

## COMPOSTOS ANTIOXIDANTES EM AVEIA

### ANTIOXIDANT COMPOUNDS OF OATS

Vera Maria Klajn<sup>1</sup>, Luiz Carlos Gutkoski<sup>2</sup>, Ângela Maria Fiorentini<sup>3</sup>, Moacir Cardoso Elias<sup>4</sup>

#### RESUMO

A aveia (*Avena sativa* L.) é um cereal pertencente à família *Poaceae* de elevado valor nutricional, sendo conhecida como um alimento promotor de saúde, se destacando pelo teor e qualidade das proteínas, lipídios distribuídos em todo o grão, com predominância de ácidos graxos insaturados, fibras alimentares e compostos antioxidantes naturais, responsáveis pelos efeitos benéficos à saúde humana. Este cereal tem sido reconhecido como fonte de antioxidantes, especialmente os compostos fenólicos, cuja concentração pode ser afetada por vários fatores como genótipo, tratamento térmico e tipo de processamento. O presente trabalho, mediante revisão de literatura, teve como objetivo dissertar sobre o potencial antioxidante da aveia, abordando seus compostos antioxidantes, os métodos comumente utilizados para extração, bem como a quantificação de seu potencial antioxidante.

**Palavras chave:** *Avena sativa*; compostos fenólicos; processamento hidrotérmico.

#### ABSTRACT

Oat is a cereal that belongs to the *Poaceae* family with high nutritional value, known as a food that promotes health, featured by its content and quality of proteins, lipids distributed throughout the grain, predominantly unsaturated fatty acids, dietary fiber and natural antioxidant compounds, responsible for the beneficial effects to human health. This cereal has been recognized as a source of antioxidants, especially phenolic compounds, whose concentration can be affected by several factors such as genotype, heat treatment and type of processing. This paper, through a literature review, aimed to discuss the antioxidant potential of oats, addressing its antioxidant compounds, the methods commonly used for their extraction, as well as quantification of the antioxidant potential.

**Key words:** *Avena sativa*; phenolic compounds; hydrothermal processing.

<sup>1</sup> Química, Dra., Prof. do Instituto Federal Farroupilha (IFFarroupilha) – Campus Santa Rosa. E-mail: vera.klajn@sr.iffarroupilha.edu.br

<sup>2</sup> Eng.-Agr., Dr., Prof. da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo. E-mail: gutkoski@upf.br. Bolsista produtividade CNPq.

<sup>3</sup> Bióloga, Dra., Prof. do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas - UFPel. E-mail: angefiore@ufpel.tche.br

<sup>4</sup> Eng.-Agr., Dr., Prof. do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas - UFPel. E-mail: eliasmc@ufpel.tche.br

## INTRODUÇÃO

A aveia (*Avena sativa* L.) é um cereal pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Pooideae*, tribo *Aveneae*. O gênero é composto por aproximadamente 450 espécies, sendo mais cultivadas *A. sativa* e *A. byzantina* (PETERSON, 2001; BUTT et al., 2008).

O emprego da aveia na alimentação humana é indicado por fornecer aporte energético e nutricional equilibrado, pois contém em sua composição química aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais indispensáveis ao organismo de crianças e adultos, bem como fibras alimentares, principalmente  $\beta$ -glicanas e compostos antioxidantes (PETERSON, 2001).

Este cereal é rico em uma vasta variedade de compostos fenólicos com atividade antioxidante comprovada *in vitro* e, além disso, também se enquadra na definição de grão integral por apresentar, após o seu processamento, o mesmo balanço de nutrientes encontrado na matéria-prima original (MARQUART et al., 2000; GRAY et al., 2002). Sendo assim, o objetivo desta revisão é abordar sobre o potencial antioxidante que a aveia apresenta, enfatizando os compostos antioxidantes presentes, os métodos comumente utilizados para extração, bem como a quantificação de seu potencial antioxidante.

## AVEIA

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é conhecida como um alimento promotor de saúde por conter em sua composição proteínas com perfil de aminoácidos equilibrados, ácidos graxos essenciais, vitaminas, minerais, esteróis, antioxidantes e fibras alimentares, especialmente as  $\beta$ -glicanas (WEBER et al., 2002; WOOD, 2007).

Os constituintes químicos da aveia dependem tanto quantitativa quanto

qualitativamente dos fatores genéticos, condições endofoclimáticas, manejo e operações de pós-colheita. A aveia destinada para o consumo humano deve apresentar padrões de qualidade, em acordo com a Portaria Ministerial nº 191 de 14 de abril de 1975. Entretanto, a indústria tem exigido padrões mais rigorosos para a compra de grãos, como não apresentar mais de 2% de acidez e de aveia preta; peso do hectolitro superior a 50 kg.hL<sup>-1</sup>; máximo de 3% de grãos manchados e escuros; alto rendimento industrial (relação cariopses/grãos com casca) (GUTKOSKI & PEDÓ, 2000).

A aveia foi reconhecida como alimento funcional em 1997 pelo FDA (*Food and Drug Administration*). No Brasil, desde 2008, as fibras alimentares  $\beta$ -glicanas da aveia aparecem na lista de alegações de propriedade funcional aprovadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Além disso, este cereal atende quanto à definição de grão integral por apresentar, após o seu processamento, o mesmo balanço de nutrientes que é encontrado na matéria-prima original (MARQUART et al., 2000).

O crescente interesse de pesquisadores e consumidores se deve às suas propriedades nutricionais e funcionais benéficas à saúde, como altos teores de fibra alimentar, especialmente  $\beta$ -glicanas, minerais e antioxidantes (KLOSE et al., 2009).

A composição química própria da aveia possibilita sua utilização diferenciada pela indústria de alimentos. Porém, devido à sua elevada concentração de óleo e presença de enzimas, principalmente as lipases, a aveia possui forte tendência à rancidez (GUTKOSKI & PEDÓ, 2000). Por isso, para a utilização na alimentação humana é necessário algum nível de processamento, como o descascamento do grão e tratamento térmico prévio, o qual é realizado normalmente pelo tratamento hidrotérmico a vapor, antes da formação dos flocos, a fim de inativar as enzimas causadoras da rancidez (LIUKKONEN et al., 1995). A eficiência deste

procedimento garante uma boa conservação dos produtos de aveia (MARINI et al., 2007).

O processamento de aveia envolve a eliminação das porções externas do grão através do descascamento. As cariopses são cortadas entre dois e quatro pedaços, tratadas hidrotermicamente, flocadas, secas e embaladas (DEANE & COMMERS, 1986). O processamento da aveia pode afetar as propriedades moleculares (estrutura química e grau de polimerização), estruturais (interações moleculares) e funcionais (viscosidade, capacidade de ligar água e solubilidade) das fibras solúveis  $\beta$ -glicanas (WOOD 2001; 2007).

Com o processamento pode ocorrer ainda a liberação de compostos fenólicos solúveis em cariopses de aveia, os quais são dependentes do conteúdo de umidade e da relação tempo x temperatura de tratamento hidrotérmico. Como a atividade antioxidante e o sabor são derivados de compostos de baixo peso molecular, estes podem afetar as propriedades sensoriais dos produtos derivados. Por esta razão a seleção da matéria-prima, as condições de armazenamento e de processamento são importantes para garantir a qualidade dos produtos industriais de aveia, bem como a manutenção dos compostos antioxidantes (DIMBERG et al., 1996).

## ANTIOXIDANTES EM AVEIA

A aveia é fonte de fitoquímicos ativos em especial os compostos fenólicos que apresentam atividade antioxidante comprovada *in vitro* e *in vivo*. Estes constituintes são mantidos nos produtos industrializados destinados ao consumo (GRAY et al., 2002) e podem ser extraídos, purificados e utilizados como suplementos alimentares, ou incorporados em outros produtos alimentícios, os quais podem agir em várias combinações, no sistema humano.

Os antioxidantes endógenos têm um papel importante na manutenção e estabilidade de produtos alimentícios de

aveia por prevenir ou retardar a oxidação de ácidos graxos livres (PETERSON, 2001). Os ácidos graxos livres polinsaturados podem ser oxidados levando à formação de produtos com características de sabor desagradável. A oxidação enzimática ocorre pela atividade da lipoxigenase, localizada no germe de grãos inteiros de cereais. Em aveia, a lipoxigenase é inativada da mesma maneira que a lipase. Entretanto, a oxidação não enzimática também ocorre lentamente com o tempo. Este tipo de oxidação é retardada pela presença de antioxidantes endógenos, os quais estão concentrados suficientemente na aveia para manter a estabilidade dos grãos em armazenamento prolongado sob condições normais de temperatura e umidade. Caso a lipase não seja inativada no início do processamento da aveia, pode haver um acúmulo de ácidos graxos livres que rapidamente esgotam a capacidade dos antioxidantes endógenos em controlarem as reações de oxidação (PETERSON, 1999).

Vários estudos têm identificado compostos antioxidantes em aveia. Os ácidos ferúlico e caféico e seus ésteres foram os compostos inicialmente identificados e estudados. Vitamina E (tocoferol), ácido fítico, compostos fenólicos e avenantramidas são os antioxidantes mais abundantes encontrados em aveia. Flavonóides e esteróis também estão presentes. Estes antioxidantes estão concentrados na parte externa dos grãos, que é particularmente rica em compostos fenólicos (PETERSON, 2001)

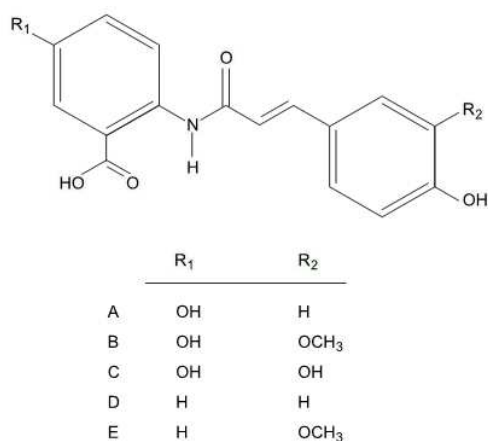
Os compostos fenólicos da aveia contêm uma mistura de derivados dos ácidos benzóico e cinâmico, quinonas, flavonas, flavonóis, flavononas, antocianinas e aminofenólicos. Os principais ácidos livres são ácido caféico, ácido siríngico, ácido ferúlico e ácido sinápico. Pontes fenólicas ácidas devem estar ligadas a açúcares, polissacarídeos, ligninas, aminas, álcoois de cadeia longa, glicerol, bem como cadeias longas de ácidos graxos ômega-hidróxi (COLLINS, 1989; PETERSON, 2001).

Collins (1989) identificou e caracterizou um grupo de alcalóides que contêm grupos

fenólicos nas cascas e grãos de aveia, denominados de avenantramidas, que devem ser oriundos do metabolismo secundário como uma resposta de defesa das plantas, uma vez que estes compostos são induzidos em aveia pela ferrugem nas folhas ou por esporos elicitores. As avenantramidas são conjugados substituídos do ácido hidroxicinâmico, que apresentam atividade antioxidante, descritos como fitoalexinas com

propriedades benéficas de promover à saúde (PETERSON & DIMBERG, 2008).

As avenantramidas (Figura 1) são compostos fenólicos especiais da aveia, ocorrem como componentes constitutivos de grãos de aveia e são considerados como compostos centrais do mecanismo de defesa da planta (COLLINS, 1989 DIMBERG et al., 1996).



**Figura 1.** Estrutura de avenantramidas em aveia. Fonte: PETERSON, 2001.

São um grupo de alcalóides que constituem de um derivado do ácido antranílico ligado a um derivado do ácido hidroxicinâmico por uma ponte pseudo peptídico, que são comuns em grãos de aveia (COLLINS, 1989; DIMBERG et al., 1992) e que possuem atividade antioxidante *in vitro* (PETERSON et al., 2002; BRATT et al., 2003; CAI et al., 2011) e *in vivo* (JI et al., 2003; CHEN et al., 2008).

Estas também são potenciais agentes anti-inflamatórios e anti-alergênicos (LIU et al., 2004; NIE et al., 2006; LIU et al., 2011). Embora cerca de 40 diferentes avenantramidas tenham sido identificadas em aveia por cromatografia (COLLINS, 1989), três são mais abundantes nos grãos de aveia (EMMONS & PETERSON, 1999; BRATT et al., 2003):

- N-(40-hydroxy-30-methoxycinnamoyl) - ácido 5-hydroxyanthranilic (Bf),
- N-(40-hydroxycinnamoyl) - ácido 5-hydroxyanthranilic (Bp), e

- N-(30,40-dihydroxycinnamoyl) - ácido 5-hydroxyanthranilic (Bc)

As concentrações de avenantramidas em grãos de aveia são influenciadas pelo genótipo e pelo ambiente de crescimento (EMMONS et al., 1999; EMMONS & PETERSON 1999, 2001; BRYNGELSSON et al., 2002; DIMBERG et al., 2005; PETERSON et al., 2005, PETERSON & DIMBERG, 2008).

Alguns testes *in vitro* têm sido usados para avaliar a atividade antioxidante de extratos de aveia, porém, a capacidade antioxidante nos organismos é limitada sem dados de biodisponibilidade e metabolismo desses compostos (COLLINS, 2005). PETERSON et al. (2001), reportaram que as concentrações de ácido caféico e avenantramidas foram maiores no farelo de aveia do que no endosperma amiláceo, e suas concentrações no exterior e interior do endosperma não diferiram.

Os antioxidantes obtidos a partir de fontes naturais podem ter valor comercial para

produtos industriais alimentícios destinados a prevenção da saúde das pessoas. Para tanto, é preciso concentrar estas substâncias tornando-as eficientes na inibição de reações de oxidação indesejadas. Isolar e concentrar estes compostos a partir de grãos pode apresentar uma oportunidade de transformação para a fabricação de antioxidantes naturais (PIKE et al., 2007). Além de sua importância na dieta, os antioxidantes podem também contribuir para a estabilidade e influenciar no sabor dos produtos alimentares.

O processamento do malte de aveia pode aumentar a concentração de produtos termo estáveis da reação de *Maillard* e compostos fenólicos antioxidantes tais como as avenantramidas e os ácidos p-cumárico, ferúlico e caféico (PIKE et al., 2007). Os compostos termo estáveis, como as avenantramidas, presentes no endosperma, juntamente com os produtos da reação de *Maillard*, podem ser isolados através de técnicas específicas de moagem e processos de extração por solventes.

Vários ensaios *in vitro* têm sido usados para medir a atividade antioxidante em extratos de plantas e os resultados têm sido distintos. Isso se deve a cada ensaio medir diferentes propriedades, bem como as condições de extração e quantidades de antioxidantes extraídos. Reações de diferentes compostos nos ensaios *in vitro* também diferem, sendo que os resultados finais destes testes frente à heterogeneidade dos extratos obtidos é condicionante para a concentração e reatividade individual dos compostos antioxidantes da mistura (PETERSON, 2001; PETERSON et al., 2001). Pesquisas devem ser realizadas para definir o melhor método de fracionamento de aveia que concentre compostos antioxidantes, de forma que possam ser incorporados nos sistemas alimentícios, bem como que visem aumentar o teor dessas substâncias em grãos de aveia através do melhoramento genético das plantas. Além disso, é preciso aprimorar os conhecimentos sobre a biodisponibilidade e função de

sistemas antioxidantes na alimentação humana e animal.

## **EXTRAÇÃO DE ANTIOXIDANTES E MEDIDA DA ATIVIDADE**

A extração de compostos fenólicos de materiais vegetais é influenciada pela natureza química dessas substâncias, pelo método de extração empregado, tamanho das partículas da amostra, tempo e condições de armazenamento, bem como pela presença de substâncias interferentes (NACZK & SHAHIDI 2004). Prolongados tempos de extração aumentam a possibilidade de oxidação dos polifenóis, a menos que agentes redutores sejam adicionados ao sistema solvente. Além disso, a razão amostra/solvente influencia diretamente a recuperação de compostos fenólicos de plantas.

A solubilidade é afetada pela polaridade dos solventes utilizados. Por isso, é muito difícil desenvolver um procedimento de extração apropriado para todos os compostos fenólicos. Os extratos fenólicos de materiais vegetais são constituídos de uma mistura diversificada de compostos solúveis no sistema solvente utilizado (NACZK & SHAHIDI, 2006). Os solventes orgânicos, como por exemplo, metanol, etanol, propanol, acetona, acetato de etila e suas combinações têm sido utilizados, frequentemente com diferentes proporções de água (ANTOLOVICH et al., 2002; VERARDO et al., 2011). O tipo de solvente e a polaridade podem afetar a transferência de elétrons e de átomos de hidrogênio, que são aspectos chaves na medida da atividade antioxidante. A presença de outros compostos nas soluções testadas também pode afetar os resultados (PÉREZ-JIMÉNEZ & SAURACALIXTO, 2006).

Os métodos para medir a atividade antioxidante dos alimentos ou de amostras biológicas *in vitro* ou *in vivo* apresentam uma grande diversidade. Na avaliação da atividade antioxidante, a fonte da espécie

reativa de oxigênio (ERO) e o substrato devem ser sempre considerados. Um antioxidante pode tanto proteger os lipídios contra o estresse oxidativo, como acelerar o dano em outras moléculas. Por isso, quando se analisa a atividade antioxidante de uma amostra ou de um protetor é preciso considerar o objetivo do estudo e estabelecer uma série de questões que servem como guia na avaliação da eficácia antioxidante (ANTOLOVICH et al., 2002). Segundo MEZADRI (2005), não existe um sistema perfeito capaz de medir a atividade antioxidante real de uma determinada amostra.

A maioria dos métodos para determinação da atividade antioxidante *in vitro* que vem sendo aplicados envolve um iniciador (aumento de temperatura e pressão parcial de oxigênio, adição de metais como catalisadores, exposição à luz), que tem como base a formação de radicais livres, que são capturados ao se deparar com o composto antioxidante. Também é muito importante o cuidado na interpretação dos dados e na medida dos parâmetros de oxidação para melhor avaliar a atividade antioxidante. Os resultados têm sido expressos de maneiras distintas o que dificulta a sua comparação (ANTOLOVICH et al., 2002).

A quantificação de compostos fenólicos em plantas é influenciada pela sua natureza química, método de extração empregado, granulometria da amostra, tempo e condições de estocagem, bem como o método analítico empregado, escolha de padrões e presença de substâncias interferentes tais como lipídios, ceras, terpenos e clorofilas (NACZK & SHAHIDI, 2006).

O conhecimento do potencial antioxidante em alimentos não indica necessariamente sua capacidade antioxidante *in vivo*. Os efeitos de cooperação que existem entre diferentes antioxidantes (sinergismo), significam que o efeito do conjunto de antioxidantes é maior que a soma da atividade de um antioxidante individual. Por esta razão, os métodos de quantificação são

também conhecidos como atividade antioxidante total (AAT), parâmetro que quantifica a capacidade de uma amostra (natural ou artificial) atuar sobre radicais livres em um meio determinado. Tais métodos consideram a atividade antioxidante como uma característica global do produto em questão, independentemente de sua composição particular (MEZADRI, 2005).

Tanto os métodos *in vitro* como os métodos *in vivo* que têm sido usados na avaliação da atividade antioxidante possuem vantagens e limitações. Alguns métodos podem ser utilizados com extratos hidrossolúveis, enquanto outros são mais apropriados para frações lipossolúveis (KAUR & KAPOOR, 2001). A maioria dos métodos para determinação da atividade antioxidante *in vitro* aplicados atualmente tem como base a formação ou inibição de radicais livres, os quais são capturados ao ser adicionado o composto antioxidante, ou então pelo consumo de oxigênio ou pela formação de produtos de oxidação (CHU et al., 2013).

### Compostos fenólicos totais

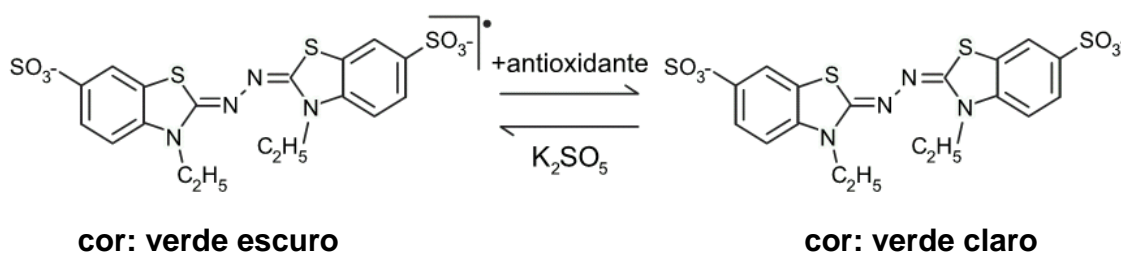
A quantificação espectrofotométrica de compostos fenólicos pode ser realizada por meio de uma variedade de técnicas, todavia, a que utiliza o reagente de Folin-Ciocalteu figura entre as mais extensivamente utilizadas (ANTOLOVICH et al., 2002; TSAO & DENG, 2004; ANGELO & JORGE, 2007). O reagente consiste de mistura dos ácidos fosfomolibdico e fosfotúngstico, no qual o molibdênio e o tungstênio encontram-se no estado de oxidação  $6^+$ , porém em presença de certos agentes redutores, como os compostos fenólicos, formam-se os chamados molibdênio azul e tungstênio azul, nos quais a média do estado de oxidação dos metais está entre 5 e 6 e cuja coloração permite a determinação da concentração das substâncias redutoras, que não necessariamente precisam ter natureza fenólica (NACZK & SHAHIDI, 2004).

### Atividade antioxidante total pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>

O método ABTS é utilizado para medir a atividade antioxidante através da captura do radical 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS), que pode ser gerado através de uma reação química, eletroquímica ou enzimática (Figura 2). Com

esse método, pode-se medir a atividade de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica (KUSKOSKI et al., 2005).

O radical ABTS<sup>•+</sup> (ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfônico) pode ser gerado por enzimas como a peroxidase ou quimicamente, com dióxido de manganês, persulfato de potássio ou ABAP (2,2'-azinobis-(2-amidinopropano) HCl) (ARNAO, 2000).

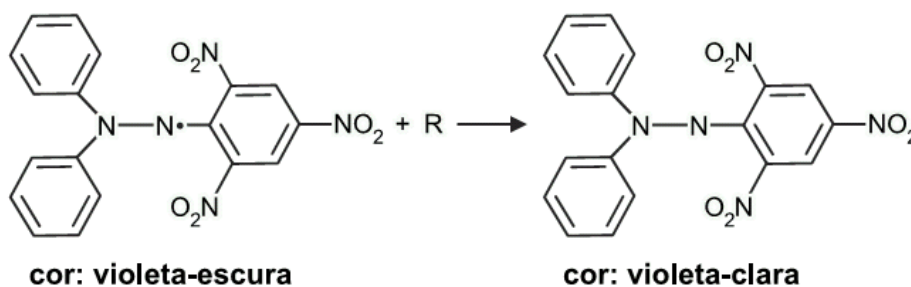


**Figura 2.** Estabilização do radical ABTS<sup>•+</sup> por um antioxidante e sua formação pelo persulfato de potássio. Fonte: RUFINO et al., 2007a.

### Atividade antioxidante total pela captura do radical livre DPPH

O método DPPH (BRAND-WILLIAMS et al., 1995) é baseado na captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por antioxidantes. Compostos como polifenóis tem a capacidade de deslocar elétrons, conferindo a estes compostos propriedades oxidáveis. Por isso, o ensaio de atividade sequestradora do radical livre DPPH se apresenta como um teste de prognóstico de uma potencial atividade antioxidante e pode ser empregado para triagem de compostos químicos sintéticos e produtos naturais. O ensaio fundamenta-se na propriedade do

DPPH apresentar uma forte absorção no espectro visível em comprimento de onda de 515 nm, caracterizado por uma coloração violácea intensa, devido à presença de radicais livres. Quando o DPPH é colocado em presença de substâncias capazes de sequestrar radicais livres, a absorção é inibida, resultando em uma descoloração estequiométrica em relação ao número de elétrons retirados e independente de qualquer atividade enzimática. O grau de descoloração indica a capacidade sequestradora de radical livre (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; BONDET et al., 1997; DAWIDOWICZ et al., 2012).



**Figura 3.** Estabilização do radical livre DPPH. Fonte: RUFINO et al., 2007b.

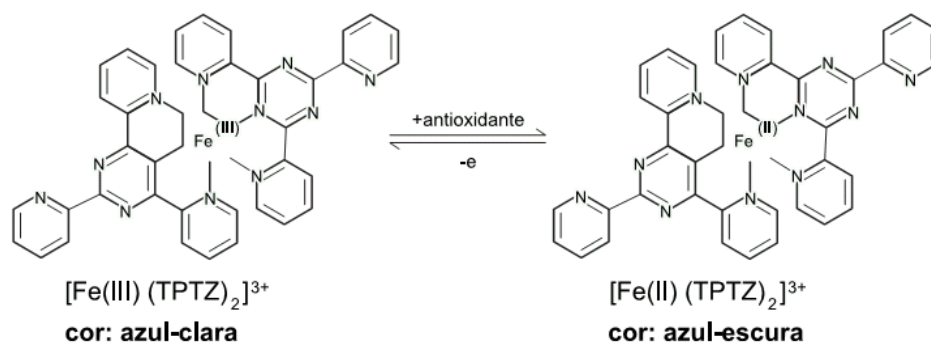


### Atividade antioxidante total pelo método da redução do ferro – FRAP

PULIDO et al. (2000) descreveram o método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) – poder antioxidante de redução do ferro (Figura 4) como uma alternativa desenvolvida para determinar a redução do ferro em fluidos biológicos e soluções aquosas de compostos puros.

Este método se baseia na redução do ferro e não na captura de radicais livres como

os demais métodos acima descritos. Em meio ácido, o complexo férrico tripiridiltriazina ( $\text{Fe}^{3+}$ /tripiridiltriazina - TPTZ) é reduzido à sua forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) de intensa cor azul na presença de antioxidantes, causando um aumento na absorvância a 595 nm (PULIDO et al., 2000; RUFINO et al., 2006; RYAN et al., 2011).



**Figura 4.** Redução do complexo  $\text{Fe}^{3+}$ /tripiridiltriazina - TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina) a  $\text{Fe}^{2+}$ . Fonte: RUFINO et al., 2006.

### Método da co-oxidação do $\beta$ -caroteno/ácido linoleico

O sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico foi desenvolvido por Marco (1968), modificado por MILLER (1971) e utiliza o ácido linoléico, monopalmítato de polioxietileno sorbitan (Tween 40) e o  $\beta$ -caroteno. O método avalia a atividade de inibição de radicais livres gerados durante a peroxidação do ácido linoléico. Trata-se de um ensaio espectrofotométrico baseado na descoloração (oxidação) do  $\beta$ -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico, ou seja, o método avalia a atividade de inibição de radicais livres gerados durante a peroxidação do ácido linoléico (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aveia se destaca como uma das principais fontes de compostos que exibem atividade antioxidante em grãos, porém a preservação dos compostos fenólicos é dependente das condições de processamento, por isso é importante à indústria monitorar as variáveis empregadas no tratamento hidrotérmico para que se obtenham produtos, que além de nutritivos, sejam ricos em compostos fenólicos com atividade antioxidante, benéficos à saúde.

Os antioxidantes mais encontrados na aveia são Vitamina E (tocoferol), ácido fítico, compostos fenólicos e avenantramidas. Os flavonóides e esteróis também estão presentes. Por isso, a aveia pode ser considerada fonte de fitoquímicos ativos, os quais podem agir em várias combinações, no



sistema humano. Isolar e concentrar antioxidantes a partir de grãos pode representar uma oportunidade de transformação na produção de antioxidantes naturais

A carência de pesquisas relacionadas à atividade antioxidante exibida em cultivares brasileiros de aveia, bem como as condições de processamento sobre as características tecnológicas e atividade antioxidante, precisam ser realizadas de forma a aprimorar os métodos de extração e quantificação da atividade antioxidante específica para produtos de aveia.

## REFERÊNCIAS

- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. 2008. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno\\_lista\\_alega.htm](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm). Acesso em: 04 fev. 2012.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.
- ANTOLOVICH, M.; PRENZLER, P.D.; PATSALIDES, E.; MCDONALD, S.; ROBARDS, K. Methods for testing antioxidant activity. **The analyst**, v. 127, p. 183-198, 2002.
- ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, p. 419-421, 2000.
- BONDET, V.; BRAND-WILLIAMS, W.; BERSET, C. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 6, p. 609-615, 1997.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p.25-30. 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 191, de 14 de abril de 1975. Aprova os Regulamentos Técnicos da aveia, centeio e cevada, definindo os seus POCs com os requisitos de identidade e qualidade, amostragem, modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 06 mai. 1975. Disponível em: <<http://www.ivegetal.com.br/cvegetal/Legislacao%20Classificacao%20Vegetal/Portaria%20n%20191%20de%2014%20de%20abril%20de%201975%20Aveia%20centeio%20cevada.pdf>> . Acesso em: 12 jan. 2012.
- BRATT, K.; SUNNERHEIM, K.; BRYNGELSSON, S.; FAGERLUND, A.; ENGMAN, L., ANDERSSON, R.E.; DIMBERG, L.H. Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure-activity relationships. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p.594–600, 2003.
- BRYNGELSSON, S.; MANNERSTEDT-FOGELFORS, B.; KAMAL-ELDIN, A.; ANDERSSON, R.; DIMBERG, L.H. Lipids and antioxidants in groats and hulls of Swedish oats (*Avena sativa* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 1, p. 606–614, 2002.
- CAI, S.; HUANG, S.; JI, B.; ZHOU, F.; WISE, M.L.; ZHANG, D.; YANG, P. In vitro antioxidant activity and inhibitory effect, on oleic acid-induced hepatic steatosis, of fractions and subfractions from oat (*Avena sativa* L.) ethanol extract. **Food Chemistry**, v. 124, p. 900-905, 2011.

CHU, Y.; WISE, M. L.; GULVADY, A.A.; CHANG, T.; KENDRA, D.F.; KLINKEN, B.J.; SHI, Y.; O'SHEA, M. In vitro antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of seven common oats. **Food Chemistry**, v.139, p. 426–431, 2013.

CHEN, C.-Y.; MILBURY, P.E.; KWAK, H.-K.; COLLINS, F.W.; SAMUEL, P.; BLUMBERG, J.B.; Avenanthramides and phenolic acids from oats are bioavailable and act synergistically with vitamic C to enhance hamster and human LDL resistance to oxidation. *Journal of Nutrition*, v. 134, p.1459-1466, 2008.

COLLINS, A. R. Assays for oxidative stress and antioxidant status: applications to research into the biological effectiveness of polyphenols. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 81, n. 1, p. 261S-267S, Jan. 2005.

COLLINS, F.W. Oat phenolics: avenanthramides, novel substituted Ncinnamoylanthranilate alkaloids from oat groats and hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 37, n. 1, p. 60–66, 1989

DAWIDOWICZ, A.L.; WIANOWSKA, D.; OLSZOWY, M. On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (Problems in estimation of antioxidant activity). **Food Chemistry**, v. 13, p. 1037–1043, 2012.

DEANE, D.; COMMERS, E. Oat cleaning and processing- general steps. In: Webster F. H. **Oats: chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists. 1. ed. Hardcover St. Paul, p 227-295, 1986.

DIMBERG, L.H.; THEANDER, O.; LINGNERT, H. Avenanthramides: a group of phenolic antioxidants in oats. **Cereal Chemistry**. v.70, n.6, p. 637–641, 1992.

DIMBERG, L.H.; MOLTEBERG, E.L.; SOLHEIMT, R.; FRÖLICHTS, W. Variation in

oat groats due to variety, storage and heat treatment. I: Phenolic compounds. **Journal of Cereal Science**, v. 24, p. 263-272, 1996.

DIMBERG, L.H.; GISSE´N, C.; NILSSON, J. Phenolic compounds in oat grains grown in conventional and organically systems. **AMBIO**, v.34, n.4, p. 331–337, 2005.

DUARTE-ALMEIDA, J. M.; SANTOS, R. J.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 446-452, 2006.

EMMONS, C.L.; PETERSON, D.M. Antioxidant activity and phenolic contents of oat groats and hulls. **Cereal Chemistry**, v.76, n.6 ,p. 902–906, 1999.

EMMONS, C.L.; PETERSON, D.M.; PAUL, G.L. 1999. Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts. 2. In vitro antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47 ,n.12, p.4894-4898, 1999.

EMMONS, C.L.; PETERSON, D.M. Antioxidant activity and phenolic content of oat as affected by cultivar and location. **Crop Science**, v. 41, n.3 , p. 1678-1681, 2001.

GRAY, D.A.; CLARKE, M.J.; BAUX,C.; BUNTING, J.P.; SALTER, A.M.; Antioxidant activity of oat extracts added to human LDL particles and in free radical tapping assays. **Journal of Cereal Science**, v. 36, n. 7, p. 209-218, 2002.

GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I.; **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Livraria Varela, 2000.

JI, L.L.; LAY, D.; CHUNG, E.; FU, Y.; PETERSON, D.M. Effects of avenanthramides on oxidant generation and

antioxidant enzyme activity in exercised rats. **Nutrition Research** v.23, n.11, p.1579–1590, 2003.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in fruits and vegetables – the millennium's health. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, p. 703-725, 2001.

KLOSE, C.; SCHEHL, B.D.; ARENDT, E.K. Fundamental study on protein changes taking place during malting of oats. **Journal of Cereal Science**. v.49, n.1, p.83-91, 2009.

KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; TRONCOSO, A.M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Aplicação de diversos métodos químicos para determinar atividade antioxidante em pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n.4, p.726-732, 2005.

LIU, L.; ZUBIK, L.; COLLINS, F.W.; MARKO, M.; MEYDANI, M. The antiatherogenic potential of oat phenolic compounds. **Atherosclerosis**, v.175, n.1, p.39-49, 2004.

LIU, S.; YANG, N.; HOU, Z.; YAO, Y.; LÜ, L.; ZHOU, X.; REN, G. Antioxidant Effects of Oats Avenanthramides on Human Serum. **Agricultural Sciences in China**, v 10, n.8, p. 1301-1305, 2011.

LIUKKONEN, K.; JOHNSON, T.; LAAKSO, S. Alkaline sensitivity of lipase activity in oat flour: factors contributing to inhibition. **Journal of Cereal Science**, New York, v.21, n.1, p.79-85, 1995.

MARCO, G. J. A rapid method for evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 45, p. 594-598, 1968.

MARINI, L.J.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Efeito da temperatura de secagem e relação de intermitência na inativação enzimática e viscosidade de pasta de aveia. **Revista**

**Brasileira de Agrociência**, v.13, n.1, p.55-60, 2007.

MARQUART, L.; JACOBS, D.R.; SLAVIN, J.L. Whole grains and health an overview. **Journal of the American College Nutrition**, v.19, n.90003, p.289-290, 2000.

MEZADRI, T. **Evaluación de la actividad antioxidante de frutos de acerola (Malpighia emarginata DC.) y sus derivados**. Sevilla, 2005. 209 p. Tesis de Doctorado – Facultad de Farmacia – Universidad de Sevilla.

MILLER, H. E. A simplified method for the evaluation of antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 48, p. 91, 1971.

NACZK, M.; SHAHIDI, F., Extraction and analysis of phenolic in foods, **Journal of Chromatography A**, v.1054, n.1/2, p.411-424, 2004.

NACZK, M.; SHAHIDI, F., Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**. v. 41, n.1, p.1523-1545, 2006.

NIE, L.; WISE, M.; PETERSON, D.; MEYDANI, M. Mechanism by which avenanthramide-c, a polyphenol of oats, blocks cell cycle progression in vascular smooth muscle cells. **Free Radical Biology and Medicine**, v.41, n.1, p.702–708, 2006.

PETERSON, D.M. Lipase activity and lipid metabolism during oat malting. **Cereal Chemistry**. v.76, n.1, p.159-163, 1999.

PETERSON, D.M. Oat Antioxidants. **Journal of Cereal Science**. v.33, n.2, p.115-129, 2001.

PETERSON, D.M., EMMONS, C.L., HIBBS, A.H. Phenolic antioxidants and antioxidant activity in pearling fractions of oat groats.

**Journal of Cereal Science**, v.33, n.1 , p.97–103, 2001.

PETERSON, D.M.; HAHN, M.J.; EMMONS, C.L. Oat avenanthramides exhibit antioxidant activities in vitro. **Food Chemistry**. v.79, n.4 ,p.473–478, 2002.

PETERSON, D.M.; WESENBERG, D.M.; BURRUP, D.E.; ERICKSON, C.A. Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. **Crop Science**. v.45, n.3 ,p.1249–1255, 2005.

PETERSON, D.M.; DIMBERG, L. H. Avenanthramide concentration and hydroxycinnamoyl-CoA: hydroxyanthranilate N- hydroxycinnamoyltransferase activities in developing oats. **Journal of Cereal Science**. v.47, n.1, p.101-108, 2008.

PIKE, P.R.; ABDEL-AAL, EI-S.M.; McELROY, A.R. Antioxidant activity of oat malt extracts in accelerated corn oil oxidation. **Journal American Oil Chemical Society**. v.84, n.1 ,p. 663-667, 2007.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal Agriculture and Food Chemistry**, v. 48, p. 3396-3402, 2000.

RYAN, L.; THONDRE, P.S.; HENRY, C.J.K. Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 24, p. 929–934, 2011.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.G., Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP) **Comunicado técnico on line EMBRAPA Agroindústria Tropical**, nº 125, 2006.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.G., Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>+</sup>. **Comunicado técnico on line EMBRAPA Agroindústria Tropical**, nº 128, 2007a.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.G., Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH **Comunicado técnico on line EMBRAPA Agroindústria Tropical**, nº 127, 2007b.

TSAO, R.; DENG, Z. Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. **Journal of Chromatography B**, v. 812, p. 85-99, 2004.

VERARDO, V.; SEREA, C.; SEGAL, R.; CABONI, M.F. Free and bound minor polar compounds in oats: Different extraction methods and analytical determinations. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 211e217, 2011.

WEBER, F.H.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Caracterização química de cariopses de aveia (*Avena sativa* L) da cultivar UPF 18. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.1, p.39-44, 2002.

WOOD, P.J. Cereal  $\beta$ -glucans: structure, properties and health claims. In: B.V. McCleary, L. Prosky. **Advanced Dietary Fibre Technology** (pp. 315-327). Oxford: Blackwell Science, 2001.

WOOD, P. J. Cereal  $\beta$ -glucans in diet and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 1, p. 230-238, 2007.