. Hydrological Process 29, 1505-1520. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.10286

Singh, M., Sarkar, B., Hussain, S., Ok, Y.S., Nanthi S. Bolan, N.S., Churchman, G.J., 2017. Influence of physico-chemical properties of soil clay fractions on the retention of dissolved organic carbon. Environmental Geochemistry and Health 39, 1335–1350. Disponível: https://doi.org/10.1007/s10653-017-0045-0

Siudek, P., Frankowski, M., Siepak, J., 2015. Seasonal variations of dissolved organic carbon in precipitation over urban and forest sites in central Poland. Environment Science Pollution Research 22 11087-11096. Disponível: https://doi.org/10.1007/s11356-015-4356-3

Smolander, A., Kitunen, V., Mälkönen, E., 2001. Dissolved soil organic nitrogen and carbon in a Norway spruce stand and an adjacent clear-cut. Biology and Fertility of Soils 33, 190-196. Disponível: https://doi.org/10.1007/s003740000307

Sparling, G.P., Chibnall, E.J., Pronger, J., Rutledge, S., Wall, A.M., Campbell D.I., Schipper, L.A., 2016. Estimates of annual leaching losses of dissolved organic carbon from pastures on Allophanic Soils grazed by dairy cattle, Waikato, New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research 59, 32-49. Disponível: https://doi.org/10.1080/00288233.2015.1120222

Tietjen, T., Vähätalo, A.V., Wetzel, R.G., 2005. Effects of clay mineral turbidity on dissolved organic carbon and bacterial production. Aquatic sciences 67, 51-60. Disponível: https://doi.org/10.1007/s00027-004-0753-2

Toming, K., Kutser, T., Tuvikene, L., Viik, M., Nõges, T., 2016. Dissolved organic carbon and its potential predictors in eutrophic lakes. Water Research 102, 32-40. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.012

Turgeon, J.M.L., Courchesne, F., 2008. Hydrochemical behaviour of issolved nitrogen and carbon in a headwater stream of the Canadian Shield: relevance of antecedent soil moisture conditions. Hydrological Process 22, 327-339. Disponível: https://doi.org/10.1002/hyp.6613

Ussiri, D. A. N., and C. E. Johnson (2004), Sorption of organic carbon fractions by Spodosol mineral horizons, Soil Science Society of America Journal 68, 253–262. Disponível: http://doi.org/10.2136/sssaj2004.2530

Vera, G.A.D., Gernjak, W., Weinberg, H., Farré, M.J., Keller, J., von Gunten, U., 2016. Kinetics and mechanisms of nitrate and ammonium formation during ozonation of dissolved organic nitrogen, Water Research, 108, 451-461. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.021

Vet, R., Artz, R.S., Carou, S., Shaw, M., Ro, C.U., Aas, W., Baker, A., Bowersox, V.C., Dentener, F., Galy-Lacaux, C., Hou, A., Pienaar, J. J., Gilletti, R., Gromov, S., Hara, H., Khodzher, T., Mahowald, M.N., Reid, N.W., 2014. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. Atmospheric Environment 93, 3-100.

Disponível: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.060

Wang, J., Liu, L., Wang, X., Yang, S., Zhang, B., Li, P., Qiao, C., Deng, M., Liu, W., 2015. High night-time humidity and dissolved organic carbon content support rapid decomposition of standing litter in a semi-arid landscape. Functional Ecology 31, 1659-1668. Disponível: https://doi.org/10.1111/1365-2435.12854

Ye, L., Wu, X., Liu, B., Yan, D., Kong, F., 2015. Dynamics and sources of dissolved organic carbon during phytoplankton bloom in hypereutrophic Lake Taihu (China). Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters 54, 5-13. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.05.003

Zambrosi, F.C.B., Alleoni, L.R.F., Caires, E.F., 2008. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) 65, 190-203. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/S010390162008000200013

Zhang, Y., Li, X., Gregorich, E.G., McLaughlin, N.B., Zhang, X., Guo, Y., Liang, A., R.F.B.,

2018. No-tillage with continuous maize cropping enhances soil aggregation and

organic carbon storage in Northeast China. Geoderma 330, 204-211. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.037

Zhang, Q., Jiang, X., Tong, D., Davis, S.J., Zhao, H., Geng, G., Feng, T., Zheng, B., Lu, Z., Streets, D.G., Ni, R., Brauer, M., Donkelaar, A., Martin, R.V., Huo, H., Liu, Z., Pan, D., Kan, H., Yan, Y., Lin, J., He, K., Guan, D., 2017. Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. Nature 543, 705-709. Disponível: http://doi.org/10.1038/nature21712

Zhou, W.J., Sha, L.Q., Schaefer, D.A., Yi-Ping Zhang, Y.P., Song, Q.H., Tan, Z.H., Deng, Y.,

Xiao-Bao Deng, X.B., Guan, H.L., 2015. Soil Biology & Biochemistry 81, 255-258. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.019