

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA**

MÁRCIA BARBOSA DE SOUSA

**COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VARIAÇÃO SAZONAL DO TEOR DE
VITAMINAS EM MACROALGAS MARINHAS VERDES *Ulva fasciata* E *U. lactuca*
(ULVALES, CHLOROPHYTA), COLETADAS NA PRAIA DO PACHECO,
CAUCAIA - CEARÁ**

**FORTALEZA
2011**

MÁRCIA BARBOSA DE SOUSA

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VARIAÇÃO SAZONAL DO TEOR DE VITAMINAS
EM MACROALGAS MARINHAS VERDES *Ulva fasciata* E *U. lactuca* (ULVALES,
CHLOROPHYTA), COLETADAS NA PRAIA DO PACHECO, CAUCAIA - CEARÁ

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Pesca.

Orientadora: Prof^a Dr^a Silvana Saker-Sampaio

FORTALEZA
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- S713c Sousa, Márcia Barbosa de .
 Composição centesimal e variação sazonal do teor de vitaminas em macroalgas marinhas verdes
Ulva fasciata e *U. lactuca* (*Ulvales, Chlorophyta*), coletadas na praia do Pacheco, Caucaia – Ceará /
Márcia Barbosa de Sousa. – 2011.
 97 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Pesca,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2011.
 Área de Concentração: Biotecnologia de Recursos Aquáticos.
 Orientação: Profa. Dra. Silvana Saker-Sampaio.
- 1.Alga marinha - nutrientes. 2.Alga marinha - composição química I. Título.

MÁRCIA BARBOSA DE SOUSA

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E VARIAÇÃO SAZONAL DO TEOR DE VITAMINAS
EM MACROALGAS MARINHAS VERDES *Ulva fasciata* E *U. lactuca* (ULVALES,
CHLOROPHYTA), COLETADAS NA PRAIA DO PACHECO, CAUCAIA - CEARÁ

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em
Engenharia de Pesca.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Silvana Saker-Sampaio, Ph.D. (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Francisco Arnaldo Viana, D.Sc. (Co-orientador)
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Prof. Alexandre Holanda Sampaio, Ph.D.
Universidade Federal do Ceará

Prof^a Ana de Fátima Fontenele Urano Carvalho, Ph.D.
Universidade Federal do Ceará

Prof^a Fernanda Maria Machado Maia, D.Sc.
Universidade Estadual do Ceará

Aos meus pais Edilson e Maria Barbosa,
que sempre incentivaram meus estudos
dando-me a sustentação e o amor
que eu sempre precisei.

Aos meus irmãos, sobrinhos e familiares
pelo grande apoio, incentivo e carinho
nesta etapa importante da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre está comigo em todos os momentos da minha vida orientando e direcionando o meu caminho.

Agradecimento especial à minha orientadora Silvana Saker Sampaio, por ser minha mestre, ensinando e orientando o caminho da minha vida acadêmica. Por sua inestimável dedicação a este trabalho, paciência e aos grandes conhecimentos que adquiri. Amizade, simplicidade e competência qualificam-na sempre.

Aos Professores Doutores Francisco Arnaldo Viana, Alexandre Holanda Sampaio, Ana de Fátima Fontenele Urano Carvalho e Fernanda Maria Machado Maia, pelas valiosas contribuições.

Aos colegas do Laboratório de Biologia Marinha (Biomar-CLAE), Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante, Daniel Barroso de Alencar, Jonas Guarany Santiago, Filipe de Oliveira Nepomuceno, Francisco Santiago Lucas, Amanda Swelen Araújo, Rebeca Laranjeira Lima e Mirela Gouveia pelo apoio e colaboração durante este trabalho.

Ao Professor Doutor Celso Shiniti Nagano, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca pela sua colaboração neste trabalho e sua orientação aos discentes do PPG em Engenharia de Pesca.

A Professora Doutora Elisabeth Mary Cunha da Silva, do Departamento de Engenharia de Alimentos pela utilização do Laboratório de Carnes e Pescados e técnicos Luiz Alves Bitu e Roselúcia Barrozo de Almeida pela colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

A Dra. Alessandra Cristina da Silva pelas valiosas sugestões e contribuições.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca pela sua participação na minha formação profissional e pelos conhecimentos que adquiri.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa que me foi concedida.

A Universidade Federal do Ceará por proporcionar minha formação da acadêmica com os cursos de graduação, mestrado e doutorado.

A todos os meus amigos pelo incentivo e apoio, sempre.

RESUMO

As macroalgas marinhas apresentam elevadas quantidades de proteínas, fibras, sais minerais e vitaminas lipossolúveis, possuem conteúdo de lipídios relativamente baixo, embora seus ácidos graxos constituintes tenham elevado grau de insaturação. A maioria desses compostos varia de acordo com a época do ano e com as condições ecológicas que podem estimular ou inibir a biossíntese desses nutrientes. Os carotenóides são pigmentos acessórios encontrados em macroalgas marinhas que estão envolvidos na captação da luz e na fotoproteção. Vitamina E é o termo genérico utilizado para fazer referência a um grupo de substâncias encontradas na natureza, os tocoferóis e os tocotrienóis, que possuem diferentes graus de atividade vitamínica. Nas algas, os tocoferóis são encontrados na membrana dos cloroplastos, predominantemente como α -tocoferol protegendo o aparato fotossintético. Este trabalho teve como objetivo analisar a composição química e a variação sazonal do teor de vitaminas nas espécies *Ulva fasciata* e *U. lactuca* coletadas na Praia do Pacheco no município de Caucaia, Ceará no ano de 2007 durante as marés de sizígia. Em seguida, elas foram divididas em duas porções de aproximadamente 100 g cada. A primeira porção foi macerada com o auxílio de nitrogênio líquido até a obtenção de farinha algal, que foi utilizada para a quantificação de α - e β -caroteno e de α - e δ -tocoferol. A outra parte foi submetida à desidratação em estufa a 40°C por 15 horas, transformadas em uma farinha fina, utilizada para a determinação da composição centesimal (proteína total, lipídio, cinza e carboidrato) e para a extração e quantificação de carotenóides provitamina A (α - e β -caroteno) e tocoferóis (α - e δ -tocoferol). Para o estudo de carotenos e tocoferóis, o material algal “in natura” e desidratado foi submetido à extração com metanol, saponificação com hidróxido de potássio e partição em *n*-hexano. Para a análise cromatográfica foi usada uma coluna Waters Spherisorb S5 ODS-2 (4,6 x 250 mm) e fase móvel de MeOH: THF (95:5, v/v), com fluxo de 1,5 mL min⁻¹. O monitor foi ajustado em 450 e 292 nm, para a leitura simultânea de carotenos e tocoferóis. As espécies analisadas apresentaram teores de proteína total, carboidratos e cinzas que variaram ao longo do ano. Os teores de lipídios foram sempre baixos. Nas amostras de *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratadas foram detectadas as presenças de α - e β -caroteno em quantidades variáveis ao longo dos doze meses de coleta. Os menores teores de carotenóides foram detectados nos meses de outubro e novembro em *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” coincidindo com a maior radiação solar. Foram detectadas as presenças de α - e δ -tocoferol em teores variáveis ao longo do ano nas espécies *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratadas. Não foi possível perceber uma relação óbvia entre os teores de α - e δ -tocoferol e coloração, idade da planta ou radiação solar mais ou menos intensa.

Palavras-chave: Macroalgas marinhas, nutrientes, pigmentos e sazonalidade.

ABSTRACT

Marine macroalgae have been shown to possess high amounts of proteins, dietary fibers, minerals and liposoluble vitamins, and a relatively low lipid content, although the constituent fatty acids are highly unsaturated. Most of these compounds vary with regard to the time of year and ecological conditions, which may stimulate or inhibit the biosynthesis of these nutrients. Carotenoids are accessory pigments found in marine macroalgae, involved in the capture of sunlight and photoprotection. Vitamin E is the generic term used to refer to a group of substances found in nature, tocopherols and tocotrienols, which present different degrees of vitaminic activity. In macroalgae, tocopherols are found in the chloroplast membrane, predominantly as α -tocopherol, protecting the photosynthetic apparatus. The aim of this thesis was to analyze the centesimal composition (total protein, lipids, ash and carbohydrates) and seasonal variation of the vitamin content in the species *Ulva fasciata* and *U. lactuca*, collected on Pacheco Beach in Caucaia, Ceará, in 2007 during low tides. The material was divided in two portions of approximately 100 g each. The first portion was macerated with liquid nitrogen until the algal powder was obtained, and was used for the quantification of α - and β -carotene, and α - and δ -tocopherol. The other portion was dehydrated in an oven at 40°C for 15 h, ground into a fine powder, and used for the determination of the centesimal composition and for the extraction and quantification of carotenoids provitamin A (α - and β -carotene) and tocopherols (α - and δ -tocopherol). In the study of carotenes and tocopherols, the “in natura” and dehydrated algal material were submitted to extraction with methanol, saponification with potassium hydroxide, and partition with *n*-hexane. For the chromatographic analysis, a Waters Spherisorb S5 ODS-2 (4.6 x 250 mm) column was used, with MeOH: THF (95:5, v/v) as the mobile phase, delivered at 1.5 mL min⁻¹. The monitor was adjusted to 450 and 292 nm for the simultaneous reading of carotenes and tocopherols. The species analyzed presented total protein, carbohydrate, and ash content which varied along the year. The lipid content was low throughout. In the *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” and dehydrated samples, the presence of α - and β -carotene was detected in varying quantities during the twelve month collection period. The lowest carotenoid contents were detected in October and November in *U. fasciata* and *U. lactuca* “in natura”, coinciding with the increased solar radiation. The isomers α - and δ -tocopherol were detected in varying amounts throughout the year in the *U. fasciata* and *U. lactuca* species “in natura” and dehydrated. No immediately evident relation was found between the α - and δ -tocopherol contents and coloration, plant age, or increased or decreased solar radiation.

Keywords: Marine macroalgae, nutrients, pigments e seasonal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 1	Estrutura e sistema de numeração dos carotenóides (BRITTON, 1995). Carotenóide acíclico, licopeno e dicíclico, β -caroteno (A), e os sete grupos terminais de diferentes carotenóides naturais (B). 26
Figura 2	Estruturas de tocoferóis e tocotrienóis. 31
Figura 3	Biossíntese do tocoferol em plantas. [Homogentisato fitiltransferase (HPT), Metilfitilbenzoquinona metiltransferase (MPBQ MT), tocoferol metiltransferase (TMT)] (CARETTO <i>et al.</i> , 2010). 33
Figura 4	Curva padrão do sulfato de amônio usado na quantificação de proteína total. Solução padrão de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ de 10 a 50 μL que corresponderam de 2,544 a 12,720 μg de nitrogênio mL^{-1} . 39
Figura 5	Curva padrão do β -caroteno (C-9750) (Sigma). Injeção de 0,05 a 0,65 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min^{-1} e detecção em 450 nm. 41
Figura 6	Curva padrão do α -tocoferol (T-3251) (Sigma). Injeção de 2,0 a 20,0 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min^{-1} e detecção em 292 nm. 42
Figura 7	Curva padrão do δ -tocoferol (T-2028) (Sigma). Injeção de 0,2 a 10,0 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min^{-1} e detecção em 292 nm. 42
Figura 8	Macroalga marinha verde <i>Ulva fasciata</i> coletada nos meses de janeiro (A), setembro (B), novembro (C) e dezembro (D), na Praia do Pacheco, Caucaia-Ceará, no ano de 2007. 45
Figura 9	Macroalga marinha verde <i>Ulva lactuca</i> coletada nos meses de fevereiro (A), agosto (B), novembro (C) e dezembro (D), na Praia do Pacheco, Caucaia-Ceará, no ano de 2007. 45
Figura 10	Teores de proteína total nas macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> (A) e <i>U. lactuca</i> (B), desidratadas a 40°C por 15 h, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE no ano de 2007. 48
Figura 11	Cromatograma típico do padrão de β -caroteno tipo I all <i>trans</i> 95% (C-9750, Sigma) submetido à saponificação e partição. Injeção de 0,5 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min^{-1} e detecção em 450 nm. 57
Figura 12	Cromatogramas típicos de CLAE dos extratos das macroalgas marinhas verdes (A) <i>Ulva fasciata</i> e (B) <i>Ulva lactuca</i> “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia, Ceará. Coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm), fase móvel MeOH:THF (95:5), fluxo 1,5 mL min^{-1} e detecção em 450 nm. 58

- Figura 13 Teores de α -caroteno (A) e β -caroteno (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva fasciata* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta). 65
- Figura 14 Teores de α -caroteno (A) e β -caroteno (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva lactuca* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta). 66
- Figura 15 Cromatograma típico de CLAE do (\pm)- α -tocoferol sintético $\geq 96\%$ (T-3251, Sigma) e (+)- δ -tocoferol $\geq 90\%$ (T-2028, Sigma), submetidos à saponificação e partição.
Injeção de 5 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 292 nm. 69
- Figura 16 Cromatogramas típicos de CLAE dos extratos das macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* (A) e *U. lactuca* (B) “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia, Ceará.
Coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm), fase móvel MeOH:THF (95:5), fluxo 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 292 nm. 70
- Figura 17 Teores de α -tocoferol (A) e δ -tocoferol (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva fasciata* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta). 76
- Figura 18 Teores de α -tocoferol (A) e δ -tocoferol (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva lactuca* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta). 77

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição química da macroalga marinha verde <i>Ulva fasciata</i> , desidratada a 40°C por 15 h, coletada na Praia do Pacheco, Caucaia-CE, no ano de 2007	47
Tabela 2. Composição química da macroalga marinha verde <i>Ulva lactuca</i> , desidratada a 40°C por 15 h, coletada na Praia do Pacheco, Caucaia-CE, no ano de 2007	47
Tabela 3. Conteúdos de α - e β -caroteno nas macroalgas marinhas verde <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE, no ano de 2007	59
Tabela 4. Conteúdos de retinol equivalente (RE) nas macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> “in natura” e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E	59
Tabela 5. Conteúdo de α - e β -caroteno nas macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> desidratadas a 40°C por 15h, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE coletadas no ano de 2007	62
Tabela 6. Conteúdo de retinol equivalente (RE) nas macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> desidratadas e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E	62
Tabela 7. Conteúdos de α - e δ -tocoferol nas macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE no ano de 2007	71
Tabela 8. Conteúdos de α -tocoferol equivalente (α -TE) nas macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> “in natura” e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E	71
Tabela 9. Conteúdos de α - e δ -tocoferol das macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> desidratadas a 40°C por 15 h, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE coletadas no ano de 2007	73
Tabela 10. Conteúdos de α -tocoferol equivalente (α -TE) das macroalgas marinhas verdes <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> desidratada a 40°C por 15 h e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Luz, Pigmentos e Algas marinhas	16
2.2 Importância nutracêutica e funcional das algas marinhas	18
2.3 Valor nutricional das algas marinhas	19
2.4 Carotenóides provitamina A	25
2.5 Vitamina E	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 Materiais	37
3.1.1 Macroalgas	37
3.1.2 Reagentes	38
3.2 Métodos	38
3.2.1 Composição química	38
3.2.1.1 Determinação de proteínas totais	38
3.2.1.2 Determinação de lipídios totais	39
3.2.1.3 Determinação de cinzas totais	40
3.2.1.4 Determinação de carboidratos totais	40
3.2.2 Determinação de carotenóides (α - e β -caroteno) e tocoferóis (α - e δ - tocoferol) por CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência)	40
3.2.2.1 Curva padrão de β -caroteno, α - e δ -tocoferol	40
3.2.2.2 Preparação das amostras (Extração, Saponificação e Partição)	43
3.2.2.3 Método cromatográfico e cálculo dos teores de α - e β -caroteno e de α - e δ - tocoferol nas macroalgas marinhas <i>Ulva fasciata</i> e <i>U. lactuca</i> .	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Aspectos das algas coletadas quanto à coloração, tamanho e biomassa	45
4.2 Composição química	47
4.2.1 Quantidade de proteína total	48
4.2.2 Lipídios	52
4.2.3 Cinzas e Carboidratos	54
4.3 Carotenóides provitamina A	57
4.4 Vitamina E	69
5 CONCLUSÃO	78
6 REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

As algas ocorrem nos ecossistemas aquáticos, desempenhando papel ecológico comparável àquele das plantas terrestres. As algas marinhas azuis (Cyanophyta), verdes (Chlorophyta), vermelhas (Rhodophyta) e pardas (Phaeophyta) podem ser encontradas ao longo dos costões rochosos e nos recifes de maré, distribuindo-se no ambiente de acordo com sua capacidade de sobreviver às variações abióticas decorrentes da sua exposição durante as marés baixas. As algas bentônicas da zona entremarés estão sujeitas, duas vezes ao dia, a grandes flutuações de umidade, temperatura, salinidade e luz, além da ação dos movimentos fortes e abrasivos da arrebentação. Variações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas entre as espécies refletem adaptações a esses desafios (CHAKRABORTY; SANTRA; BHATTACHARYA, 2010; DENIS *et al.*, 2010).

A divisão Chlorophyta inclui 4.494 espécies, das quais 988 pertencem à classe Ulvophyceae. A maioria dos representantes dessa classe é marinha, embora alguns vivam em água doce e habitats terrestres. Elas possuem um talo fixo ao substrato através de um apressório produzido por protuberâncias das células basais. As células do talo apresentam núcleo e cloroplasto únicos. O gênero *Ulva* é cosmopolita existindo em todos os oceanos e estuários do mundo, sendo comum em praias de climas tropicais e temperados, podendo apresentar indivíduos excepcionalmente grandes com comprimento igual ou superior a 1 m. As plantas apresentam ciclo de vida diplobionte, e do ponto de vista reprodutivo, o gênero *Ulva* é anisogâmico, apresentando alternância de gerações (ALGAEBASE, 2011; GRAHAM; GRAHAM; WILCOX, 2009b).

As espécies *Ulva fasciata* e *U. lactuca* apresentam coloração verde e são popularmente conhecidas como alface do mar. A macroalga *U. fasciata* possui um talo foliáceo irregularmente lobado, com lobos expandidos em forma de fita com 1 a 1,5 cm de largura, superfície lisa, com duas camadas de células em espessura e são fixas ao substrato por um minúsculo apressório de consistência membranácea. A espécie *U. lactuca* é uma planta folhosa, de lâminas largas, com 3 a 4 cm de altura e de consistência membranosa firme, com talo foliáceo expandido, constituído por duas camadas de células. Prendem-se ao substrato também por um minúsculo apressório basal, para a qual contribuem os rizóides que nascem das células próximas. Ambas possuem clorofilas *a* e *b*, e como pigmentos acessórios carotenos e xantofilas, principalmente β -caroteno e luteína. Estas espécies do gênero *Ulva* são encontradas em abundância no Brasil, estando presentes nos bancos algais do litoral cearense,

cuja extensão é de 573 km. Ocorrem predominantemente na região do supra e mesolitoral, podendo ser localmente dominantes em regiões eutrofizadas (JOLY, 1965; LEE, 2009).

Acredita-se que muitos compostos são produzidos através de vias metabólicas complexas para garantir a sobrevivência das macroalgas marinhas nestes ambientes adversos. Elas apresentam elevadas quantidades de proteínas, aminoácidos, vitaminas e sais minerais, e um baixo teor lipídico, porém nesses destacam-se os ácidos graxos poli-insaturados e vitaminas lipossolúveis. Este fato tem despertado o interesse de pesquisadores com o propósito de extrair componentes biologicamente ativos, os quais podem ser de natureza proteica, como peptídios e aminoácidos, ou glicosídica como polissacarídeos - fucoidanas e fucanas, ou ainda glicoproteínas. Além desses, outros componentes químicos como terpenos, esteróis, compostos fenólicos e ácidos graxos também têm sido encontrados (CHAKRABORTY *et al.*, 2010; GO; HWANG; NAM, 2010; HARNEDY; FITZGERALD, 2011).

Estudos com *U. fasciata* coletada na praia do Pacheco, Ceará mostraram teores de α - e β -caroteno e α -tocoferol mais elevados do que outras clorofíceas (SOUSA *et al.*, 2008), e de proteína e fibras maiores do que outras espécies de rodofíceas e feofíceas (CARVALHO *et al.*, 2009).

Informações adicionais são necessárias para comprovar a existência de variações sazonais, tendo em vista que os conteúdos dos nutrientes das algas estão relacionados a vários fatores ambientais como temperatura, salinidade, luz e composição química da água. A maioria desses parâmetros varia de acordo com a época do ano e com as condições ecológicas que podem estimular ou inibir a biossíntese desses nutrientes.

Este trabalho teve como objetivo determinar a composição química (proteína, gordura, cinza e carboidrato), os teores de carotenóides provitamina A (α - e β -caroteno) e de tocoferóis (α - e δ -tocoferol) nas espécies de macroalgas marinhas verdes *U. fasciata* e *U. lactuca*, coletadas ao longo de doze meses na Praia do Pacheco, Caucaia, Ceará, em amostras “in natura” e submetidas à secagem artificial, e analisar os resultados segundo as mudanças ambientais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As macroalgas marinhas são fonte de uma grande variedade de compostos benéficos para o homem com aplicação em diversas áreas, podendo agir como biofertilizantes (SANGEETHA; THEVANATHAN, 2010), atuar em sistemas biológicos devido à atividade antiviral, imunoestimulante, anticoagulante, antitumoral e anti-inflamatória (VO *et al.*, 2011; XIE *et al.*, 2011) e também na indústria de alimentos, onde alguns polissacarídeos são usados como agentes gelificantes e espessantes para alterar a consistência de certos produtos (MAMATHA *et al.*, 2007).

Durante as últimas décadas, a comunidade científica demonstrou interesse crescente pelo estudo de carotenóides e vitaminas lipossolúveis de algas marinhas, os quais estão associados com a redução de doenças cardiovasculares e degenerativas, além da ação em diversos processos metabólicos devido ao seu poder antioxidante (SOLTANI *et al.*, 2011).

O consumo de algas marinhas na alimentação dos povos orientais é bastante antigo, sendo comum a adição de algas “in natura” e desidratadas em diferentes preparos culinários, e como suplemento vitamínico ou aditivo alimentar. Apesar da tradição dos orientais, os povos ocidentais ainda sabem pouco sobre o valor das algas como alimento humano. A França foi o primeiro país europeu a estabelecer um regulamento específico que reconhece legalmente o uso de algas como alimento vegetal e condimento na alimentação humana. Outros países europeus como Espanha, Itália, Irlanda e Islândia, e latino-americanos, como Chile, Santa Lúcia, Peru e Venezuela, têm também apresentado um aumento significativo no consumo, produção e comercialização de algas (COFRADES *et al.*, 2008; FAO, 2010; ROMARIS-HORTAS *et al.*, 2010).

A produção mundial de algas e de outras plantas aquáticas provenientes da aquicultura foi de 15.781.159 t em 2008, gerando assim US\$ 7.425.929. Deste total, quase 84% foram referentes às algas, sendo que as pardas contribuíram com 6.626.440 t, as vermelhas com 6.588.144 t e as verdes com 26.017 t, destacando-se China, Indonésia, Filipinas, Coreia do Sul, Japão e Coreia do Norte, como os maiores produtores mundiais (FAO, 2010).

Reconhecidamente as algas marinhas possuem compostos benéficos à saúde humana, cuja ocorrência e quantidades estão relacionadas com as condições do meio em que elas vivem, especialmente com relação à luz (CHAKRABORTY; SANTRA; BHATTACHARYA, 2010; SCHMIDT *et al.*, 2010 a).

2.1 Luz, Pigmentos e Algas marinhas

A importância primária da luz para as algas marinhas está em prover energia para a realização da fotossíntese. Essa energia é utilizada em seu metabolismo e transferida para outros organismos, constituindo a base da cadeia alimentar nos ecossistemas aquáticos (GRAHAM; GRAHAM; WILCOX, 2009a). A primeira etapa da conversão da energia luminosa em energia química é a absorção de luz visível, realizada por pigmentos, alguns dos quais absorvem todos os comprimentos de onda da luz e por isso são negros. A maior parte deles, entretanto, transmite ou reflete os comprimentos de onda que não são absorvidos.

Os pigmentos que absorvem luz fazem parte de complexos proteicos arranjados na membrana tilacóide, denominados fotossistemas I e II, que são unidades funcionais das reações da fotossíntese dependentes da luz. Esses pigmentos fotorreceptores ficam ligados a subunidades proteicas constituintes dos fotossistemas, assumindo uma disposição espacial que torna muito eficiente a propagação de energia absorvida. Os pigmentos acessórios permitem uma captação eficiente de luz na região do espectro onde a clorofila tende a captar energias de baixos níveis, contribuindo com uma fração substancial de energia para a fotossíntese. A energia luminosa coletada pelos pigmentos-antena é transmitida de molécula a molécula nos complexos pigmentados captadores de luz, até atingir o centro de reação, que é constituído por duas moléculas de clorofila *a*, ligadas a subunidades do fotossistema (LOBBAN; HARRISON, 1997a).

O padrão de absorção de um pigmento é conhecido como espectro de absorção, e a eficiência relativa dos diferentes comprimentos de onda da luz sobre processos específicos que necessitam de luz é a definição do espectro de ação de um determinado pigmento. A semelhança entre o espectro de absorção de um pigmento e o espectro de ação de um processo dependente de luz é considerada como uma evidência de que este pigmento específico é responsável por aquele processo específico. Uma evidência de que a clorofila seja o principal pigmento envolvido na fotossíntese é a similaridade entre os espectros de ação e de absorção deste processo (LOBBAN; HARRISON, 1997a; SOUTH; WHITTICK, 1987).

A clorofila, pigmento principal, e os carotenóides e ficobilinas, pigmentos acessórios, são encontrados nas algas marinhas e estão envolvidos na captação de energia luminosa. Nestes organismos, os carotenóides e as ficobilinas exercem função como pigmento-antena, captando energia na faixa de espectro visível de 400-700 nm (LOBBAN; HARRISON, 1997a).

A intensidade da radiação luminosa e a qualidade da luz influenciam o acúmulo de pigmentos fotossintéticos (KORBEE; FIGUEROA; AGUILERA, 2005). Estudos sobre a composição dos pigmentos da macroalga vermelha *Gracilaria tenuistipitata* cultivada em laboratório sob baixas condições de radiação luminosa mostraram aumentos na clorofila *a* e nos pigmentos acessórios para garantir a eficiência fotossintética (CARNICAS; JIMÉNEZ; NIELL, 1999). Células de algas cultivadas em baixa radiação luminosa apresentam concentrações mais elevadas de pigmento do que as cultivadas em alta radiação luminosa e, portanto, são mais eficientes na absorção da luz disponível, embora o rendimento de energia por quantum absorvido permaneça inalterado. As algas podem responder à luz do ambiente aumentando ou diminuindo o conteúdo de seus pigmentos (número e/ou tamanho dos fotossistemas), uma vez que cada complexo pigmento-proteína possui um espectro de absorção característico. Assim, a coloração das algas parece ser uma adaptação ao comprimento de onda prevalente da luz nas profundidades em que são encontradas no oceano. Por exemplo, Chlorophyceae são comuns em águas rasas, enquanto Rhodophyceae, nas zonas entremarés mais profundas (LOBBAN; HARRISON, 1997a; SZE, 1998).

Em cultivos sob condições controladas, as macroalgas vermelhas *Porphyra leucosticta* e *Halymenia floresii* apresentaram concentrações diferentes de ficobiliproteínas quando cultivadas sob luz de diferentes comprimentos de onda (GODÍNEZ-ORTEGA *et al.*, 2008; KORBEE; FIGUEROA; AGUILERA, 2005). A radiação também afeta a assimilação dos nutrientes diretamente através da atividade fotossintética. A limitação de nitrogênio no meio pode causar o catabolismo das ficobiliproteínas, que são consideradas reserva de nitrogênio para as algas vermelhas e azuis. Assim, esta ficobiliproteína perde sua habilidade de captar luz (AGUILERA *et al.*, 2000; FIGUEROA; AGUILERA; NIELL, 1995).

A fotoxidação da clorofila e consequente inibição da fotossíntese são ocasionadas pela elevada intensidade de radiação visível e ultravioleta. Para superar este estresse fisiológico agudo, as algas marinhas aumentam a produção de compostos antioxidantes como os carotenóides (DRING, 2006; GRAHAM; GRAHAM; WILCOX, 2009a; SAMPATH-WILEY; NEEFUS; JAHNKE, 2008).

2.2 Importância nutracêutica e funcional das algas marinhas

Mudanças na economia mundial contribuíram para a evolução dos padrões alimentares, como aumento do consumo de dietas energéticas ricas em gorduras saturadas e pobres em carboidratos. Novos padrões dietéticos, a vida sedentária, o envelhecimento da população - em conjunto com o uso do fumo e consumo de álcool das pessoas levaram a deficiências fisiológicas, culminando no aparecimento de doenças imunodepressoras, neurodegenerativas, cardiovasculares, hipertensão, *diabetes mellitus* tipo II e várias formas de câncer, responsáveis por mortes prematuras nos países recém-desenvolvidos e em desenvolvimento. As pesquisas indicam que a ingestão excessiva de calorias gera um problema crescente, conhecido como obesidade, que não só reduz a expectativa de vida, mas também prejudica sua qualidade. Esta e outras, consideradas doenças da modernidade, estão tomando o lugar das mais tradicionais preocupações de saúde pública - a subnutrição e as doenças infecciosas e, nos países em desenvolvimento a estimativa é que em 2020, sete em cada dez mortes sejam ocasionadas por essas doenças, denominadas também de doenças não transmissíveis (FAO, 2003; WHO, 2002; WHO, 2011).

Estratégias para intervenção e prevenção de tais doenças exigem a compreensão de suas fisiopatologias e dos mecanismos moleculares básicos para a prescrição de drogas e agentes profiláticos como dietas ricas em antioxidantes, extratos naturais de plantas medicinais e frutas que podem reverter seu progresso (ARUOMA, 2010). Os alimentos funcionais e nutracêuticos são reconhecidamente utilizados na promoção da saúde, conseqüentemente, na prevenção de doenças e, por conseguinte, na redução de custos com os cuidados destinados à saúde humana (SHAHIDI, 2009).

Muitas pesquisas epidemiológicas associam a redução do risco de câncer de mama com dietas ricas em vegetais, que possuem compostos bioativos com atividade antioxidante e quimiopreventiva como carotenóides provitamina A, licopeno, tocoferóis e isotiocianatos, associadas ao uso de fármacos (BESSAOUD; DAURES; GERBER, 2008; DORJGOCHOO *et al.*, 2009; THOMPSON *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2009). Existe uma relação inversa entre a ocorrência de câncer de pulmão e o consumo de frutas, legumes e verduras ricas em provitamina A. A ocorrência de lesões brônquicas em animais com metaplasia escamosa e as mudanças histológicas do epitélio brônquico de humanos e animais foram verificadas em indivíduos com deficiência em vitamina A (POULAIN *et al.*, 2009).

As algas marinhas são comprovadamente boas fontes de nutrientes, como proteínas, ácidos graxos poli-insaturados, fibras alimentares, vitaminas e minerais. Recentemente muitas pesquisas têm se concentrado nas algas marinhas e seus componentes como alimentos funcionais ou nutracêuticos devido seu potencial na promoção da saúde, principalmente atribuída à presença de vitaminas e ácidos graxos da série ω -3. Estas e outras substâncias bioativas presentes nas macroalgas marinhas reduzem o risco de diversas doenças crônicas relacionadas à idade (YAICH *et al.*, 2011; ZHENG *et al.*, 2011).

2.3 Valor nutricional das algas marinhas

As macroalgas marinhas podem ser consideradas valiosas fontes de nutrientes sendo utilizadas como alimento capazes de suplementar àqueles produzidos em terra. As rodofíceas e feofíceas são as mais usadas na alimentação humana.

Análises químicas e bioquímicas de algas “in natura” e/ou desidratadas frequentemente mostram que elas são boas fontes de importantes nutrientes (KUMAR *et al.*, 2008; PEÑA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2011). Entretanto, elas apresentam diferente composição centesimal dentro de seus *taxa* (DAWCZYNSKI; SCHUBERT; JAREIS, 2007; KUMARI *et al.* 2010).

As algas mostram grande variação no conteúdo dos nutrientes que está relacionada a vários fatores ambientais como temperatura, salinidade, luz e disponibilidade de nutrientes da água. A maioria desses parâmetros varia de acordo com a época do ano e mudanças nas condições ecológicas que podem estimular ou inibir a biossíntese de vários nutrientes (AGUILERA-MORALES *et al.*, 2005; DENIS *et al.*, 2010; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2006; MURUGAIYAN; SIVAKUMAR, 2008).

As composições nutricionais de algumas espécies de algas já foram publicadas: *Enteromorpha* spp. do México (AGUILERA-MORALES *et al.*, 2005); *Gracilaria lemaneiformis* da província de Guangdong, China (WEN *et al.*, 2006); *Laminaria* sp., *Undaria pinnatifida*, *Hizikia fusiforme* e *Porphyra* sp. da China, Japão e Coreia (DAWCZYNSKI; SCHUBERT; JAREIS, 2007); *Gracilaria changgi*, *Euचेuma cottonii*, *Caulerpa lenillifera* e *Sargassum polycystum* da Malásia (NORZIAH, CHING, 2000; MATANJUN *et al.*, 2009); *Codium fragile*, *Gracilaria chilensis* e *Macrocystis pyrifera* do Chile (ORTIZ *et al.*, 2009); *Himantothalia elongata*, *Bifurcaria bifurcata*, *Laminaria saccharina*, *Mastocarpus stellatus*, *Gigartina pistillata* e *Ulva rigida* da Espanha (GÓMEZ-

ORDÓÑEZ; JIMÉNEZ-ESCRIG; RUPÉREZ, 2010; TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2011) e *Ulva lactuca*, *U. fasciata*, *Ulvaria oxysperma*, *Laurencia filiformis*, *L. intricata*, *Gracilaria domingensis* e *G. birdiae* do Brasil (GRESSLER *et al.*, 2010; PÁDUA; FONTOURA; MATHIAS, 2004).

A proteína foi o primeiro nutriente considerado essencial para o organismo. À semelhança de gorduras e carboidratos, contêm carbono, hidrogênio e oxigênio. No entanto, é o único que possui nitrogênio junto com enxofre e alguns outros minerais como fósforo, ferro e cobalto. As proteínas são formadas pela combinação de vinte aminoácidos em diversas proporções e cumprem funções estruturais, reguladoras, de defesa e de transporte nos fluidos biológicos. Os aminoácidos essenciais devem ser fornecidos pela dieta, e sua carência provoca alterações nos processos bioquímicos e fisiológicos e na síntese proteica.

O teor de proteína nas algas marinhas varia com a espécie, época do ano e condições ambientais. Geralmente, a fração protéica nas algas pardas é mais baixa (3-26% do peso seco) do que a das algas verdes ou vermelhas (10-47% do peso seco). As feofíceas *Undaria pinnatifida* (“wakame”) e *Laminaria saccharina* (“kombu”) apresentam teores de proteína entre 11 e 26% do peso seco, enquanto *Laminaria digitata*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *Himanthalia elongata* e *Durvillaea antarctica*, também exploradas industrialmente, exibem teores proteicos inferiores a 15% do peso seco, sendo ainda consideradas boas fontes proteicas. As clorofíceas e rodofíceas apresentam teor de proteínas relativamente alto quando comparadas a outros vegetais utilizados na alimentação humana e considerados de elevado valor proteico, como a soja (33%). Em várias espécies do gênero *Ulva*, a proteína oscila entre 10 e 28% do peso seco. A fração protéica da *U. pertusa*, bastante consumida no Japão, varia de 20 a 26% do peso seco. As rodofíceas *Palmaria palmata* (“dulse”) e *Porphyra* spp. (“nori”), sob a forma desidratada, apresentam de 10 a 26% de proteína, com até 50% de aminoácidos essenciais, comparável a ovoalbumina (FLEURENCE, 1999; GALLAND-IRMOULI *et al.*, 1999; GÓMEZ-ORDÓÑEZ; JIMÉNEZ-ESCRIG; RUPÉREZ, 2010; ORTIZ *et al.*, 2006).

Marshall, Scott e Tobin (2007) determinaram o conteúdo de proteínas de onze espécies de macroalgas do Reino Unido comercialmente importantes (*Cladophora rupestris*, *Ceramium* sp., *Polysiphonia* sp., *Ulva lactuca*, *Porphyra* sp., *Dumontia contorta*, *Mastocarpus stellatus*, *Osmundea pinnatifida*, *Fucus serratus*, *Laminaria digitata* e *Corallina officinalis*). Dentre as algas analisadas o teor proteico oscilou de 6,9% em *Corallina officinalis* a 44% em *Porphyra* sp. Um monitoramento anual no conteúdo de proteínas da *Palmaria palmata* mostrou variação entre 9 e 25% do peso seco, com alto teor observado no

inverno-primavera e quantidades inferiores no verão-outono (GALLAND-IRMOULI *et al.*, 1999). Denis *et al.* (2010) encontraram resultado semelhante na macroalga vermelha *Grateloupia turuturu* que apresentou significativa variação sazonal no conteúdo proteico, diferente dos outros compostos estudados, com teor máximo observado nos meses de janeiro e fevereiro e mínimo nos meses de julho e agosto. Da mesma forma, o teor proteico da alga verde *Enteromorpha* variou de 9 a 14% do peso seco no inverno em dois anos consecutivos (AGUILERA-MORALES *et al.*, 2005). Marinho-Soriano *et al.* (2006) estudaram a variação sazonal da composição centesimal da rodofícea *Gracilaria cervicornis* e da feofícea *Sargassum vulgare* e concluíram que o conteúdo proteico foi influenciado por parâmetros ambientais.

Um fator importante na absorção das proteínas dos alimentos é a sua digestibilidade. Em geral, as proteínas de origem animal têm digestibilidade em torno de 90 a 95%, enquanto as de origem vegetal têm digestibilidade menor, variando de 50 a 75%. Ainda que a digestibilidade seja alta, uma proteína pode apresentar baixo valor nutricional, em virtude do conteúdo inadequado de aminoácidos essenciais. Espécies do gênero *Enteromorpha* possuem alta digestibilidade protéica (98%), comparada à caseína, além de apresentarem nove dos dez aminoácidos essenciais, em quantidades elevadas. Pouco ou nenhum fator antinutricional capaz de afetar a digestibilidade proteica foi encontrado (AGUILERA-MORALES *et al.*, 2005). Os compostos que limitam a digestibilidade das proteínas algais diferem de acordo com a espécie e com a variação sazonal do fator antinutricional, sendo tanto moléculas fenólicas como polissacarídeos (FLEURENCE, 1999).

A qualidade nutricional das proteínas pode ser determinada pelo tipo e quantidade dos aminoácidos constituintes. As proteínas das algas apresentam os aminoácidos essenciais, embora ocorra variação nas suas concentrações nas diferentes estações do ano.

Espécies de algas vermelhas e pardas analisadas por Dawczynski, Schubert e Jareis (2007), apresentaram todos os aminoácidos essenciais com maiores quantidades de treonina, valina, leucina e lisina. Nas algas pardas, os teores foram superiores aos das algas vermelhas. Entretanto, na maioria das algas, a maior parte da fração aminoacídica é constituída por aminoácidos não-essenciais, principalmente os ácidos aspártico e glutâmico. Nas algas pardas esses dois aminoácidos representam uma fração de 22 a 44% do total; nas algas verdes, 26 a 32%; e nas vermelhas, uma fração de 14 a 28% (FLEURENCE, 1999; GALLAND-IRMOULI *et al.*, 1999; GRESSLER *et al.*, 2010).

Matanjan *et al.* (2009) e Ortiz *et al.* (2009) encontraram os maiores teores dos aminoácidos essenciais valina e metionina nas clorofíceas *Codium fragile* e rodofícea *Gracilaria chilensis*, valores semelhantes àqueles de cereais como trigo, milho e aveia. Nas

espécies *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* e *Sargassum polycystum* os aminoácidos essenciais ocorreram em diferentes proporções, com destaque para a fenilalanina. Com relação aos não-essenciais, a predominância foi dos ácidos aspártico e glutâmico, responsáveis pelo sabor das algas (TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2011).

Os lipídios, juntamente com as proteínas e os carboidratos, são macronutrientes que desempenham funções energéticas, estruturais e hormonais no organismo, podendo ser sintetizados com exceção dos ácidos graxos essenciais e dos poli-insaturados (AGPI). Os ácidos graxos são compostos integrantes de todos os lipídios, podendo ser ácidos monocarboxílicos de cadeia hidrocarbonada saturada ou insaturada. Os ácidos graxos essenciais têm papel fundamental no crescimento normal e funcionamento adequado do organismo, em especial do sistema nervoso; além de serem precursores de prostaglandinas, tromboxanos e outros eicosanóides, importantes biorreguladores nos processos celulares. Nutricionalmente eles atuam como veículo para a absorção de vitaminas lipossolúveis. As gorduras de origem animal são, em geral, caracterizadas por apresentarem elevado conteúdo de ácidos graxos saturados. No entanto, os óleos de peixes são uma exceção a esta regra e, como aqueles de fontes vegetais, são ricos em ácidos graxos insaturados. Assim, para satisfazer as necessidades de ácidos graxos essenciais, recomenda-se o consumo de óleos de peixes e de vegetais devido ao alto conteúdo de AGPI. O consumo de peixes e vegetais, provavelmente incluindo as algas, quando comparado com dietas onívoras confere proteção contra certas moléstias. Estudos têm sugerido que um consumo maior de ácidos graxos de cadeia longa da série ω -3 na alimentação humana atua favoravelmente na prevenção e tratamento de doenças cardiovasculares. Esses ácidos têm forte ação antitrombótica e exercem efeito hipocolesterolêmico (MATANJUN *et al.*, 2009; LECERF, 2009; ORTIZ *et al.*, 2009; VIJAY-KUMAR *et al.*, 2011).

Em geral, as macroalgas apresentam baixo teor lipídico, inferior a 6% do peso seco, quando comparadas aos vegetais terrestres como a soja ou o girassol. No entanto, é importante ressaltar que a fração lipídica algal pode conter elevados níveis de AGPI (DAWCZYNSKI; SCHUBERT; JAREIS, 2007; KUMARI *et al.*, 2010; ORTIZ *et al.*, 2006), os quais são essenciais para a função celular normal. Por esta razão, os AGPI têm sido utilizados nas áreas biomédicas e nutracêutica como resultado da elucidação de seu papel biológico em determinadas doenças comuns na sociedade ocidental como a obesidade e as doenças cardiovasculares (BOCANEGRA *et al.*, 2009). Dawczynski, Schubert e Jareis (2007) e Ortiz *et al.* (2006) estudaram a composição de ácidos graxos de espécies de algas verdes, vermelhas e pardas e verificaram altos níveis de AGPI, principalmente das séries ω -3 e ω -6.

Epidemiologicamente, os AGPI ω -3 mostram efeito benéfico na prevenção de vários tipos de câncer, enquanto os ω -6 exercem importante papel fisiológico como potentes mediadores da inflamação e efeito benéfico sobre o sistema imunológico.

O teor lipídico e a variação no conteúdo dos ácidos graxos são atribuíveis a diferenças ambientais e a fatores genéticos (KUMAR *et al.*, 2008; DENIS *et al.*, 2010; KHOTIMCHENKO; YAKOVLEVA, 2005). Kumari *et al.* (2010) estudaram 27 espécies de Chlorophyta, Rhodophyta e Phaeophyta coletadas durante o período de janeiro a abril de 2008. Os teores lipídicos variaram de 0,5 a 3,5% do peso seco e, mesmo sendo reduzido, a quantidade de AGPI foi semelhante ou até superior a de vegetais terrestres. A ocorrência de importantes AGPI como os ácidos linoléico, α - e γ -linolênico, araquidônico, eicosapentaenóico (EPA) e docosahexaenóico (DHA) pode ser considerada um fator de promoção das algas marinhas como nutracêutico.

Gómez-Ordóñez, Jiménez-Escrig e Rupérez (2010) e Gressler *et al.* (2010) estudaram as macroalgas *Bifurcaria bifurcata*, *Himanthalia elongata*, *Laminaria saccharina*, *Mastocarpus stellatus*, *Gigartina pistillata*, *Gracilaria domingensis*, *G. birdae*, *Laurencia filiformis* e *L. intricata*. Contrariamente às demais espécies, cujos teores variaram de 0,3 a 1,3% do peso seco, a feofíceia *B. bifurcata* e a rodofíceia *L. filiformis* apresentaram teores lipídicos superiores a 5,6 e 6,2% do peso seco, respectivamente. Os lipídios extraídos da *B. bifurcata* possuem uma variedade de diterpenos acíclicos e altos níveis de fucosterol, terpeno e esterol, os quais também predominam nas algas pardas e, em algumas algas verdes, com atividade anticancerígena, antioxidante e antidiabética (HAM *et al.*, 2010; LEE *et al.*, 2004).

As fibras alimentares, solúveis e insolúveis, referem-se àquela parcela dos carboidratos resistente à hidrólise pelas enzimas digestivas do estômago e intestino delgado dos seres humanos e que sofre fermentação em graus variados pelos micro-organismos presentes no intestino grosso. Estas duas frações possuem funções fisiológicas e benefícios nutricionais distintos. As fibras solúveis são fermentadas pela microbiota do intestino grosso, contribuindo para a regulação e/ou o controle dos níveis de colesterol e índices glicêmicos, atuando na prevenção de síndromes metabólicas. As fibras insolúveis, por sua vez, praticamente não são fermentadas, atuando na promoção do aumento da massa fecal, o que estimula o peristaltismo e acelera o trânsito intestinal (JIMÉNEZ-ESCRIG; SÁNCHEZ-MUNIZ, 2000; TOSH; YADA, 2010).

Polissacarídeos resistentes à hidrólise pelas enzimas digestivas endógenas, as fibras alimentares, estão presentes em algas marinhas. Os teores de fibras insolúveis e

solúveis variam de 33 a 77% e de 17 a 59%, respectivamente (DAWCZYNSKI; SCHUBERT; JAREIS, 2007; DENIS *et al.*, 2010; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2006; ORTIZ *et al.*, 2009).

Nas algas verdes, a fração solúvel é constituída de amido, xilanas, mananas e polissacarídeos iônicos. Nas algas vermelhas, ela é composta, em sua maioria, de galactanas sulfatadas, como ágar e carragenanas. Nas algas pardas, os alginatos, fucanas e laminaranas predominam. Nas classes de macroalgas, a parte insolúvel é formada essencialmente por celulose (JIMÉNEZ-ESCRIG; SÁNCHEZ-MUNIZ, 2000).

As fibras de origem algal diferem química e fisicoquimicamente daquelas de plantas terrestres, podendo induzir efeitos fisiológicos diferentes como capacidade de retenção de água, adsorção de lipídios, viscosidade intrínseca e capacidade de troca iônica, podendo ser importante para o controle do peso corporal, redução do colesterol sanguíneo total e da fração lipoproteica de baixa densidade (LDL), redução da exposição do tecido entérico a substâncias carcinogênicas, mobilizando o bolo fecal e facilitando sua eliminação, como também na prevenção de doenças gastrintestinais (CARVALHO *et al.*, 2009; GÓMEZ-ORDÓÑEZ; JIMÉNEZ-ESCRIG; RUPÉREZ, 2010; MATANJUN *et al.* 2009).

Além dos macronutrientes – proteínas, lipídios e carboidratos, os seres humanos dependem de pequenas quantidades de vitaminas e íons inorgânicos, conjuntamente denominados micronutrientes. Os nutrientes inorgânicos ou minerais são indispensáveis para o funcionamento adequado das células, pois atuam como cofatores enzimáticos. Os minerais são necessários em pequenas quantidades diárias e a fonte exógena deve ser uma alimentação balanceada, constituída por alimentos variados. Em condições normais, o controle das reservas corporais dos micronutrientes é modulado principalmente pela absorção intestinal, mas também pela excreção renal ou biliar.

As algas marinhas, como os demais alimentos de origem vegetal, consistem em uma fonte natural de vitaminas e minerais para o homem (GRESSLER *et al.*, 2010). As quantidades de alguns minerais encontrados nas macroalgas marinhas são semelhantes àquelas encontradas em frutas, verduras e legumes comestíveis, enquanto certos minerais, como ferro e iodo, estão presentes em quantidades maiores (PEÑA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2011). As clorófitas do gênero *Enteromorpha* são ricas principalmente em sódio, fósforo e cálcio. Os teores de cálcio e fósforo são, respectivamente, 28 e 30 vezes maiores do que aqueles de espinafre ou qualquer legume comestível (AGUILERA-MORALES *et al.*, 2005).

A rodofíceia *Gracilaria changgi* apresenta teores moderados de ferro e cálcio e menores de zinco, cobre e cádmio. Mesmo assim, eles são superiores aos encontrados em outros vegetais (NORZIAH; CHING, 2000). Ortiz *et al.* (2009) verificaram que as espécies

Codium fragile, *Gracilaria chilensis* e *Macrocystis pyrifera* apresentaram teores elevados de sódio, ferro, iodo, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e potássio, alguns dos quais são essenciais para o bom funcionamento do corpo.

As algas marinhas possuem uma grande capacidade de absorver os minerais do ambiente onde vivem e armazená-los. O conteúdo desses minerais varia de acordo com a espécie, estação do ano, geografia do local de coleta, tempo de residência e composição química da água, fatores fisiológicos e ambientais sazonais e anuais, frescor e métodos de conservação e tipo de processamento (MARINHO-SORIANO *et al.*, 2006; MURUGAIYAN; SIVAKUMAR, 2008; RENAUD; LUONG-VAN, 2006).

2.4 Carotenóides provitamina A

Os carotenóides são moléculas com quarenta átomos de carbono, formadas por oito unidades isopreno. A cadeia poliênica, consistindo em duplas ligações conjugadas, é responsável pela cor característica destes compostos e por suas propriedades fotoquímicas. São divididos em dois grandes grupos: os carotenos que são compostos não-polares formados por carbonos e hidrogênio, e as xantofilas ou oxicarotenóides que são polares e apresentam grupos substituintes com oxigênio, como hidroxilas, grupos ceto, epoxi, metoxi e carboxi (KHOO *et al.*, 2011).

A estrutura básica dos carotenóides é resultante de modificações que ocorrem na molécula de licopeno. A ciclização de uma ou ambas as extremidades da molécula, alterações no nível de hidrogenação e adição de grupos funcionais contendo oxigênio modificam o esqueleto carbônico dando origem a sete grupos terminais diferentes (Figura 1) (BRITTON, 1995).

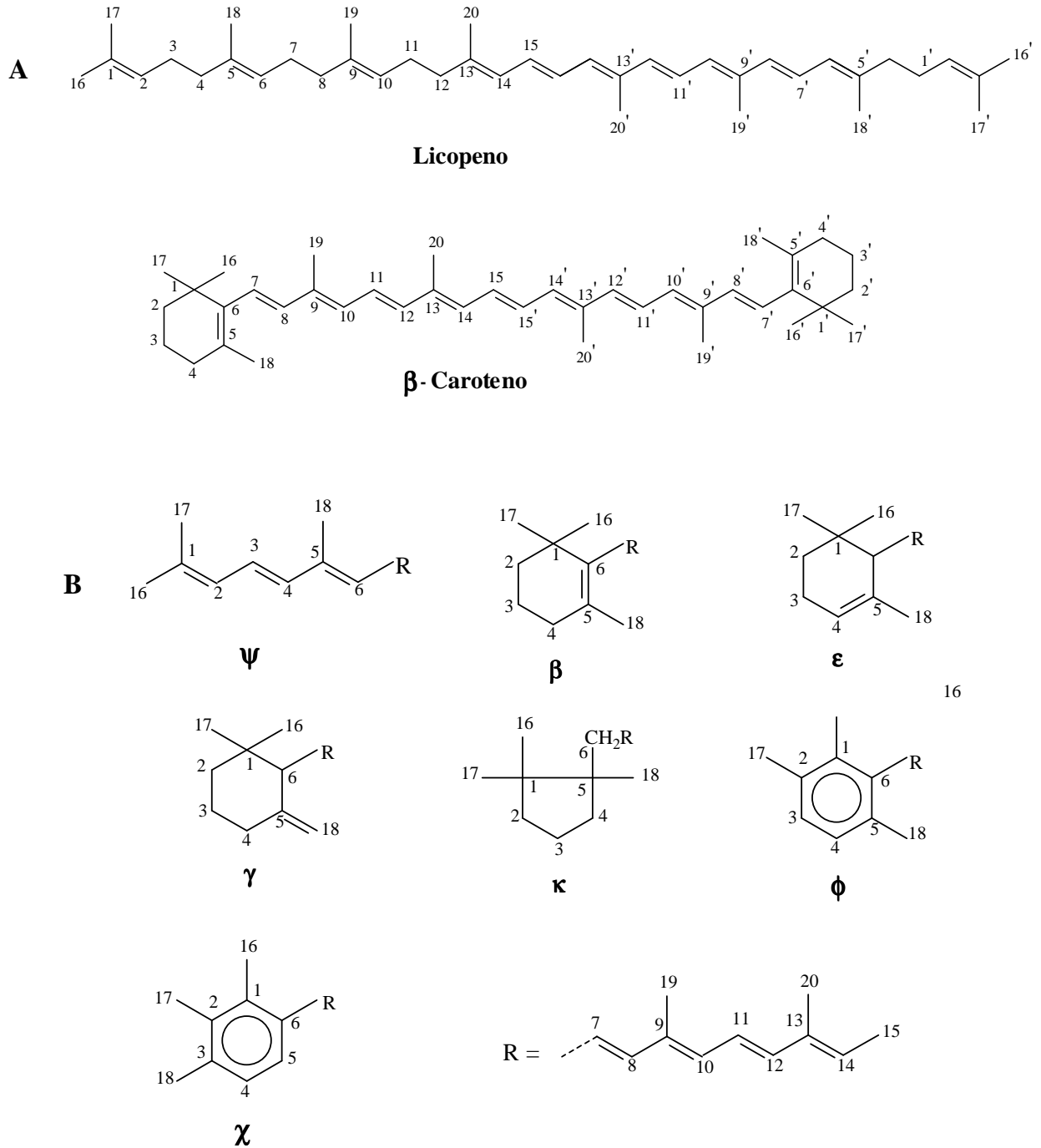


Figura 1 - Estrutura e sistema de numeração dos carotenóides (BRITTON, 1995). Carotenóide acíclico, licopeno e dicíclico, β -caroteno (A), e os sete grupos terminais de diferentes carotenóides naturais (B).

Encontrados predominantemente na forma *all-trans* em vegetais, micro-organismos e animais, mais de 750 carotenóides já foram descritos e caracterizados, com apenas cerca de cinquenta possuindo atividade provitamina A (BRITTON; LIAAEN-JENSEN; PFANDER, 2004). Vegetais, algas, bactérias e fungos são capazes de sintetizá-los, enquanto muitos animais os incorporam a partir de suas dietas, utilizando-os como

antioxidantes e/ou fonte de vitamina A (KADAM; PRABHASANKAR, 2010), que é considerada a principal função fisiológica dos carotenóides nos animais (KHOO *et al.*, 2011).

Nos organismos fotossintéticos, os carotenóides atuam como pigmentos acessórios que estão envolvidos na captação da luz e na fotoproteção, sequestrando os radicais livres, como as espécies reativas de oxigênio, capazes de causar danos aos tecidos vegetais. Praticamente todos os carotenóides presentes nas membranas fotossintéticas existem na forma de um complexo constituído de clorofila-carotenóide-proteína (HIRSCHBERG, 2001). Nas células das algas marinhas, uma das funções aparentes do β -caroteno consiste em proteger o aparelho fotossintético contra a fotoxidação e os raios ultravioleta, desencadeados por algum excesso de luz (TAKAICHI, 2011).

Nos animais, a maior parte do β -caroteno e de outros carotenóides provitamina A absorvidos são oxidados enzimaticamente, transformando-se em retinaldeído que, na mucosa intestinal, se reduz a retinol, que por sua vez se esterifica com ácidos graxos no interior das células da mucosa intestinal. Nesta forma, ele que se incorpora aos quilomícrons e é levado para o sangue, seguindo para o fígado via sistema linfático, onde se armazenará nas células de Ito (KOTAKE-NARA; NAGAO, 2011). Os carotenóides que não são convertidos em vitamina A formam um complexo com as lipoproteínas no plasma e são armazenados principalmente nos tecidos adiposo, hepático e muscular, mas também nos rins, órgãos genitais, glândulas adrenais e pele. A taxa de conversão é dependente do estado nutricional em termos de vitamina A e proteína, de modo que as quantidades de carotenóides absorvidas e metabolizadas no intestino variam entre indivíduos (OLSON, 1994; POULAIN *et al.*, 2009).

Para que um composto tenha atividade de vitamina A, é essencial que ele possua o anel β -ionona insubstituível em sua estrutura. Os principais carotenos cíclicos são β -caroteno e seus isômeros α -, γ -, δ - e ϵ -. O β -caroteno possui dois anéis β -ionona insubstituíveis e ocupa lugar de destaque do ponto de vista nutricional não só por sua alta prevalência na natureza, como também por possuir a maior atividade de provitamina A entre os carotenóides. Entretanto, α - e γ -caroteno também são provitamina A, mas sua atividade é cerca de metade daquela do β -caroteno: o α -caroteno porque tem somente um anel β -ionona, o outro anel sendo do tipo α -ionona; e o γ -caroteno porque tem uma metade semelhante ao β -caroteno e a outra ao licopeno, que não tem atividade de vitamina A, assim como a zeaxantina e a luteína, por não existir mecanismo redutor capaz de convertê-las em retinol no organismo humano (GOODWIN, 1986). Como apenas 50% dessa conversão acontecem e como no homem a absorção média é estimada em $\frac{1}{3}$ da provitamina ingerida, o aproveitamento total do β -

caroteno é considerado como $\frac{1}{6}$ daquele do retinol que é completamente absorvido. Outros carotenóides com atividade de vitamina A por possuírem apenas um anel β -ionona insubstituível (α -caroteno e β -criptoxantina) apresentam $\frac{1}{12}$ da atividade do retinol.

A quantidade recomendada de um determinado nutriente é expressa em termos de ingestão média diária em um período de tempo e considera variações individuais entre grupos de pessoas de uma população sadia. A Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 269, de 22 de setembro de 2005, trata destas necessidades (BRASIL, 2005). A Ingestão Diária Recomendada (IDR) de vitamina A para o homem adulto é de 600 μg RE. Como a vitamina A e os carotenos existem em mais de uma forma química, as quais não são igualmente ativas, é normal usar o termo retinol para se referir à vitamina A pura. Assim, a quantidade total de vitamina A presente em um alimento, seu retinol equivalente (RE), é determinado pelo teor de retinol ou substâncias químicas muito similares ao retinol, mas não tão ativas, e uma gama de carotenos de atividade variável. Os fatores de vitamina A são denominados atualmente de atividade equivalente de retinol (RAE), com 1 μg de RAE correspondendo a 1 RE ou 1 μg de retinol ou 12 μg *all-trans* β -caroteno ou 24 μg de outro carotenóide provitamina A. Embora as razões sejam arbitrárias, a lógica é a seguinte: na conversão biológica de β -caroteno em vitamina A, uma molécula de β -caroteno pode produzir duas moléculas de retinol (AMBRÓSIO; CAMPOS; FARO, 2006).

A vitamina A é importante para o crescimento, desenvolvimento, manutenção de tecidos epiteliais, reprodução, sistema imunológico e, em especial, para o funcionamento do ciclo visual na regeneração de fotorreceptores (ZHOU *et al.*, 2011). A deficiência de vitamina A causa a xerofthalmia na córnea o que estimulou a administração de suplementos dessa vitamina na dieta de crianças da Indonésia, Índia e África do Sul para reduzir a incidência da doença nutricional e diminuir a taxa de mortalidade (VÍLCHEZ *et al.*, 2011).

A inclusão de vegetais ricos em carotenóides na alimentação humana tem sido de grande importância para manter níveis adequados de vitamina A (MAMATHA, SANGEETHA, BASKARAN, 2011). Isso ocorre principalmente porque, ao contrário da vitamina A, o β -caroteno não parece causar efeitos tóxicos quando ingerido em grandes quantidades. Um indivíduo em bom estado nutricional apresenta entre 100 e 150 mg de carotenóides em seu organismo, dos quais aproximadamente 1% encontra-se disponível, circulando na corrente sanguínea (BENDICH; OLSON, 1989). A suplementação com mega doses de β -caroteno em ratos não mostraram efeitos tóxicos, além de apresentar o β -caroteno

como agente hipotensor, sugerindo que sua suplementação possa representar uma terapia alternativa ou coadjuvante na hipertensão arterial essencial humana (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Até recentemente o interesse dos pesquisadores limitava-se ao aspecto nutricional do β -caroteno como precursor de vitamina A, entretanto muitos estudos enfocaram a ação dos carotenóides como potentes antioxidantes e sequestradores de radicais livres, considerados os efeitos mais benéficos que os carotenóides fornecidos pela dieta e/ou por formulações medicamentosas podem desempenhar no organismo humano ou animal. Por esse motivo, o conceito de que eles são efetivamente saudáveis tem se popularizado. A astaxantina, por exemplo, tem capacidade 250 vezes maior do que o α -tocoferol de combater radicais livres, sendo considerado, dentre todos os carotenóides conhecidos, aquele que exibe maior atividade antioxidante (GOSWAMI; CHAUDHURI; DUTTA, 2010; KAMATH *et al.*, 2008).

Diferentes nutrientes com propriedades antioxidantes como carotenóides (licopeno, neoxantina, fucoxantina, fitoflueno, ζ -caroteno), retinóides, vitaminas A, E, C e D₃, fitoestrógenos (selênio, flavonóides), polifenóis e cálcio parecem exercer efeitos significantes e complexos sobre a regressão de vários tipos de câncer (GONZALEZ; RIBOLI, 2010). A combinação de uma dieta alimentar rica em vitaminas e carotenóides (vitamina C e β -criptoxantina) pode reduzir o risco de osteoporose em pacientes do sexo feminino na menopausa (SUGIURA *et al.*, 2011). Da mesma forma, o aumento do consumo de vitamina E e β -caroteno pode diminuir o risco de desenvolver a doença de Parkinson, por neutralizar os efeitos das espécies reativas de oxigênio, protegendo as células dos danos oxidativos (MIYAKE *et al.*, 2011).

Os carotenóides encontrados em algas marinhas apresentam distribuição diferenciada. As clorofíceas comumente contêm anteraxantina, violaxantina e neoxantina derivadas do β -caroteno (GERASIMENKO; BUSAROVA; MOISEENKO, 2010; HAUGAN; LIAAEN-JENSEN, 1994; ORTIZ *et al.*, 2009). Hegazi *et al.* (1998) detectaram dezoito pigmentos diferentes em *Caulerpa prolifera*, sendo a sifonoxantina o carotenóide predominante. Além desse, α - e β -caroteno, luteína, neoxantina e violaxantina também foram encontrados.

As rodofíceas normalmente contêm α - e β -caroteno, assim como seus derivados hidroxilados, luteína e zeaxantina, respectivamente. A maioria delas exibe grandes quantidades de carotenóides provitamina A (WEN *et al.*, 2006). O gênero *Porphyra* contém quantidades mais elevadas de β -caroteno do que os vegetais verdes e amarelos, variando de 22 a 25 mg/100 g peso seco (HAUGAN; LIAAEN-JENSEN, 1994). O teor de β -caroteno determinado em *Gracilaria changgi* e *G. chilensi* e o de α -caroteno em *Jania rubens* foram

superiores aos vegetais considerados boas fontes de provitamina A, como cenoura, abóbora, tomate, pimentão vermelho, couve, alface, mostarda, repolho e acelga. Além desses, outros carotenóides, luteína, fucoxantina e violaxantina, foram quantificados (HEGAZI *et al.*, 1998; NORZIAH; CHING, 2000; ORTIZ *et al.*, 2009).

As feofíceas contêm β -caroteno, violaxantina e fucoxantina, mas não apresentam α -caroteno. A fucoxantina ocorre em grandes quantidades nas feofíceas, sendo considerado o principal carotenóide das algas marinhas (HAUGAN *et al.*, 1995), devido à ampla distribuição e grande biomassa de algas fucóides e de *Laminaria* spp. no mundo. Em *Fucus serratus*, *F. vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *Pelvetia canaliculata*, *Laminaria digitata* e *L. saccharina*, foram identificadas fucoxantina, violaxantina e luteoxantina, como principais xantofilas e β -caroteno, como principal caroteno, além de outros carotenóides minoritários (HAUGAN; LIAAEN-JENSEN, 1994). Em *Padina pavonica*, foram detectadas fucoxantina, flavoxantina, diatoxantina, zeaxantina, violaxantina, fucoxantol e anteraxantina, sendo as quatro primeiras as mais abundantes (HEGAZI *et al.*, 1998). Em *Macrocystis pyrifera* foram quantificados luteína e β -caroteno, o qual ocorreu em maior quantidade (ORTIZ *et al.* 2009). Outros carotenóides de ocorrência menos frequente são γ - e ϵ -caroteno, α - e β -criptoxantina, linoxantina, sifonaxantina, sifoneína, taraxantina, cantaxantina, astaxantina e equinenona (HAUGAN; LIAAEN-JENSEN, 1994).

Sousa *et al.* (2008) quantificaram α - e β -caroteno em 32 espécies de algas marinhas “in natura”. As sete espécies de clorofíceas analisadas apresentaram ambos os carotenos, sendo as maiores quantidades de α -caroteno encontradas em *Caulerpa prolifera* e as de β -caroteno, em *Ulva fasciata*. Dentre as vinte espécies de rodofíceas, onze apresentaram α -caroteno, com máximo teor em *Botryocladia occidentalis*. Todas elas exibiram β -caroteno, com máximo em *Bryothamnion seaforthii*. As cinco espécies de feofíceas apresentaram β -caroteno, mas nenhuma apresentou α -caroteno. Os teores mínimo e máximo foram encontrados em *Dictyopteris delicatula* e *Padina gymnospora*, respectivamente. Além desses, outros carotenóides com propriedades mais polares, como zeaxantina e luteína, foram encontrados, mas não identificados nem quantificados, por não oferecerem importância nutricional.

Os teores de α - e β -caroteno em quatorze espécies de algas marinhas submetidas à secagem artificial foram determinados por Pires *et al.* (2008). Todas as espécies de algas verdes, vermelhas e pardas apresentaram β -caroteno. α -Caroteno foi detectado em todas as cinco clorofíceas e em apenas duas rodofíceas (*Bryothamnion triquetrum* e *Enantiocladia duperreyi*), mas em nenhuma feofíceas.

O teor de vitaminas nas diferentes espécies de algas varia com a estação do ano, com as condições do ambiente, com a salinidade da água, com o frescor e com o método de conservação (CHAKRABORTY; SANTRA; BHATTACHARYA, 2010). Os carotenóides têm comportamento semelhante ao da vitamina A e podem ser oxidados a formas inativas por ação enzimática durante a estocagem ou por exposição à luz, oxigênio e calor (KHOO, 2011).

2.5 Vitamina E

A vitamina E é o termo genérico utilizado para fazer referência a um grupo de substâncias encontradas na natureza, que possuem diferentes graus de atividade vitamínica. Pelo menos oito compostos apresentam atividade de vitamina E, distribuídos em dois grupos lipossolúveis: os tocoferóis e os tocotrienóis. Dentro de cada grupo, os membros são designados como α -, β -, γ - e δ - dependendo do número e da posição dos grupos metílicos ligados ao anel aromático polar 6-cromanol. Os tocoferóis, derivados dos tocóis, contêm uma cauda trimetiltridecil com dezesseis átomos de carbono e três centros quirais, os quais ocorrem naturalmente na configuração *RRR* nas posições 2, 4' e 8'. Os tocotrienóis, por sua vez, possuem uma cadeia lateral isoprenóide triplamente insaturada nas posições 3', 7' e 11' (Figura 2).

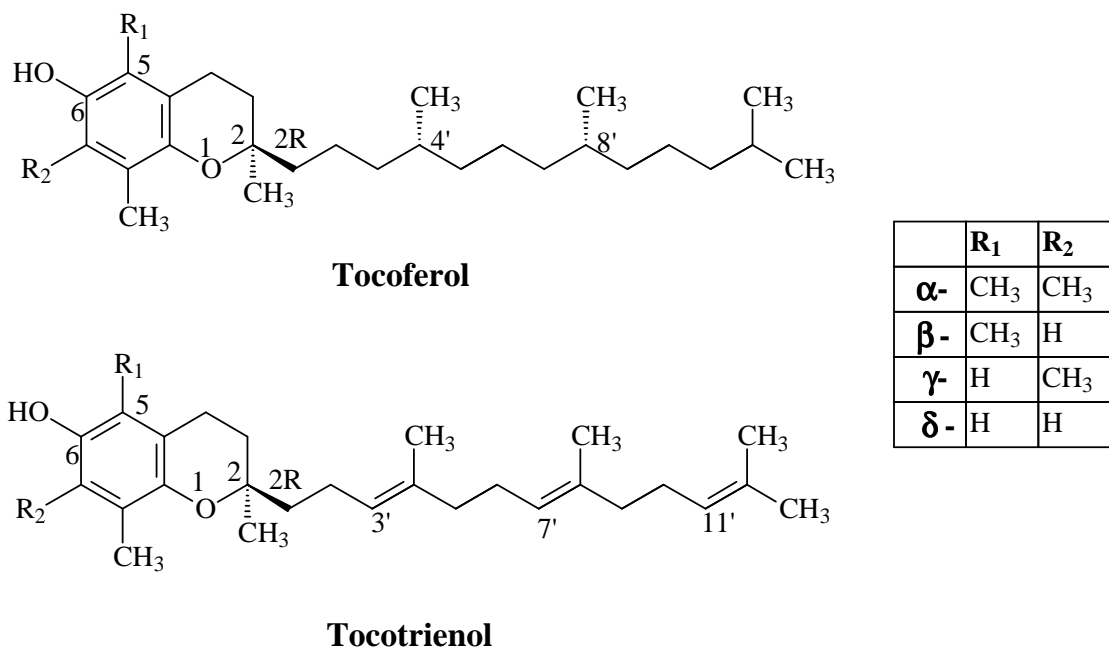


Figura 2 - Estruturas de tocoferóis e tocotrienóis.

Todos os derivados tocóis e tocotrienóis exibem atividade biológica de α -tocoferol. Os tocoferóis ocorrem como benzopiranos fenólicos com atividade antioxidante “in vivo” e “in vitro”. A atividade do α -tocoferol “in vivo” é superior a das outras espécies e cerca de dez vezes maior do que a de seu precursor imediato, o γ -tocoferol. Portanto, o valor nutricional dos tocoferóis, em termos de atividade de vitamina E, é determinado pela concentração de α -tocoferol, encontrado na natureza sob a forma de um isômero simples, enquanto o composto sintético, usado principalmente nos suplementos vitamínicos, consiste em uma mistura racêmica dos oito diferentes estereoisômeros (*all-rac- α -tocoferol*), menos eficaz do que o isômero α -tocoferol (CARETTO *et al.*, 2010; SCHNEIDER, 2005).

Os tocoferóis são sintetizados exclusivamente por organismos fotossintéticos, através da via isoprenóide (Figura 3), que foi elucidada há mais de 30 anos. A extremidade hidrofóbica do ácido homogenístico se condensa com a cadeia lateral do fitil-difosfato, formando 2-metil-6-fitil-1,4-benzoquinona, que através de uma metiltransferase origina 2,3-dimetil-5-fitil-1,4-benzoquinona. O passo seguinte envolve uma ciclização desses compostos para formar δ - e γ -tocoferol, respectivamente, os quais, por sua vez, produzem β - e α -tocoferol. Embora haja detalhes que ainda permaneçam obscuros, é inegável que houve um enorme progresso no que concerne o conhecimento sobre a síntese e o acúmulo de tocoferóis nos tecidos vegetais, cogitando-se a influência de variações sazonais e condições do meio ambiente no conteúdo desses compostos. Na última década todos os genes envolvidos em sua biossíntese foram identificados em plantas e cianobactérias (BRIGELIUS-FLOHÉ; GALLI, 2010; CAHOON *et al.*, 2003; CARETTO *et al.*, 2010; ZINGG, 2007b).

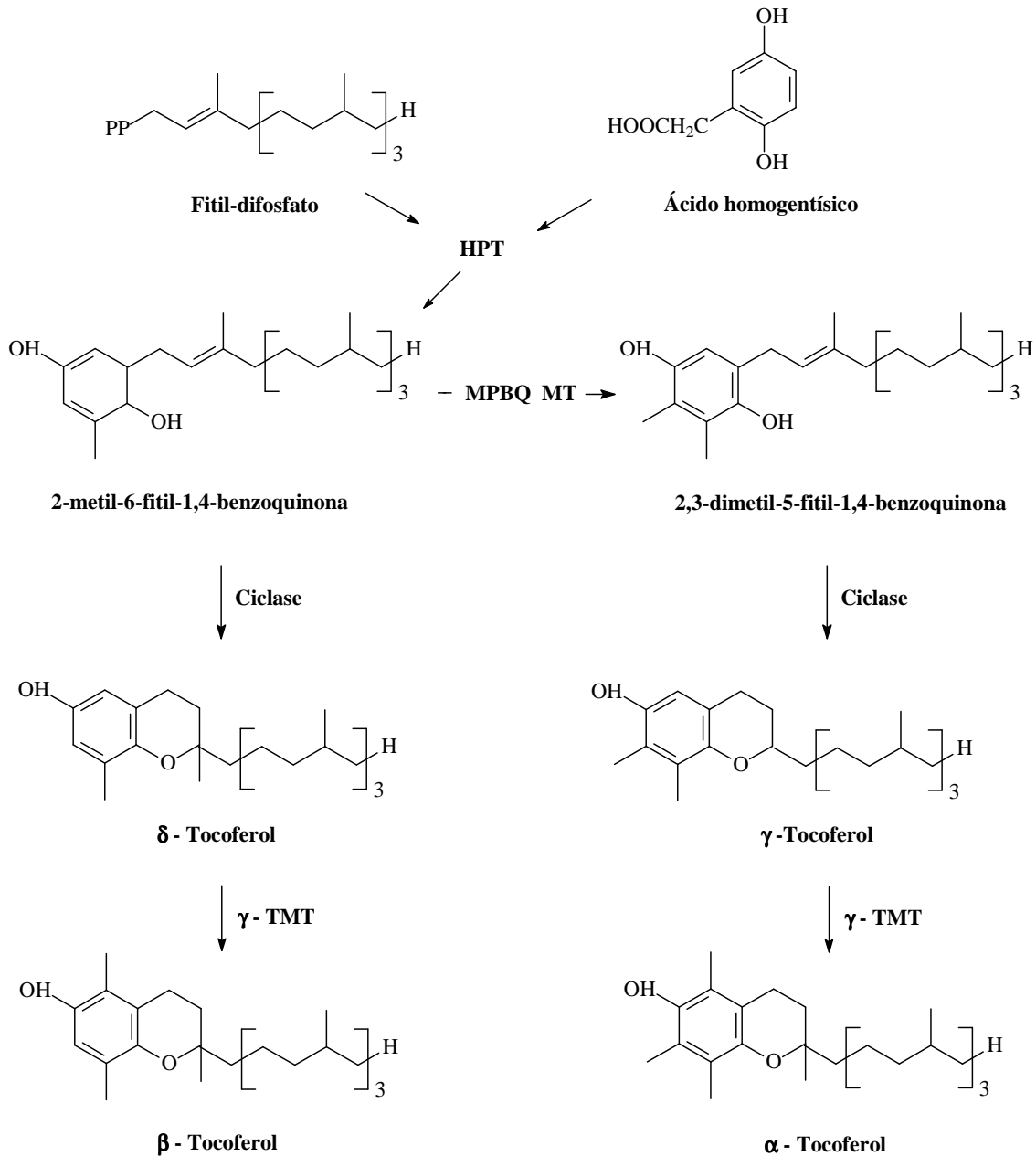


Figura 3 - Biossíntese do tocoferol em plantas. [Homogentisato fitiltransferase (HPT), Metilfitilbenzoquinona metiltransferase (MPBQ MT), tocoferol metiltransferase (TMT)] (CARETTO *et al.*, 2010).

Nos tecidos fotossintetizantes, os tocoferóis são encontrados principalmente na membrana dos cloroplastos, predominantemente como α -tocoferol. Sua elevada quantidade nestes plastídios provavelmente está relacionada com sua capacidade em remover ou capturar as espécies reativas de oxigênio e os radicais peroxi dos lipídios por meios físicos ou químicos, protegendo o aparato fotossintético da ação deletéria do oxigênio e da peroxidação lipídica (CARETTO *et al.*, 2010; MUNNE-BOSCH; ALEGRE, 2002).

Nos tecidos não-fotossintetizantes todas as formas de vitamina E possuem praticamente a mesma atividade antioxidante. No entanto, o α -tocoferol é o isômero selecionado para desempenhar essa atividade no organismo humano. É possível que isso esteja relacionado com as propriedades não-antioxidantes do α -tocoferol, que não são compartilhadas com os outros isômeros. O α -tocoferol se distribui em regiões específicas das membranas celulares, chamadas balsas lipídicas, tendo um efeito estabilizador sobre a fluidez dessas membranas, em virtude de formar complexos com ácidos graxos livres ou fosfolípidios, componentes normais da bicamada lipídica das membranas celulares, os quais naturalmente contribuiriam para a desestabilização não fosse a presença do α -tocoferol. Além outras funções não-antioxidantes, têm sido relatadas, como envolvimento nos mecanismos de regulação da sinalização celular, proliferação celular, processos de inflamação (pró ou anti-inflamatórios), modulação da atividade enzimática, regulação da expressão gênica e inibição da apoptose celular (ATKINSON; EPAND; EPAND, 2008; BRIGELIUS-FLOHÉ, 2009; LEMAIRE-EWING *et al.*, 2010; ZINGG, 2007a).

No organismo humano, a absorção dos tocoferóis é seletiva, sendo feita predominantemente na forma de α -tocoferol. As outras formas naturais de vitamina E, ou não são absorvidas ou o são apenas em pequenas proporções, não contribuindo para a atividade vitamínica por não serem convertidas em α -tocoferol (LEMAIRE-EWING *et al.*, 2010; SCHNEIDER, 2005; TRABER; ATKINSON, 2007).

Os mecanismos de ação e o potencial metabólico têm sido estudados desde a descoberta da vitamina E em 1922, porém o verdadeiro papel deste micronutriente essencial ainda permanece enigmático (BRIGELIUS-FLOHÉ; GALLI, 2010). A distribuição e o metabolismo das isoformas após sua absorção regulam o teor de vitamina E nos tecidos humanos. Essas diferenças podem exercer importante papel na capacidade de uma isoforma funcionar como agente químico preventivo, considerando que a adequada liberação ao tecido-alvo é crítica para uma quimioprevenção eficiente (CAMPBELL *et al.*, 2003; BRIGELIUS-FLOHÉ; GALLI, 2010).

A vitamina E, em contraste com outras vitaminas lipofílicas, não é tóxica nem mesmo quando altas doses são administradas através de suplementos. Parte do α -tocoferol ingerido na dieta não é absorvido pelo organismo humano, sendo eliminado através das fezes e urina. Os metabólitos excretados pertencem a dois grupos: o primeiro grupo inclui α -tocoferilquinona, ácido α -tocoferônico e α -tocoferonolactona (α -TL), que aparecem como resultado da quebra do anel cromanol do α -tocoferol; enquanto o segundo grupo inclui os

compostos resultantes de sucessivos encurtamentos da cadeia lateral fitil, envolvendo ω -hidroxilação e β -oxidação, como α -carboximetil-butil-hidroxicromano e α -carboxi-etil-hidroxicromano (α -CEHC). Os dois principais metabólitos urinários são α -CEHC e α -TL, porém ainda existem dúvidas se o α -TL é um artefato da oxidação do α -CEHC (BRIGELIUS-FLOHÉ, 2009; BRIGELIUS-FLOHÉ; GALLI, 2010; SHARMA *et al.*, 2010). Outros estudos também mostram que altas dosagens de α -tocoferol e seus isômeros são eliminados como xenobióticos, mas algumas vias de excreção ainda são desconhecidas (LEMAIRE-EWING *et al.*, 2010).

A vitamina E apresenta importante papel na manutenção da função neurológica normal. Suplementos desse micronutriente, administrados em doses terapêuticas de 10^2 a 10^3 Unidades Internacionais (UI), têm sido associados à ação anti-inflamatória, à redução dos riscos de doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer e retardamento de vários processos de doenças degenerativas associadas ao envelhecimento, como catarata, artrite e desordens do sistema nervoso (NESARETNAM *et al.*, 2008; REITER; JIANG; CHRISTEN, 2007). Segundo Ferry e Roussel (2011) e Wang *et al.* (2011), o uso de suplementos de vitamina E em longo prazo pode preservar a função imune cuja perda está relacionada à idade, retardar o aparecimento de doenças neurodegenerativas como a esclerose lateral amiotrófica, além de atenuar o declínio cognitivo provocado pela doença de Alzheimer.

As melhores fontes de vitamina E são os óleos vegetais e as sementes. Verduras e legumes como espinafre, alface, brócolis, aspargo, cenoura, tomates, pimentão e batata doce, além das frutas abacate, kiwi, maçã, uva, tangerina, ameixa, pêssego, jenipapo, buriti, açaí, melancia e melão, dos grãos integrais e dos produtos de origem animal como gema de ovo, carne de gado e pescado são considerados boas fontes de tocoferóis (CHAROENSIRI *et al.*, 2009; CHUN *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2010; KIM; GIRAUD; DRISKELL, 2007).

A Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 269 de 22 de setembro de 2005 trata das necessidades dos valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de vitaminas a serem utilizados como parâmetro de ingestão de nutrientes por indivíduos adultos acatando as diretrizes da Política Nacional de Alimentação e Nutrição sobre o controle dos distúrbios nutricionais e doenças associadas à alimentação e nutrição. Ela estabelece que a IDR para a vitamina E (tocoferóis) é 10 mg α -tocoferol equivalente (α -TE). É importante lembrar que 1 α -TE é igual a 1 mg de d- α -tocoferol que corresponde a 1,49 UI (BRASIL, 2005).

Embora a vitamina E seja termoestável na ausência de oxigênio, ela se oxida lentamente por ação do oxigênio atmosférico, ação essa acelerada pela exposição à luz, calor,

álcalis, gorduras rançosas e presença de íons metálicos. A perda de tocoferol é natural e mínima durante o armazenamento dos óleos vegetais (ARORA; BAGORIA; KUMAR, 2010). Os alimentos submetidos a processamentos, domésticos ou industriais, continuam sendo boas fontes de α -tocoferol (CHUN *et al.*, 2006). Por exemplo, na planta usada como componente de saladas e sopas, da família Vitaceae *Cyphostemma digitatum*, o teor de vitamina E foi maior após o processamento, tendo em vista que a desnaturação das proteínas e a quebra da parede celular favoreceram a extração da fração lipídica (AL-DUAIS *et al.*, 2009).

Poucos trabalhos têm abordado a ocorrência de vitamina E em algas marinhas (JENSEN, 1969a; LETUTOR *et al.*, 1998; MIYASHITA; TAKAGI, 1987; ORTIZ *et al.*, 2006; PIRES *et al.*, 2008; PIRES-CAVALCANTE *et al.*, 2011; SAKER-SAMPAIO, 1997; SOUSA *et al.*, 2008; TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2011).

Além de suas propriedades tecnológicas, as algas marinhas apresentam propriedades nutricionais originais e interessantes. Entretanto, muitas pesquisas ainda são necessárias para se estabelecer seu valor nutricional, as quais podem ser consideradas uma fonte subexplorada de moléculas benéficas à saúde humana e com aplicação nas indústrias alimentícia, farmacêutica e nutracêutica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Macroalgas

As macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* pertencem ao domínio Eucaryota, reino Plantae, subreino Viridiaeplantae, divisão Chlorophyta, classe Ulvophyceae, ordem Ulvales, família Ulvaceae e gênero *Ulva* (ALGAEBASE, 2011). As espécies *U. fasciata* e *U. lactuca* foram coletadas mensalmente na Praia do Pacheco, Caucaia – CE, de janeiro a dezembro de 2007 durante as marés de sizígia. No momento da coleta, aspectos como coloração, tamanho e distribuição das algas no ambiente em termos de quantidade foram observados. Além dessas observações, informações sobre a intensidade de radiação solar foram obtidas junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), relativa ao posto de coleta mais próximo da Praia do Pacheco, que é a estação de Caucaia.

No laboratório, as plantas foram lavadas em água corrente para remoção de impurezas e epífitas macroscópicas, sendo, em seguida, colocadas sobre papel absorvente para drenar o excesso de água. Em seguida, elas foram divididas em duas porções de aproximadamente 100 g cada. A primeira porção foi guardada separadamente em sacos plásticos fechados e etiquetados e estocadas a -20°C até o momento das análises. A segunda porção foi desidratada em estufa a 40°C por 15 horas e após a secagem o material desidratado foi armazenado em recipientes hermeticamente fechados e protegidos da luz até o momento das análises.

Para preparar os extratos, as algas “in natura” foram cortadas manualmente em pequenos pedaços e maceradas em gral de aço inoxidável com auxílio de nitrogênio líquido, e as algas desidratadas foram trituradas em um triturador doméstico (Braun, modelo KSM 2 B), imediatamente antes das análises, em ambos os casos, para a obtenção de um pó fino ou farinha. As algas desidratadas foram usadas para a determinação da composição química, carotenóides e tocoferóis, enquanto que as algas “in natura” foram utilizadas somente para a determinação de carotenóides e tocoferóis.

3.1.2 Reagentes

Os reagentes usados nas análises da composição química foram grau Pro Analysis (P.A.), obtidos da Vetec e Dinâmica, Brasil: *n*-hexano, sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), selênio metálico, ácido sulfúrico (H_2SO_4), fosfato de sódio dibásico ($Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$), salicilato de sódio ($C_7H_5O_3Na$), nitroprussiato de sódio ($Na_2Fe(CN)_5NO \cdot 2H_2O$), tartarato de sódio dibásico ($Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$), hipoclorito de sódio 5,25% e sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$).

Os padrões comerciais de β -caroteno tipo I all *trans*, sintético aproximadamente 95% (C-9750), (\pm)- α -tocoferol sintético $\geq 96\%$ (T-3251) e (+)- δ -tocoferol $\geq 90\%$ (T-2028) foram obtidos da Sigma, Estados Unidos.

Na preparação dos padrões comerciais e nas análises cromatográficas foram usados hidróxido de potássio (KOH) da Merck, Alemanha, e os solventes: metanol (MeOH), *n*-hexano e tetrahidrofurano (THF), grau CLAE, da OmniSolv Merck, Alemanha.

Todas as soluções foram preparadas utilizando-se água ultrapura, obtida através do sistema Milli-Q (Millipore, Estados Unidos).

3.2 Métodos

3.2.1 Composição química

3.2.1.1 Determinação de proteínas totais

A proteína total foi determinada pelo método micro-Kjeldahl. Balões contendo 0,02 g de farinha de alga, 1,5 mL de H_2SO_4 concentrado e 1,1 g de mistura catalítica, constituída de K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ e selênio metálico foram levados para o digestor por 5 h para ocorrer a mineralização, em que todo o nitrogênio orgânico foi convertido em (NH_4^+) amônio (AOAC, 2000). Em seguida, o material digerido foi transferido para balões volumétricos de 100 mL, cujos volumes foram completados com água Milli-Q. A determinação do íon (NH_4^+) foi feita através do ensaio colorimétrico em espectrofotômetro

(Ultrospec 2100 pro, Amersham Biosciences) com leitura da absorbância em 650 nm, conforme descrito por Baethgen e Alley (1989).

Uma curva padrão, em que 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 μL corresponderam de 2,544 a 12,720 μg de nitrogênio mL^{-1} , foi preparada usando-se uma solução padrão de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ de modo que cada 1 mL tivesse 254,4 μg de nitrogênio. O fator dessa curva foi 7,42 (Figura 4), usado no cálculo da quantidade de nitrogênio presente nas amostras, que foi multiplicada por 6,25 para conversão do nitrogênio em proteína total (KUMAR *et al.*, 2011; TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2010).

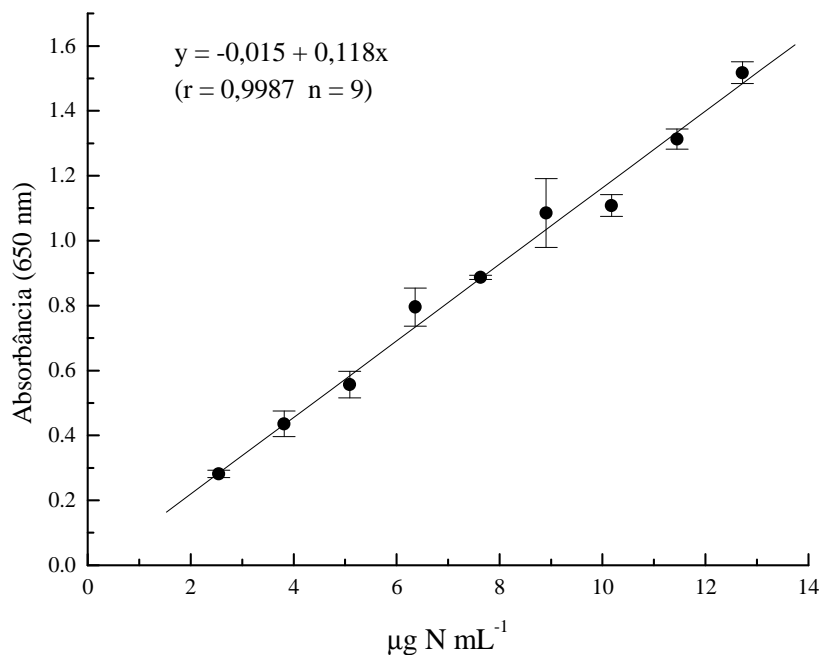


Figura 4 – Curva padrão do sulfato de amônio usado na quantificação de proteína total. Solução padrão de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ de 10 a 50 μL que corresponderam de 2,544 a 12,720 μg de nitrogênio mL^{-1} .

3.2.1.2 Determinação de lipídios totais

O teor de lipídios totais foi determinado de acordo com a metodologia da AOAC (2000). Amostras de 3 g de farinha de alga foram pesadas e depositadas em cartuchos de papel de filtro, os quais foram transferidos para um sistema de determinação de gordura (TECNAL - TE 044-8/50). A extração foi feita continuamente por 5 h a 96°C utilizando-se

n-hexano, como solvente. Em seguida, o solvente foi evaporado em estufa durante 16 h, e o teor de gordura calculado por diferença de peso.

3.2.1.3 Determinação de cinzas totais

As cinzas totais foram determinadas segundo Pregnotatto e Pregnotatto (1985). Foram pesados 0,5 g de farinha de alga em cadinhos de porcelana, levados ao forno mufla à temperatura de 550°C por um período de 4 h. O teor de cinzas foi determinado pela diferença entre os pesos inicial e final.

3.2.1.4 Determinação de carboidratos totais

O teor de carboidratos foi calculado pela diferença de 100% e a soma das porcentagens de proteínas, lipídios e cinzas (CARVALHO *et al.*, 2009).

3.2.2 Determinação de carotenóides (α - e β -caroteno) e tocoferóis (α - e δ -tocoferol) por CLAE (cromatografia líquida de alta eficiência)

3.2.2.1 Curva padrão de β -caroteno, α - e δ -tocoferol

A relação entre a área do pico e a quantidade de β -caroteno aplicado na coluna foi estabelecida para o padrão de β -caroteno submetido à saponificação e à partição. Tendo em vista a existência de correlação linear entre área do pico e quantidade (0,05 a 0,65 μ g) de β -caroteno na coluna ($p < 0,05$) (Figura 5), sua quantificação nas amostras de algas foi possível.

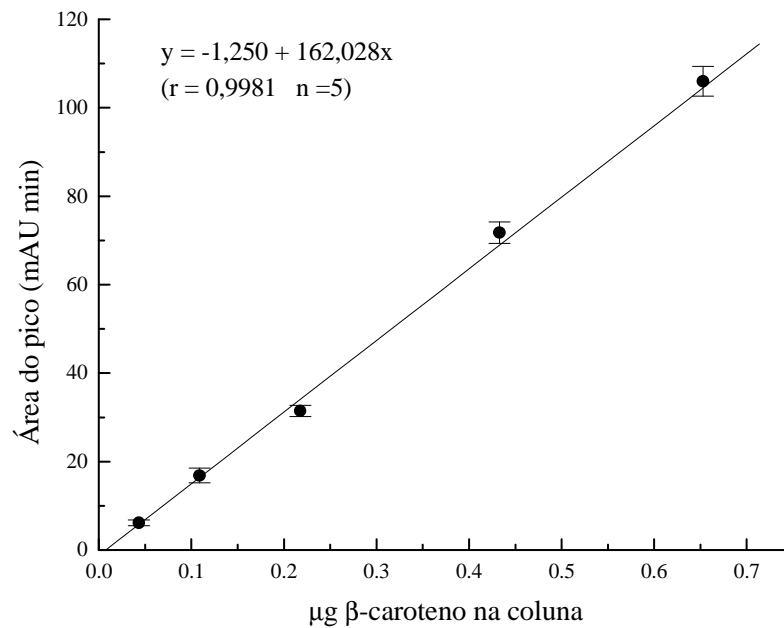


Figura 5 – Curva padrão do β -caroteno (C-9750) (Sigma).

Injeção de 0,05 a 0,65 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min^{-1} e detecção em 450 nm.

A concentração de α -caroteno nos extratos das algas analisadas foi calculada com base na solução padrão de β -caroteno. O uso do β -caroteno como padrão para a quantificação de α -caroteno é válida porque as áreas dos picos correspondentes a 10 μg de α -caroteno e 10 μg de β -caroteno não apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p \geq 0,05$) (SAKER-SAMPAIO, 1997).

De forma idêntica, a relação entre a área do pico e as quantidades de α - e δ -tocoferol aplicadas na coluna foi estabelecida para os padrões de α - e δ -tocoferol submetidos aos processos de saponificação e partição. A existência de correlação linear entre a área do pico e a concentração de α -tocoferol (Figura 6) ($p < 0,05$) e entre a área do pico e a concentração de δ -tocoferol (Figura 7) ($p < 0,05$), nos intervalos de 2 a 20 μg na coluna e 0,2 a 10 μg na coluna, respectivamente, possibilitou a quantificação destes isômeros nos extratos algais.

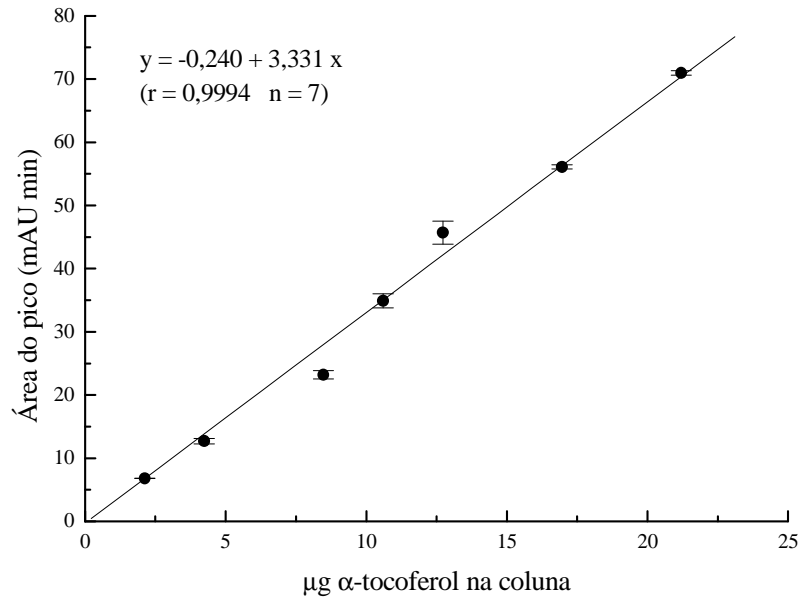


Figura 6 – Curva padrão do α-tocoferol (T-3251) (Sigma).

Injeção de 2,0 a 20,0 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 292 nm.

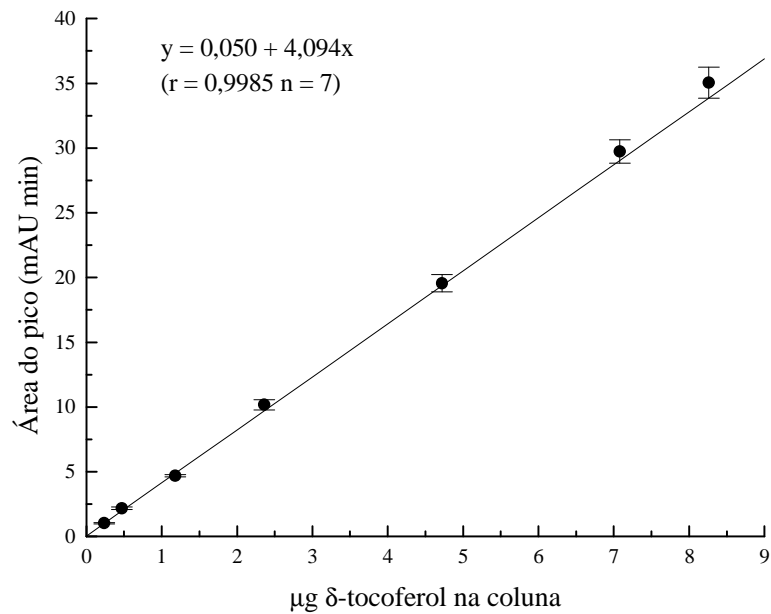


Figura 7 – Curva padrão do δ-tocoferol (T-2028) (Sigma).

Injeção de 0,2 a 10,0 μg em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 292 nm.

3.2.2.2 Preparação dos extratos, saponificação e partição

Porções de alga “in natura” e desidratada foram pesadas, em triplicata, acrescentadas a 10 mL de MeOH-H₂O (90:10, v/v), contendo 7% KOH, e saponificadas em banho-maria a 70°C por 30 minutos.

Depois de resfriados à temperatura ambiente, os extratos saponificados foram submetidos à partição em *n*-hexano. Alíquotas de 1 mL da fase hexânica foram transferidas para tubos de ensaio e, em seguida, o solvente foi evaporado. O resíduo foi então suspenso em 1 mL da fase móvel no momento da análise cromatográfica.

Diariamente, as soluções padrão de β -caroteno, α - e δ -tocoferol (1 mg mL⁻¹) foram preparadas em THF e diluídas em MeOH. Estas soluções corresponderam a aproximadamente 0,5 μ g de β -caroteno e 5 μ g de α - e δ -tocoferol, injetados na coluna. A concentração verdadeira da solução padrão de β -caroteno foi determinada a partir de sua absorvância em 450 nm, sendo sua capacidade de absorção de luz considerada igual a 0,2540 μ g⁻¹ mL⁻¹ (SPECIFICATIONS AND CRITERIA FOR BIOCHEMICAL COMPOUNDS, 1972).

As soluções padrão de β -caroteno, α - e δ -tocoferol foram submetidas aos processos de saponificação e partição separadamente e em combinação com o material algal. Este procedimento assegura a detecção dos compostos de interesse onde eles foram adicionados intencionalmente.

3.2.2.3 Método cromatográfico e cálculo dos teores de α - e β -caroteno e de α - e δ -tocoferol nas macroalgas marinhas *Ulva fasciata* e *U. lactuca*

O sistema cromatográfico consistiu em uma coluna Waters Spherisorb S5 ODS 2 e uma fase móvel constituída MeOH:THF (95:5, v/v), com fluxo de 1,5 mL min⁻¹, usando uma bomba (AKTAbasic 10 P-900). Alíquotas de 100 μ L do resíduo suspenso em MeOH foram injetadas manualmente usando um injetor Rheodyne 7210 (Hamilton Co.). O monitor (AKTAbasic UV-900) foi ajustado em 450 nm e 292 nm, para a leitura simultânea de α - e β -

caroteno, e de α - e δ -tocoferol, respectivamente. Os cromatogramas foram registrados através do sistema de controle UnicornTM, versão 5.0.

Os teores dos carotenóides provitamina A e dos tocoferóis foram determinados nos extratos das algas “in natura” e desidratadas. As algas e os padrões foram submetidos aos processos de saponificação e partição de forma idêntica considerando volume de reagentes e alíquotas transferidas entre etapas do procedimento.

O cálculo foi procedido usando-se as áreas dos picos obtidos para os padrões e as áreas dos picos dos compostos presentes nos extratos de alga com mesmo tempo de retenção. A fórmula abaixo foi utilizada para os cálculos dos teores de α - e β -caroteno e de α - e δ -tocoferol, expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco ou peso seco, de acordo com os extratos terem sido preparados com alga “in natura” ou desidratada, respectivamente.

$$\mu\text{g g}^{-1} = \frac{\text{área amostra}}{\text{área padrão}} \times \mu\text{g padrão} \times 50 \times \frac{1 \text{ g}}{\text{peso alga (g)}}$$

Os teores de retinol equivalente (RE) e α -tocoferol equivalente (α -TE) foram calculados considerando as informações da RDC nº 269 de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), e usados para classificar as algas em fontes excelentes ou úteis de acordo com a porção suficiente para fornecer $1/2$ ou $1/6$ da IDR, respectivamente (RICHARDSON, 1990).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspectos das macroalgas coletadas quanto à coloração, tamanho e biomassa

As amostras de *U. fasciata* e *U. lactuca* coletadas mensalmente apresentaram algumas características interessantes, relativas ao tamanho das plantas e a sua coloração. Os menores exemplares de ambas as espécies foram coletados nos meses de março, abril e maio, fazendo com que essas fossem consideradas as plantas mais jovens. Nos outros meses as plantas eram maiores e foram consideradas adultas. Os exemplares apresentaram coloração diferenciada em quatro nuances de verde. Em janeiro e fevereiro, as plantas apresentaram cor verde-escuro, de março a setembro, verde-claro, em outubro e novembro, verde muito claro, e em dezembro, verde muito escuro. Para demonstrar estas diferenças, exemplares de *U. fasciata* e *U. lactuca* estão apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

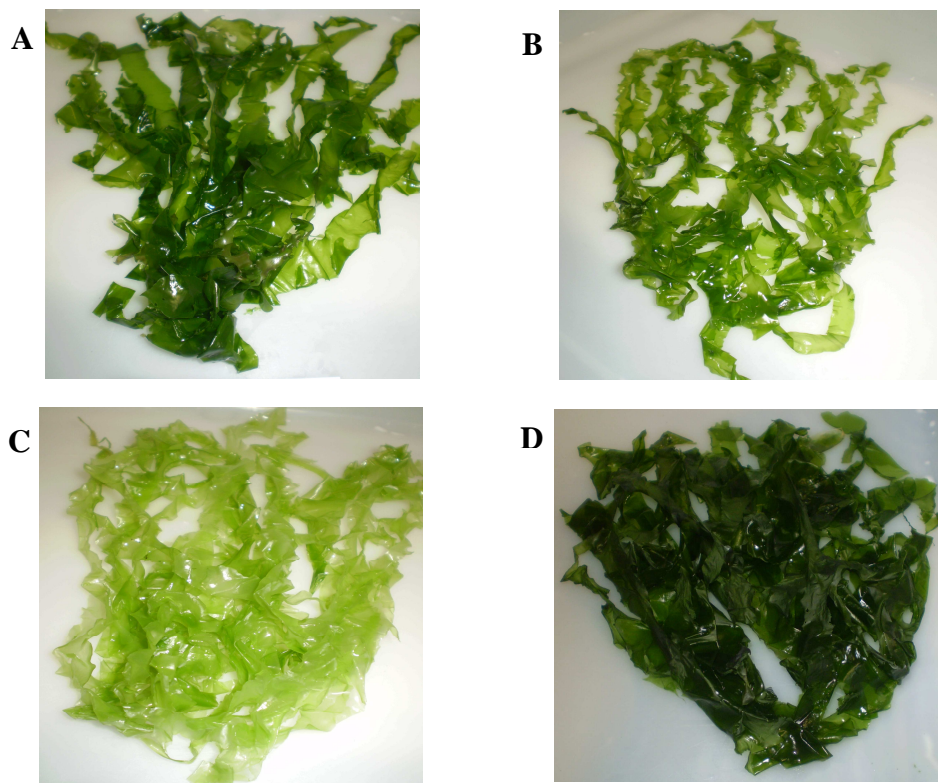


Figura 8 - Macroalga marinha verde *Ulva fasciata* coletada nos meses de janeiro (A), setembro (B), novembro (C) e dezembro (D), na Praia do Pacheco, Caucaia-Ceará, no ano de 2007.

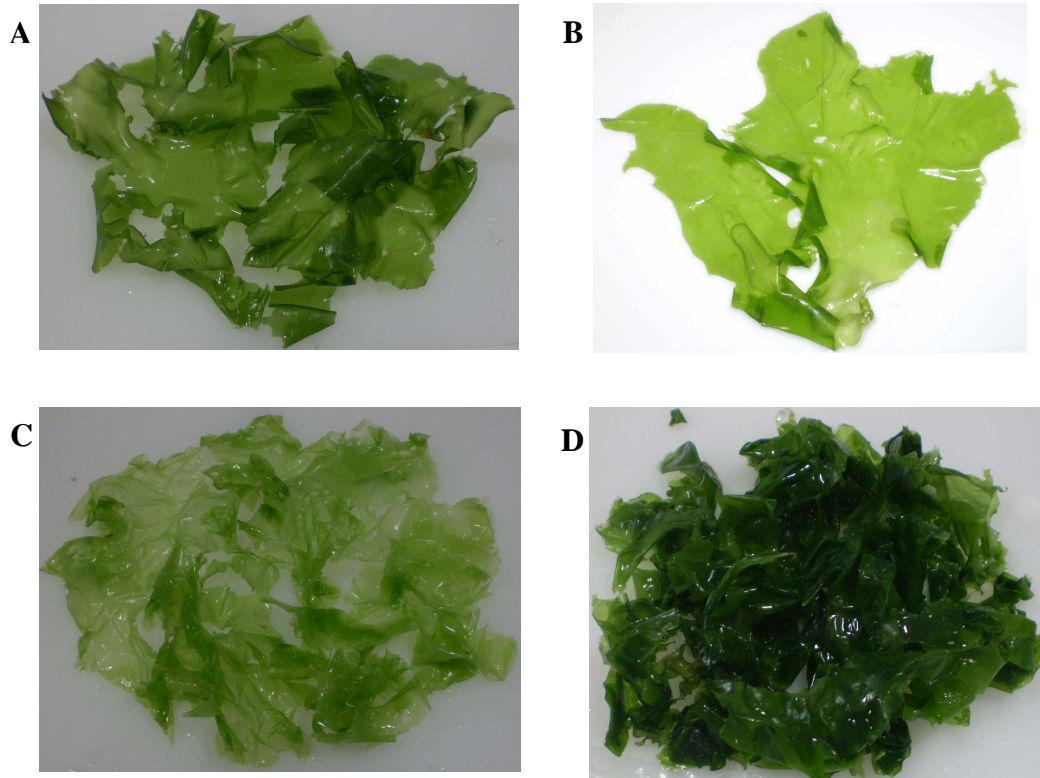


Figura 9 - Macroalga marinha verde *Ulva lactuca* coletada nos meses de fevereiro (A), agosto (B), novembro (C) e dezembro (D), na Praia do Pacheco, Caucaia-Ceará, no ano de 2007.

Além do aspecto externo, a biomassa dessas espécies também variou ao longo dos meses de coleta, com menor abundância aparente nos meses de março, abril e maio e maior, nos demais meses do ano.

4.2 Composição química

Os resultados das análises de composição centesimal de *U. fasciata* e *U. lactuca* estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Composição química da macroalga marinha verde *Ulva fasciata*, desidratada a 40°C por 15 h, coletada na Praia do Pacheco, Caucaia-CE, no ano de 2007

Meses	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)
Jan	16,30 ± 0,96	0,23 ± 0,05	7,39 ± 0,15	76,08
Fev	17,98 ± 0,65	0,33 ± 0,00	7,82 ± 0,10	73,86
Mar	21,00 ± 1,39	-	7,90 ± 0,15	-
Abr	17,33 ± 0,81	-	8,10 ± 0,31	-
Mai	16,64 ± 0,43	-	7,16 ± 0,35	-
Jun	13,79 ± 1,00	0,17 ± 0,03	6,69 ± 0,68	79,35
Jul	19,65 ± 1,30	0,20 ± 0,04	7,24 ± 0,88	72,90
Ago	12,65 ± 0,42	0,30 ± 0,01	7,75 ± 0,24	79,31
Set	14,48 ± 0,14	0,23 ± 0,05	7,26 ± 0,24	78,02
Out	7,64 ± 0,44	0,19 ± 0,00	8,11 ± 0,30	84,07
Nov	4,33 ± 0,69	0,19 ± 0,06	7,82 ± 0,58	87,66
Dez	14,93 ± 0,82	0,07 ± 0,00	8,13 ± 0,06	76,86

- Análise não executada por falta de material algal.

Tabela 2 - Composição química da macroalga marinha verde *Ulva lactuca*, desidratada a 40°C por 15 h, coletada na Praia do Pacheco, Caucaia-CE, no ano de 2007

Meses	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)
Jan	13,45 ± 0,07	0,23 ± 0,00	9,10 ± 0,01	77,22
Fev	16,16 ± 1,34	0,19 ± 0,05	7,95 ± 0,20	75,70
Mar	14,47 ± 0,95	-	7,38 ± 0,24	-
Abr	14,21 ± 1,04	-	8,99 ± 0,30	-
Mai	14,84 ± 0,23	-	7,89 ± 0,17	-
Jun	10,41 ± 0,30	-	9,40 ± 0,22	-
Jul	*	*	*	*
Ago	13,10 ± 0,65	-	8,20 ± 0,00	-
Set	11,12 ± 2,15	0,10 ± 0,00	7,98 ± 0,04	80,79
Out	6,93 ± 0,36	0,14 ± 0,01	9,10 ± 0,41	83,83
Nov	4,92 ± 0,92	0,05 ± 0,00	8,51 ± 0,14	86,52
Dez	13,24 ± 1,48	0,04 ± 0,03	8,12 ± 0,10	78,60

- Análise não executada por falta de material algal.

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

4.2.1 Quantidade de proteína total

Os teores de proteína total em *U. fasciata* (Tabela 1, Figura 10A) e *U. lactuca* (Tabela 2, Figura 10B) variaram ao longo do ano. De um modo geral, em dez das doze amostras das duas espécies analisadas estes valores foram superiores a 10%, mas nunca excederam 25%, com mínimos registrados em outubro e novembro, entre aproximadamente 4 e 8%.

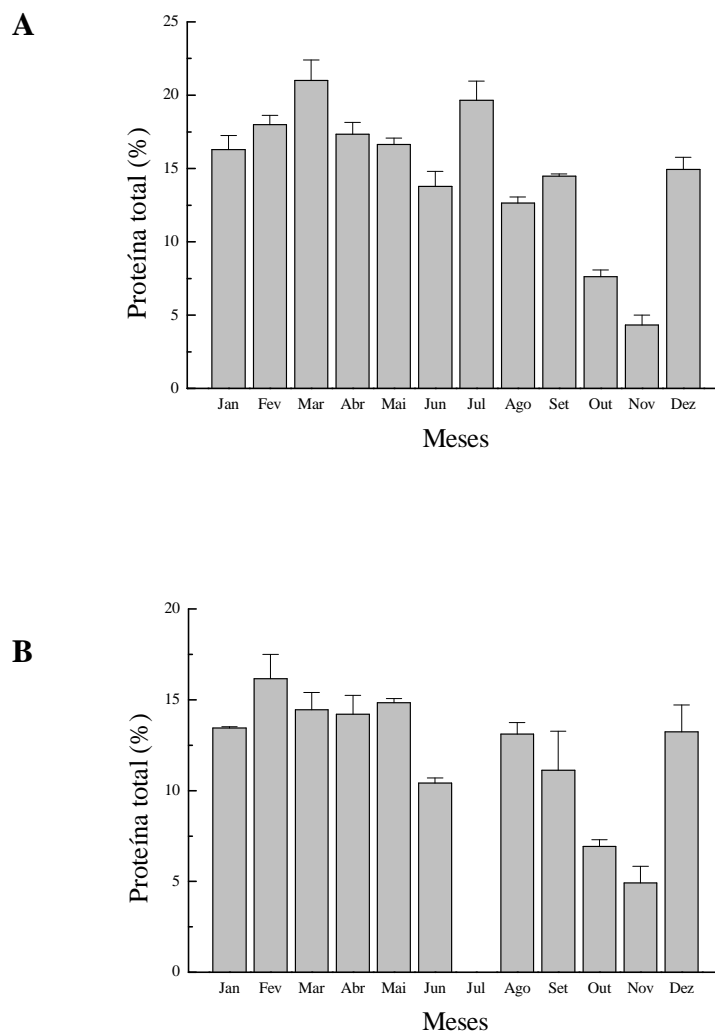


Figura 10 – Teores de proteína total nas macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* (A) e *U. lactuca* (B), desidratadas a 40°C por 15 h, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE no ano de 2007.

Algumas espécies de clorófitas do gênero *Ulva*, coletadas em diferentes localidades, foram estudadas quanto ao valor nutricional. Todos os resultados apresentados a

seguir se referem a valores percentuais calculados com base no peso seco, exceto quando outra referência for explicitada.

Os teores de proteína em *U. fasciata* e *U. lactuca* coletadas em duas regiões do litoral do Paraná, Brasil foram 14,7 e 16,8%, respectivamente (PÁDUA; FONTOURA; MATHIAS, 2004). Chakraborty e Santra (2008), Rohani-Ghadikolaei, Abdulalian e Ng (2011) e Marsham, Scott e Tobin (2007) analisaram amostras de *U. lactuca* de Sunderban, Índia, do Golfo Pérsico, Irã e de North Yorkshire, Reino Unido e encontraram teores proteicos de 8,44; 17,1 e 29%, respectivamente. Hong, Hien e Son (2007) e Manivannan *et al.* (2009) analisaram *U. reticulata* e encontraram teores proteicos de 9,8 e 13,47%, respectivamente. Conhecida como “ao-nori” e frequentemente consumida no Japão e outros países do Oriente, a espécie *U. pertusa* possui entre 20 e 26% de proteína (FUJIWARA-ARASAKI; MINO; KURODA, 1984). Em amostras de *U. rigida* coletadas na Província do Cabo Oriental, na África do Sul (FOSTER; HODGSON, 1998) e na Espanha (TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2010; TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2011), os teores de proteínas totais foram de 6,4 e 17,8%, respectivamente. Já em *U. compressa* Patarra *et al.* (2011) encontraram 26,6% de proteína total.

Outras espécies de clorófitas também foram analisadas quanto ao teor de proteína. Renaud e Luong-Van (2006) encontraram teores médios inferiores a 4% em *Halimeda opuntia* e *Neomeris van-bosseae*, enquanto em *Cladophora rupestris* foi de aproximadamente 30% do peso seco (MARSHAM; SCOTT; TOBIN, 2007).

Algumas espécies pertencentes ao gênero *Caulerpa* foram estudadas quanto ao valor proteico. Hong, Hien e Son (2007) determinaram 5,8% de proteína em *C. racemosa*, enquanto outros estudos com *C. racemosa*, *C. veravelensi*, *C. lentillifera* e *C. scalpelliformis* mostraram uma variação entre 7 e 13% (KUMAR *et al.*, 2011; MATANJUN *et al.*, 2009; RENAUD; LUONG-VAN, 2006).

De acordo com Fleurence (1999), o teor de proteína total nas algas marinhas varia em função da espécie, área geográfica e condições ambientais sendo, em geral, maior nas algas verdes e vermelhas do que nas pardas (HONG; HIEN; SON, 2007).

Dentre as macroalgas vermelhas, algumas espécies exibem elevados teores proteicos. No gênero *Porphyra*, esses teores são referidos como 47% em *P. tenera* (FLEURENCE, 1999); 39% em *P. umbilicalis* (COFRADES *et al.*, 2010) e 25,8% em *Porphyra* sp. (PATARRA *et al.*, 2011). Outro gênero em que o teor de proteína se destaca é *Gracilaria*: *G. cervicornis* (19,7%) coletada no litoral do Rio Grande do Norte, Brasil (MARINHO-SORIANO *et al.*, 2006) e *G. corticata* (19,3%) coletada no norte do Golfo

Pérsico (ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011). Teores de proteína também publicados na literatura em outras algas vermelhas são: *Mastocarpus stellatus* (21,3%), *Osmundea pinnatifida* (20,6%), *Pterocladia capillacea* (20,5%), *Sphaerococcus coronopifolius* (19,6%), *Hypnea valentiae* (16,5%), *Gigartina pistillata* (15,6%), *Gelidium microdon* (15,2%), *Eucheuma cottoni* (9,8%), *Gelidiella acerosa* (6,3%), *Laurencia obtusa* (4,5%) e *Kappaphycus alvarezii* (3,0%) (GÓMEZ-ORDÓÑEZ; JIMÉNEZ-ESCRIG; RUPÉREZ, 2010; HONG; HIEN; SON, 2007; MATANJUN *et al.*, 2009; PATARRA *et al.*, 2011; ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011).

Certas feófitas exibem teores de proteína menores que as demais classes de macroalgas, mas como são comumente utilizadas na alimentação humana em países da Ásia e Europa, tiveram sua composição centesimal estudada. Alguns exemplos são: *Laminaria saccharina* (25,7%), *Himanthalia elongata* (14,1%), *Macrocystis pyrifera* (13,2%), *Bifurcaria bifurcata* (10,9%), *Fucus spiralis* (10,8%), *Colpomenia sinuosa* (9,2%), *Sargassum ilicifolium* (8,9%), *S. mcclurei* (7,6%), *Cystoseira abies-marina* (6,8%) e *S. polycystum* (5,4%) (GÓMEZ-ORDÓÑEZ; JIMÉNEZ-ESCRIG; RUPÉREZ, 2010; HONG; HIEN; SON, 2007; MATANJUN *et al.*, 2009; ORTIZ *et al.*, 2009; PATARRA *et al.*, 2011; ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011).

Independentemente do *taxa* a que pertencem, muitas espécies de macroalgas marinhas exibem teores de proteína total superiores aos de vegetais folhosos como brócolis (4,1%), espinafre (2,8%), repolho (1,6%) e alface (1,2%) (NORZIAH; CHING, 2000). Além do elevado valor proteico, a incorporação de algas em um alimento pode acarretar aumento de sua ingesta, devido à presença dos ácidos aspártico e glutâmico que são responsáveis por melhorar sua palatabilidade (TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2010).

Pádua, Fontoura e Mathias (2004) analisaram o teor de proteína das espécies brasileiras da região Sul: *U. lactuca* na Baía de Guaraqueçaba e *U. fasciata* na Baía de Paranaguá, ambas no Paraná em 1995 e 1996, e encontraram teores de proteína entre 13 e 18%. Amostras de *Enteromorpha* spp., coletadas no México no inverno de 1997 e 1998, apresentaram teores proteicos que variaram de $9,45 \pm 0,52$ a $14,10 \pm 0,85\%$ (AGUILERA-MORALES *et al.*, 2005). Na macroalga vermelha *Palmaria palmata* da costa noroeste da França, o maior conteúdo proteico também foi encontrado nas algas coletadas durante o inverno/primavera (21,9%) e o mínimo durante o verão/outono (11,9%) (GALLAND-IRMOULI *et al.*, 1999). Rodde *et al.* (2004) observaram comportamento idêntico para a mesma espécie coletada em outros quatro países europeus. Perfeto (1998) relata para as

rodófitas *Grateolupia doryphora* e *Gymnogongrus griffithsiae* um aumento no conteúdo de proteína no outono e inverno e um decréscimo no verão.

Alguns trabalhos procuraram estabelecer relações entre o teor de proteína das algas e os parâmetros físico-químicos da água. Banerjee *et al.* (2009) avaliaram a macroalga vermelha *Catenella repens* coletada em três localidades em Sundarbans, Índia, quanto à variação sazonal dos componentes químicos, tendo observado que houve correlação significativa positiva entre o conteúdo proteico e o nitrato dissolvido na água e negativa com a temperatura e salinidade da água. Estudos similares foram executados no Brasil. Marinho-Soriano *et al.* (2006) analisaram variações dos teores de proteína na rodófito *Gracilaria cervicornis* e na feófito *Sargassum vulgare*, coletadas na Praia de Búzios, Rio Grande do Norte, durante 12 meses. Eles encontraram que, em ambas as espécies, o conteúdo de nitrogênio apresentou correlação positiva com o teor proteico e negativa com a salinidade e a temperatura.

As feófitas *Dictyota ciliolata*, *Padina boryana* e *Rosenvingea nhatrangensis* coletadas em Darwin, Austrália durante o inverno apresentaram teor proteico quase duas vezes maior (10,7; 10,6 e 6,65%) do que as coletadas no verão (4,1; 6,4 e 3,4%), respectivamente (RENAUD; LUONG-VAN, 2006). Mansilla e Ávila (2011) também estudaram a variação sazonal de *Macrocystis pyrifera* e observaram que o conteúdo proteico na primavera (17,48%) foi maior que no verão (10,24%).

De acordo com as afirmações de Orduna-Rojas, Robledo e Dawes (2002) e Mansilla e Ávila (2011), as mudanças que ocorrem no ambiente devido às estações do ano promovem modificações fisiológicas nas algas, como sua capacidade de fotossíntese que por sua vez afetam as quantidades de carboidratos, proteínas e lipídios sintetizados. Por exemplo, o conteúdo proteico é maior durante o inverno/primavera e menor durante o verão/outono; estas variações estão inversamente relacionadas com a temperatura da água (DENIS *et al.*, 2010; GALLAND-IRMMOULI *et al.*, 1999).

Morgan, Wright e Simpson (1980) observaram que em um cultivo de *Palmaria palmata* houve um rápido declínio do teor de proteína com a diminuição da concentração de compostos inorgânicos presentes na água. Para melhorar o entendimento do assunto é importante deixar claro que o nitrogênio está disponível para as algas nas seguintes formas básicas: (1) como nitrogênio gasoso, livre na água e (2) como componente de compostos inorgânicos ou orgânicos. A captação na forma de nitrogênio gasoso ocorre apenas nos organismos procariontes e, nas algas, esta capacidade é exclusiva das cianofíceas. Nas algas eucarióticas, o nitrogênio inorgânico provém da amônia e dos íons nitrito e nitrato presentes

na água. A amônia ao ser incorporada é transformada em aminoácidos nos cloroplastos da célula. Já os íons nitrato e nitrito são reduzidos à amônia pela ação do complexo enzimático nitrato-redutase e nitrito-redutase, respectivamente (GRAHAM, GRAHAM, WILCOX, 2009b; LOBBAN; HARRISON, 1997; SOUTH; WHITTICK, 1987). Eswaran; Mairh; Subba Rao (2002) e Flores-Moya *et al.* (1998) mostraram que a atividade da enzima nitrato-redutase diminui em macroalgas marinhas submetidas à alta intensidade de radiação ultravioleta A e B (UV-A e UV-B), especialmente quando expostas por períodos de tempo prolongados.

4.2.2 Lipídios

Apesar de coletadas mensalmente, os teores de lipídios em *U. fasciata* não foram determinados nos meses de março a maio e em *U. lactuca*, de março a agosto. Isto se deveu a ausência de biomassa no ambiente natural no momento da coleta e/ou de material para o procedimento analítico. Nos meses em que as análises foram realizadas, os teores variaram de 0,07 a 0,33% em *U. fasciata* (Tabela 1) e de 0,04 a 0,23% em *U. lactuca* (Tabela 2).

As macroalgas marinhas possuem conteúdo de lipídios relativamente baixo (BANERJEE *et al.*, 2009; FRIKHA *et al.*, 2011; PLAZA; CIFUENTES; IBÁÑEZ, 2008), em geral, inferior a 4%, embora seus ácidos graxos constituintes tenham elevado grau de insaturação. Estas características são benéficas quando as algas são utilizadas como alimento humano (KUMARI *et al.*, 2010; MACARTAIN *et al.*, 2007).

Resultados semelhantes foram reportados na literatura. Por exemplo, Pádua, Fontoura e Mathias (2004) encontraram teores de lipídios inferiores a 2%, sendo de 0,34 a 1,94% em *U. fasciata* e de 1,22 a 1,79% em *U. lactuca*. Kumari *et al.* (2010) avaliaram os teores de lipídio em sete espécies do gênero *Ulva*, e os valores variaram de 1,27 a 2,13%, sendo 1,83% em *U. fasciata* e 1,27% em *U. lactuca*. Marsham, Scott e Tobin (2007) reuniram os resultados de vários trabalhos que avaliaram o teor de lipídios totais de *U. lactuca*, e os valores encontrados variaram de 0,5 a 0,7%. Ortiz *et al.* (2006), Wong e Cheng (2000), Rohani-Ghadikolaei, Abdulalian e Ng (2011) e Chakraborty e Santra (2008) também encontraram em *U. lactuca* teores de lipídios de 0,3; 1,64; 3,6 e 4,3%, respectivamente.

Outras espécies pertencentes ao gênero *Ulva* também foram analisadas em relação ao conteúdo lipídico. Em *U. rigida* este teor foi de 0,89% (TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ,

2010), em *Ulva* spp., 0,54% (CARRILLO-DOMÍNGUEZ *et al.*, 2002) e em *U. fenestra*, 0,50% (COLOMBO *et al.*, 2006).

A composição centesimal de diferentes clorófitas foi determinada, e os resultados dos teores de lipídios ficaram sempre dentro do intervalo compreendido entre 0,1 e 5%. As espécies com conteúdos inferiores a 1% foram *Enteromorpha intestinalis*, *Caulerpa sertularioides*, *Bryopsis hypnoides* (CARRILLO-DOMÍNGUEZ *et al.*, 2002) e *Codium fragile* (ORTIZ *et al.*, 2009).

Nos trabalhos de Renaud e Luong-Van (2006) e de Rohani-Ghadikolaei, Abdulalian e Ng (2011), amostras de *E. intestinalis* apresentaram teores mais elevados de 1,8 e 2,9%, respectivamente. O teor de lipídios em *Caulerpa lentillifera* foi de 2,7% e, em *C. racemosa*, variou de 3,8 a 4,4% (RENAUD; LUONG-VAN 2006). Nas Caulerpaceae, *C. racemosa*, *C. veravelensis* e *C. scalpelliformis*, esses teores foram 2,64; 2,80 e 3,06%, respectivamente (KUMAR *et al.*, 2011). Manivannan *et al.* (2009) destacaram a ocorrência de variação nos teores de lipídios nas algas verdes e até mesmo entre espécies do mesmo gênero como foi o caso de *Halimeda macroloba* que apresentou 0,26% enquanto *H. tuna*, 3,33%.

De maneira similar, os teores lipídicos encontrados em algas vermelhas e pardas são baixos, mas variáveis entre as diferentes espécies. Em treze espécies de rodófitas coletadas em diferentes locais da costa da Índia e analisadas por Kumari *et al.* (2010), os teores variaram de 0,57 a 1,73%. Nos trabalhos de Manivannan *et al.* (2009), Ortiz *et al.* (2009), Rohani-Ghadikolaei e Abdulalian e Ng (2011) os teores de lipídios nas rodófitas variaram de 0,87 a 2,0% nas espécies *Gelidiella acerosa*, *Gracilaria crassa*, *G. corticata*; *G. chiliensis*; *G. lemaneiformis* e *Hypnea musciformis*.

Nas rodófitas *Grateloupia turuturu* e *Hypnea valentiae* estes teores foram, respectivamente, 2,6% (DENIS *et al.*, 2010) e 2,8% (ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011). Colombo *et al.* (2006) estudaram as rodófitas *Porphyra perforata* do norte Canadá e *Gloiopeltis furcata*, *Callophyllis* sp., *Choiopeltis fenax* e *Solieria robusta* das águas temperadas do Sul da China, todas coletadas no final do verão e encontraram que os teores de lipídios totais variaram de 0,28% em *S. robusta* a 3,34% em *G. furcata*. Conteúdos maiores que 5% foram encontrados em *Laurencia majuscula*, *Portieria hornemannii* e *Wrangelia plumose*, coletadas em Darwin, Austrália (RENAUD; LUONG-VAN, 2006).

Colombo *et al.* (2006) estudaram as algas pardas *Nereocystis luetkeana*, *Fucus distichus*, *Fucus* sp. e *Pterigophora* sp. coletadas no norte Canadá no final do verão e os teores de lipídios totais variaram de 0,95% em *Pterigophora* sp. a 3,36% em *N. luetkeana*.

Kumari *et al.* (2010) encontraram teores de lipídios semelhantes, entre 1,23 e 3,50%, em cinco espécies de feófitas. Ortiz *et al.* (2009) e Manivannan *et al.* (2009) determinaram teores de lipídios de aproximadamente 1,5% nas algas pardas *Macrocystis pyrifera*, *Dictyota dichotoma*, *Padina pavonica* e *Turbinaria ornata*.

As diferenças que aparecem nos teores de lipídios das macroalgas marinhas podem ser atribuídas a fatores como clima e área geográfica (BANERJEE *et al.*, 2009; ORTIZ *et al.*, 2006).

A variação sazonal dos teores de lipídios em macroalgas marinhas verdes coletadas em diferentes localidades do Hemisfério Sul, aproximadamente na mesma faixa de latitude, foi estudada por Foster e Hodgson (1998) que encontraram valor máximo de 0,6% no inverno e mínimo de 0,3% no verão, para a clorófila *U. rigida*. Em outras Ulvales, *U. lactuca* e *Ulvaria oxysperma*, os maiores teores de lipídios foram encontrados em fevereiro, variando de 1,44 a 1,79%, enquanto os menores ocorreram em outubro e novembro, variando de 0,89 a 1,22% (PÁDUA; FONTOURA; MATHIAS, 2004). Nas espécies *Caulerpa racemosa*, *Halimeda macroloba*, *H. opuntia* e *Neomeris van-bosseae*, os valores oscilaram de 2,3 a 3,8% no verão e de 2,5 a 4,4% no inverno (RENAUD; LUONG-VAN, 2006).

A rodófito *Catenella repens* coletada em Sundarbans, Índia foi avaliada quanto à variação no teor de lipídios, que ficou no intervalo compreendido entre 0,17 e 0,24%. Pela comparação dos resultados obtidos nas diferentes estações do ano, Banerjee *et al.* (2009) concluíram que não houve diferença estatisticamente significativa ($p \geq 0,05$).

Da mesma forma, Renaud e Luong-Van (2006) também pesquisaram a variação sazonal da composição centesimal de várias espécies de algas vermelhas e pardas, coletadas em Darwin, Austrália. Nessas espécies, os teores de lipídios totais variaram no verão de 1,3 a 5,6% e de 2,6 a 4,4% e no inverno de 1,9 a 4,5% e de 2,3 a 7,1%, respectivamente.

Amostras mensais coletadas de março a dezembro da feófito *Eisenia arborea* apresentaram teores de lipídios entre 0,45 e 0,66%, uma variação relativamente pequena (HERNÁNDEZ-CARMONA *et al.*, 2009).

4.2.3 Cinzas e Carboidratos

Os teores de cinzas nas duas espécies estudadas, *U. fasciata* e *U. lactuca*, apresentaram pequena variação, permanecendo entre 6,7 e 9,4% (Tabelas 1 e 2). Estes

resultados estão um pouco abaixo daqueles que já foram previamente publicados para macroalgas marinhas verdes, vermelhas e pardas.

Segundo Rodde *et al.* (2004), os teores de cinzas das algas marinhas geralmente não variam acentuadamente com a época do ano. Por exemplo, nas amostras mensais de *Grateloupia turuturu* a variação foi de 16,2% em janeiro e fevereiro a 19,8% em setembro e outubro (DENIS *et al.*, 2010).

Um estudo feito com algas da classe Ulvophyceae revelou teores de cinzas de 17,75 a 20,61% em *U. fasciata*, de 12,54 a 13,23% em *U. lactuca* e de 16,83 a 31,22% em *Ulvaria oxysperma* (PÁDUA; FONTOURA; MATHIAS, 2004). Amostras de *Enteromorpha intestinalis* e *U. lactuca* apresentaram, respectivamente, 22,4 e 12,4% (ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011). Nas três espécies do gênero *Caulerpa* analisadas por Kumar *et al.* (2011), os teores de cinzas ficaram entre 24,2 e 40,77%. Renaud e Luong-Van (2006) analisaram sete espécies de clorófitas, tendo encontrado teores máximos nas algas calcárias do gênero *Halimeda*, com variação de 64,4 a 89,7%.

Elevados teores de cinzas também são reportados em rodófitas e feófitas. Renaud e Luong-Van (2006) analisaram quinze diferentes espécies de macroalgas vermelhas, e os resultados mostraram variações de 35,1 a 59,1% no verão e de 18,7 a 39,2% no inverno. Gressler *et al.* (2010) analisaram quatro espécies de macroalgas vermelhas brasileiras e encontraram teores de cinza iguais a 22,5% em *Gracilaria birdiae*, 23,8% em *G. domingensis*, 33,5% em *Laurencia intricata* e 38,4% em *L. filiformis*. Sánchez-Machado *et al.* (2004) determinaram os teores de cinzas em *Porphyra* sp. e *Palmata* sp. e encontraram 19,1 e 34%, respectivamente. Já Cofrades *et al.* (2010) encontraram 12% de cinzas em *Porphyra umbilicalis*. Nas algas pardas, *Colpomenia sinuosa* e *Sargassum ilicifolium*, os teores de cinzas foram 28,1 e 29,9%, respectivamente (ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011). Os teores de cinzas em oito feófitas australianas variaram de 28,2% em *S. filifolium* a 56,6% em *Rosenvingea nhatrangensis* (RENAUD; LUONG-VAN, 2006).

As variações existentes na composição química das algas marinhas podem ser atribuídas às diferenças genéticas próprias desses organismos e ao ambiente em que vivem (FRIKHA *et al.*, 2011). De acordo com Rohani-ghadikolaei; Abdulalian; Ng (2011) as algas apresentam conteúdos de minerais mais elevados que algumas plantas terrestres e vegetais. Nos vegetais normalmente consumidos, os teores de cinza variam de 5 a 10%, como ocorre por exemplo, na cenoura e tomate (7,1%) e na batata (10,4%), podendo ser tão baixos quanto 2,6% como ocorre no milho ou tão altos quanto 20,4%, no espinafre (USDA, 2011).

Os teores de carboidratos nas duas espécies estudadas, *U. fasciata* e *U. lactuca*, variaram de cerca de 73 a 88%. Como eles foram calculados por diferença, nos meses em que não foi possível determinar os teores de lipídios, não foi possível determinar os valores desse parâmetro (Tabelas 1 e 2).

Em geral, os carboidratos consistem no componente majoritário da composição centesimal das algas marinhas secas. Pádua, Fontoura e Mathias (2004) encontraram teores de carboidratos de 46,5 a 59,12% e de 69,58 a 72,28% em *Ulvaria oxysperma*, de 57,67 a 58,40% em *Ulva lactuca* e de 53,31 a 56,47% em *U. fasciata*, que foram coletadas em duas localidades diferentes no litoral paranaense. A espécie *U. lactuca* foi analisada por vários pesquisadores, e os valores de carboidratos foram 35,27% (CHAKRABORTY; SANTRA, 2008), 59,1% (ROHANI-GHADIKOLAEI; ABDULALIAN; NG, 2011) e 61,5% (ORTIZ *et al.*, 2006). Outra espécie do mesmo gênero, *U. reticulata*, foi estudada por Hong, Hien e Son (2007) e por Manivannan *et al.* (2009), que determinaram teores de carboidrato de 68,9 e 15,37%, respectivamente.

Outras algas verdes *Enteromorpha compressa*, *Cladophora glomerata*, *Halimeda macroloba* e *H. tuna* (MANIVANNAN *et al.*, 2009) e espécies do gênero *Caulerpa* (KUMAR *et al.*, 2011; MATANJUN *et al.*, 2009) apresentaram teores variáveis de 14,83% a 48,95%.

Nas macroalgas vermelhas e pardas também ocorre variação nos teores de carboidratos. *Gracilaria lemaneiformis*, *Porphyra yezoensis* e *Laminaria japonica* apresentaram 61,6; 37,5 e 54,1% de carboidratos, respectivamente (WEN *et al.*, 2006).

O teor de carboidratos é influenciado pelos parâmetros físico-químicos do ambiente. Aumentos na temperatura e na salinidade da água e elevadas intensidades de luz têm ação direta sobre a taxa fotossintética das macroalgas marinhas e, conseqüentemente, sobre a produção de carboidratos (ORDUNA-ROJAS; ROBLEDO; DAWES, 2002). Amostras de *Grateloupia doryphora* e *Gymnogongrus griffithsiae* coletadas no Rio Grande, Brasil, apresentaram um maior teor de carboidratos no verão do que aquelas coletadas no inverno (PERFETO, 1998). Da mesma forma, Banerjee *et al.* (2009) analisaram em *Catenella repens*, coletada em Sudarban, Índia e o teor de carboidratos e verificaram que o máximo ocorreu no período em que temperatura da água foi mais elevada.

4.3 Carotenóides provitamina A

A identificação de compostos por cromatografia líquida de alta eficiência foi feita através da comparação do tempo de retenção dos compostos, comumente adotada por diversos pesquisadores (GIMENO *et al.*, 2000; HEGAZI *et al.*, 1998; NORZIAH; CHING, 2000). Os tempos de retenção do β -caroteno na solução padrão [$14,84 \pm 0,95$ min ($n = 45$)] e nos extratos algais [$14,61 \pm 0,74$ min ($n = 124$)] foram comparados e não apresentaram diferença estatisticamente significativa através do teste t para dados independentes ($p \geq 0,05$). Um cromatograma típico do padrão de β -caroteno está ilustrado na Figura 11.

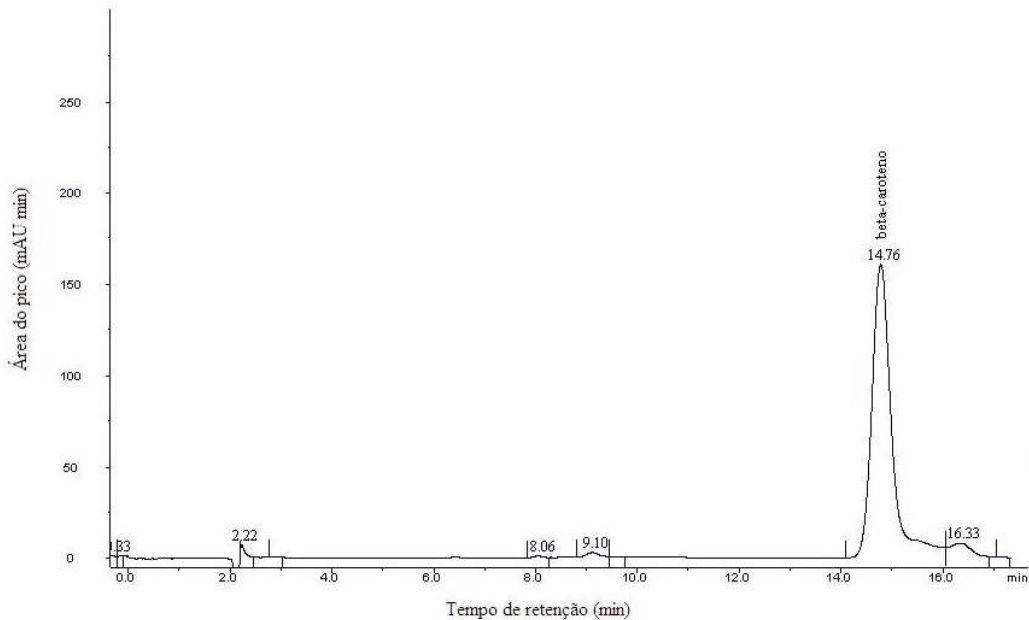


Figura 11 – Cromatograma típico do padrão de β -caroteno tipo I all *trans* 95% (C-9750, Sigma) submetido à saponificação e partição.

Injeção de 0,5 μ g em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 450 nm.

Com base no exposto, o composto cromatografado nos extratos algais com tempo de retenção de $14,61 \pm 0,74$ min ($n = 124$) foi considerado β -caroteno. Nesses extratos, também foi observada a presença de outros carotenóides mais polares, porém apenas aquele com tempo de retenção de $13,74 \pm 0,93$ min ($n = 124$), identificado como α -caroteno, foi considerado de interesse por causa da atividade de vitamina A. Os demais carotenóides, ilustrados, não foram identificados nem quantificados, embora entre eles, provavelmente, estejam presentes zeaxantina e luteína, que possuem reconhecida atividade antioxidante. Os tempos de retenção do α - e do β -caroteno foram comparados pelo teste t de Student para

dados independentes, e a diferença entre eles foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$) (Figura 12).

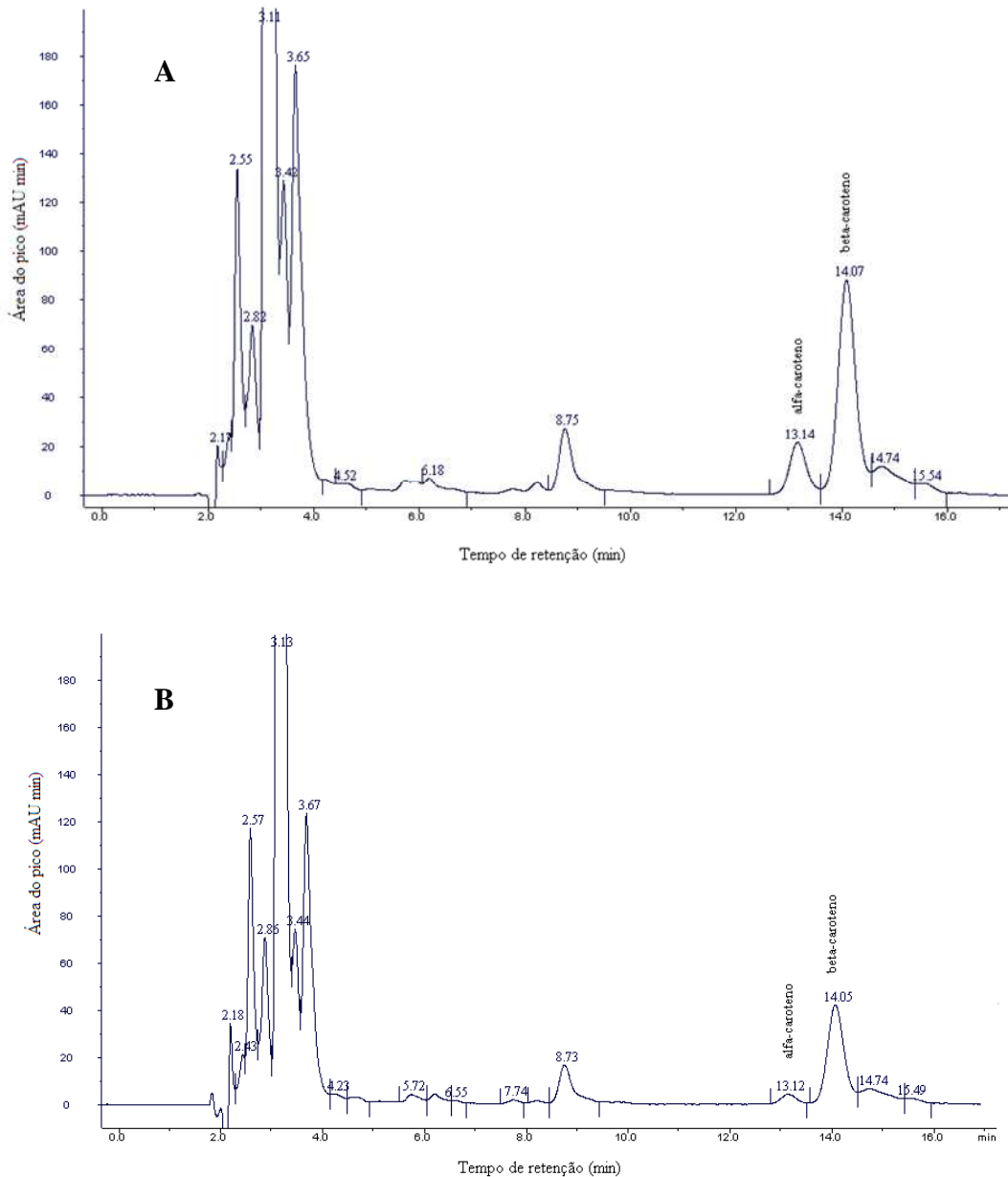


Figura 12 – Cromatogramas típicos de CLAE dos extratos das macroalgas marinhas verdes (A) *Ulva fasciata* e (B) *Ulva lactuca* “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia, Ceará. Coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm), fase móvel MeOH:THF (95:5), fluxo 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 450 nm.

Em todas as amostras mensais de *U. fasciata* foram observadas as presenças de α - e β -caroteno em quantidades variáveis, enquanto naquelas de *U. lactuca* nenhum α -caroteno foi detectado no mês de novembro. Os conteúdos desses carotenos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Conteúdos de α - e β -caroteno nas macroalgas marinhas verde *Ulva fasciata* e *U. lactuca* “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE, no ano de 2007

Meses	<i>Ulva fasciata</i>		<i>Ulva lactuca</i>	
	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Jan	0,415 \pm 0,041	2,085 \pm 0,145	0,211 \pm 0,051	2,754 \pm 0,481
Fev	0,201 \pm 0,163	1,337 \pm 0,377	0,185 \pm 0,060	1,878 \pm 0,084
Mar	0,725 \pm 0,152	3,632 \pm 0,574	0,501 \pm 0,079	2,912 \pm 0,374
Abr	1,080 \pm 0,203	6,117 \pm 0,821	0,800 \pm 0,072	3,661 \pm 0,337
Mai	0,590 \pm 0,148	5,025 \pm 1,244	0,521 \pm 0,196	3,525 \pm 0,378
Jun	0,369 \pm 0,084	2,983 \pm 0,840	0,127 \pm 0,087	1,848 \pm 0,191
Jul	0,582 \pm 0,184	2,903 \pm 0,633	*	*
Ago	0,250 \pm 0,047	2,008 \pm 0,238	0,189 \pm 0,048	1,895 \pm 0,169
Set	0,402 \pm 0,058	2,498 \pm 0,165	0,057 \pm 0,045	1,986 \pm 1,019
Out	0,009 \pm 0,007	0,309 \pm 0,116	0,048 \pm 0,000	0,709 \pm 0,165
Nov	0,005 \pm 0,001	0,534 \pm 0,106	ND	0,695 \pm 0,129
Dez	2,042 \pm 0,216	8,563 \pm 0,899	0,451 \pm 0,037	4,510 \pm 0,302

ND Não detectado.

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

Os resultados de retinol equivalente (RE) e as porções (g) necessárias para que as espécies de algas “in natura” sejam consideradas fontes excelentes (FE) ou úteis (FU) estão apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Conteúdos de retinol equivalente (RE) nas macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E

Meses	<i>Ulva fasciata</i>			<i>Ulva lactuca</i>		
	RE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)		RE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)	
		FE ($1/2$ IDR)	FU ($1/6$ IDR)		FE ($1/2$ IDR)	FU ($1/6$ IDR)
Jan	0,383 \pm 0,027	783	261	0,478 \pm 0,085	628	209
Fev	0,240 \pm 0,074	1.249	416	0,329 \pm 0,017	911	304
Mar	0,667 \pm 0,104	449	150	0,528 \pm 0,067	568	189
Abr	1,112 \pm 0,154	270	90	0,679 \pm 0,062	442	147
Mai	0,889 \pm 0,220	338	113	0,622 \pm 0,065	482	161
Jun	0,529 \pm 0,146	567	189	0,319 \pm 0,038	940	313
Jul	0,534 \pm 0,120	562	187	*	*	*
Ago	0,356 \pm 0,043	842	281	0,332 \pm 0,029	903	301
Set	0,451 \pm 0,032	665	222	0,333 \pm 0,173	901	300
Out	0,052 \pm 0,020	5.737	1.912	0,125 \pm 0,030	2.405	802
Nov	0,090 \pm 0,018	3.350	1.117	0,116 \pm 0,021	2.585	862
Dez	1,602 \pm 0,160	187	62	0,791 \pm 0,053	379	126

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

De modo semelhante ao que foi encontrado no presente estudo, outros trabalhos também reportaram a existência de uma variação sazonal marcante nos teores α - e β -caroteno entre espécies pertencentes ao mesma classe e, algumas vezes, até ao mesmo gênero.

Sousa *et al.* (2008) quantificaram α - e β -caroteno, expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco, em *U. fasciata* e outras seis espécies de Chlorophyta. Os teores de α - e β -caroteno em *U. fasciata* foram, respectivamente, $3,443 \pm 1,047$ e $26,705 \pm 7,398$, superiores aos detectados no presente trabalho. Os teores de α -caroteno nas clorófitas *Codium decorticatum* ($0,814 \pm 0,256$) e *Cladophora prolifera* ($1,077 \pm 0,546$) foram semelhantes aos encontrados nas amostras de *U. fasciata* de março e abril. Os teores de β -caroteno encontrados em *Caulerpa cupressoides* ($8,711 \pm 2,771$), *C. racemosa* ($8,856 \pm 4,535$) e *Codium decorticatum* ($9,277 \pm 2,181$) foram comparáveis ao de *U. fasciata* de dezembro, e aquele de *Caulerpa mexicana* ($2,322 \pm 0,736$), semelhante ao determinado em *U. fasciata* coletada em setembro.

Hong, Hien e Son (2007) encontraram teores de carotenóides máximos de 62,7 e 97,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco em *Ulva reticulata* e *Caulerpa racemosa*, respectivamente. Kumar *et al.* (2011) detectaram teores muito menores, $24,96 \pm 2,53$; $12,77 \pm 1,55$ e $10,27 \pm 1,77$ $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco em *C. racemosa*, *C. scalpelliformis* e *C. veravelensis*, respectivamente. Em outro trabalho com algas do gênero *Caulerpa* teores de α - e β -caroteno, em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco, variaram de $11,10 \pm 1,21$ a $20,46 \pm 2,29$ e de $6,50 \pm 1,21$ a $13,49 \pm 2,49$, respectivamente (NEPOMUCENO, 2008).

α -Caroteno foi identificado em onze espécies de rodófitas, com conteúdo oscilando entre $0,487 \pm 0,267$ e $3,055 \pm 0,278$ $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco. β -Caroteno também foi encontrado com variação de $0,336 \pm 0,209$ a $4,284 \pm 0,607$ $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco. Em *Acantophora specifera*, *Acantophora* sp., *Bryothamnion seaforthii*, *Corallina officinalis*, *Gracilaria birdiae*, *G. caudata*, *G. domingiensis*, *G. ferox* e *Gracilaria* sp. não foi detectado nenhuma quantidade de α -caroteno (SOUSA *et al.*, 2008).

Estas variações podem ser explicadas com base no fato de que o perfil de vitaminas nas algas marinhas depende de fatores endógenos e exógenos (CHAKRABORTY; SANTRA; BHATTACHARYA, 2010).

Com relação ao RE das algas “in natura” (Tabela 4), em *U. fasciata* o mínimo foi de $0,052 \pm 0,020$ $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco e máximo $1,602 \pm 0,160$ $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco, nos meses de outubro e dezembro, respectivamente. Considerando, a ingestão diária de 100 g *U. fasciata* coletada em dezembro, forneceria 27% da IDR, considerando que ingestão diária recomendada (IDR) para a vitamina A é de 600 μg e seria considerada FU. Para *U. lactuca* o mínimo de RE foi de $0,116 \pm 0,021$ $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco e o máximo de $0,791 \pm 0,053$ $\mu\text{g g}^{-1}$

peso fresco, nos meses de novembro e dezembro, respectivamente. Considerando, a ingestão diária de 100 g de *U. lactuca* em dezembro, forneceria 13% da IDR.

As porções de consumo diário de *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” variaram de 187 a 5.737 g para FE e de 62 a 1.912 g para FU de vitamina A (Tabela 4). Em alguns meses, as porções de consumo diário foram consideradas inadequadas. Porém, uma porção de 62 g de *U. fasciata* seria suficiente para considerá-la FU de vitamina A.

Os teores de RE Nas algas verdes *C. mexicana* e *C. decortiatum* “in natura” analisadas por Sousa *et al.* (2008) com relação apresentaram teores semelhantes aos do presente estudo, correspondendo a 16 e 27% da IDR, respectivamente. Maciel da Silva (2003) classificou como FE e FU de vitamina A, respectivamente, *Caulerpa mexicana* e *C. racemosa*, se a porção diária consumida fosse de 100 g de alga desidratada.

Nas amostras mensais de *U. fasciata* e *U. lactuca* desidratadas quantidades variáveis de α - e β -caroteno foram detectadas ao longo do ano (Tabela 5). Nas duas espécies α -caroteno não foi detectado no mês de novembro e em *U. lactuca*, sua presença também não foi observada no mês de outubro.

Tabela 5 - Conteúdo de α - e β -caroteno nas macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* desidratadas a 40°C por 15h, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE coletadas no ano de 2007

Meses	<i>Ulva fasciata</i>		<i>Ulva lactuca</i>	
	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Jan	0,069 \pm 0,025	1,034 \pm 0,162	0,019 \pm 0,008	1,080 \pm 0,588
Fev	0,031 \pm 0,024	0,674 \pm 0,153	0,012 \pm 0,006	0,864 \pm 0,276
Mar	0,024 \pm 0,011	0,565 \pm 0,059	0,598 \pm 0,090	3,420 \pm 1,020
Abr	0,181 \pm 0,014	1,651 \pm 0,216	0,579 \pm 0,139	3,452 \pm 0,377
Mai	0,112 \pm 0,018	1,144 \pm 0,459	0,096 \pm 0,027	2,174 \pm 0,513
Jun	0,027 \pm 0,009	0,644 \pm 0,098	0,031 \pm 0,030	2,391 \pm 1,297
Jul	0,197 \pm 0,059	1,741 \pm 0,232	*	*
Ago	0,033 \pm 0,020	0,910 \pm 0,176	0,031 \pm 0,023	1,407 \pm 0,425
Set	0,029 \pm 0,021	0,657 \pm 0,334	0,027 \pm 0,014	1,324 \pm 0,417
Out	0,032 \pm 0,013	0,588 \pm 0,270	ND	0,168 \pm 0,076
Nov	ND	0,116 \pm 0,077	ND	0,039 \pm 0,033
Dez	0,139 \pm 0,016	2,464 \pm 0,323	0,009 \pm 0,006	0,289 \pm 0,178

ND Não detectado.

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

Os resultados de retinol equivalente (RE) e as porções (g) necessárias para que as espécies de algas desidratadas sejam consideradas fontes excelentes (FE) ou úteis (FU) estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Conteúdo de retinol equivalente (RE) nas macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* desidratadas e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E

Meses	<i>Ulva fasciata</i>			<i>Ulva lactuca</i>		
	RE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)		RE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)	
		FE ($^{1/2}$ IDR)	FU ($^{1/6}$ IDR)		FE ($^{1/2}$ IDR)	FU ($^{1/6}$ IDR)
Jan	0,178 \pm 0,025	1.685	562	0,181 \pm 0,099	1.657	552
Fev	0,115 \pm 0,027	2.609	870	0,145 \pm 0,047	2.069	690
Mar	0,096 \pm 0,010	3.125	1.042	0,596 \pm 0,190	503	168
Abr	0,291 \pm 0,037	1.031	344	0,613 \pm 0,082	489	163
Mai	0,201 \pm 0,076	1.493	498	0,371 \pm 0,086	809	270
Jun	0,109 \pm 0,017	2.752	917	0,402 \pm 0,216	746	249
Jul	0,307 \pm 0,043	977	326	*	*	*
Ago	0,154 \pm 0,030	1.948	649	0,238 \pm 0,037	1261	420
Set	0,111 \pm 0,056	2.703	901	0,222 \pm 0,079	1351	450
Out	0,100 \pm 0,046	3.000	1.000	0,028 \pm 0,008	10.714	3.571
Nov	0,016 \pm 0,014	18.750	6.250	0,006 \pm 0,001	50.000	16.667
Dez	0,423 \pm 0,053	709	236	0,049 \pm 0,030	6122	2.041

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

Com relação aos teores de RE nas algas desidratadas (Tabela 6), em *U. fasciata* o mínimo foi de $0,016 \pm 0,014 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco e o máximo $0,423 \pm 0,053 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, nos meses de novembro e dezembro, respectivamente. Para *U. lactuca* o mínimo foi de $0,006 \pm 0,001 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco e o máximo de $0,613 \pm 0,082 \mu\text{g g}^{-1}$ peso, nos meses de novembro e abril, respectivamente. A ingestão diária de uma porção de 20 g de *U. fasciata* desidratada coletada no mês de dezembro forneceria $8,52 \mu\text{g RE}$ correspondente a 1,5% da IDR. Considerando a mesma porção, *U. lactuca* coletada no mês de abril forneceria $12,34 \mu\text{g RE}$, o que corresponderia a 2% da IDR.

As porções de consumo diário para as espécies *U. fasciata* e *U. lactuca* desidratadas (Tabela 6) para serem FE ou FU de vitamina A foram consideradas inadequadas. Apenas nos meses de março e abril a espécie *U. lactuca* apresentou uma quantidade considerada aceitável para ser classificada como FU de vitamina A.

Dentre as clorofíceas, as espécies do gênero *Ulva* são as mais consumidas e representam uma fonte natural de nutrientes para a alimentação animal e humana (BOCANEGRA *et al.*, 2009). Taboada, Millán e Míguez (2010) avaliaram a espécie *U. rigida* da Espanha e encontraram 9.581 UI de vitamina A por quilograma de alga desidratada, quantidade que permitiu sua indicação para satisfazer as doses diárias dessa vitamina.

Chakraborty e Santra (2008) quantificaram carotenóides em quatro espécies de algas verdes incluindo *U. lactuca*. As quantidades de carotenóides totais, em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, foram maiores em *Lola capilaris* ($20,19 \pm 0,67$), seguida de *U. lactuca* ($19,55 \pm 1,34$), *Rhizoclonium riparium* ($19,16 \pm 1,58$) e *Enteromorpha intestinalis* ($18,85 \pm 0,40$).

MacArtain *et al.* (2007) compararam os teores de vitamina A nas macroalgas verde (*Ulva* spp.), vermelhas (*Porphyra umbilicalis* e *Palmaria palmata*) e pardas (*Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata* e *Undaria pinnatifida*) e verificaram que uma porção de 8 g de *Ulva* spp. desidratada contém $256 \mu\text{g}$ de vitamina A ($32 \mu\text{g/g}$), muito superior ao que foi encontrado nas espécies estudadas neste trabalho. Na alga parda *A. nodosum* o conteúdo encontrado na mesma porção foi de $3 \mu\text{g}$ de vitamina A ($0,375 \mu\text{g/g}$), correspondendo a 6,25% da IDR. Este valor foi semelhante aos encontrados em algumas amostras mensais de *U. fasciata* e *U. lactuca* deste trabalho. Nas outras espécies, considerando a mesma porção de alga seca, os conteúdos encontrados foram de 544 a $782 \mu\text{g}$ de vitamina A, sendo consideradas FE desse nutriente. Wen *et al.* (2006) avaliaram os teores de vitamina A da macroalga vermelha *Porphyra yezoensis* e da parda *Laminaria japonica* e verificaram que uma porção de 100 g de alga seca forneceria $35,75 \text{ mg}$ e $3.160,7 \text{ mg}$ de vitamina A, respectivamente.

As quantidades de α - e β -caroteno encontradas em amostras “in natura” e desidratadas da rodófito *Palmaria palmata* permitiram considerá-la uma fonte útil de vitamina A e, algumas vezes, até excelente particularmente quando o material algal foi liofilizado. Aparentemente, houve perdas quando a desidratação foi realizada em estufa a 30 e 45°C (SAKER-SAMPAIO, 1997). De acordo com Morgan, Wright e Simpson (1980), as condições de coleta e o processo de secagem podem afetar o conteúdo de carotenóides. Quando a secagem das algas marinhas é feita ao ar livre sob condições meteorológicas adversas, a degradação dos carotenóides pode ser quase completa no período de uma semana.

Hong, Hien e Son (2007) analisaram seis macroalgas vermelhas (*Gelidiella acerosa*, *Laurencia obtusa*, *Gracilaria tenuistipitata*, *Hypnea valentiae*, *Porphyra crispata*, *Kappaphycus alvarezii*) e uma parda (*Sargassum mcclurei*), cujo conteúdo de carotenóides (36,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco) foi maior do que aquele encontrado em *L. obtusa* (18,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco). Ortiz *et al.* (2009) determinaram apenas β -caroteno na rodófito *G. chilensi* e na feófito *Macrocystis pyrifera* e encontraram valores de $113,7 \pm 1,3$ e $17,4 \pm 1,0 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente. Nas macroalgas vermelhas *Catanela repens*, *Polysiphonia mollis* e *Gelidiella acerosa* e na parda *Dictyota ceylinica* os conteúdos de carotenóides variaram de $21,08 \pm 2,03$ a $29,02 \pm 3,48 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco com máximo em *D. ceylinica* (CHAKRABORTY; SANTRA, 2008).

Trabalhos executados pelo Grupo de Pesquisa de Bioquímica Marinha (BioMar-CLAE) com diferentes espécies de algas coletadas no litoral cearense também mostraram variação nos teores de carotenos. Com base em informações existentes na literatura, procurar-se-á estabelecer algumas associações entre as variações e os aspectos morfológicos das algas / intensidade de radiação solar. Algumas suposições julgadas pertinentes serão discutidas, embora seja possível que outros aspectos igualmente importantes estejam envolvidos e não sejam comentados aqui.

As associações entre coloração, idade da planta, radiação solar e teores de α - e β -caroteno foram estabelecidas unicamente para as amostras mensais de algas “in natura”, e os resultados estão apresentados nas Figuras 13 (*U. fasciata*) e 14 (*U. lactuca*). Em ambas as espécies, nos meses de outubro e novembro, as macroalgas consideradas adultas e de cor verde muito claro apresentaram os menores teores de α - e β -caroteno, o que coincidiu com elevada intensidade de radiação solar. Contrariamente, no mês dezembro, quando as concentrações foram máximas, as plantas adultas eram de coloração verde muito escura e a radiação solar inferior aos meses anteriores. No período de março a maio, as plantas jovens de

coloração verde clara apresentaram máximos teores de α - e β -caroteno quando a radiação foi menor.

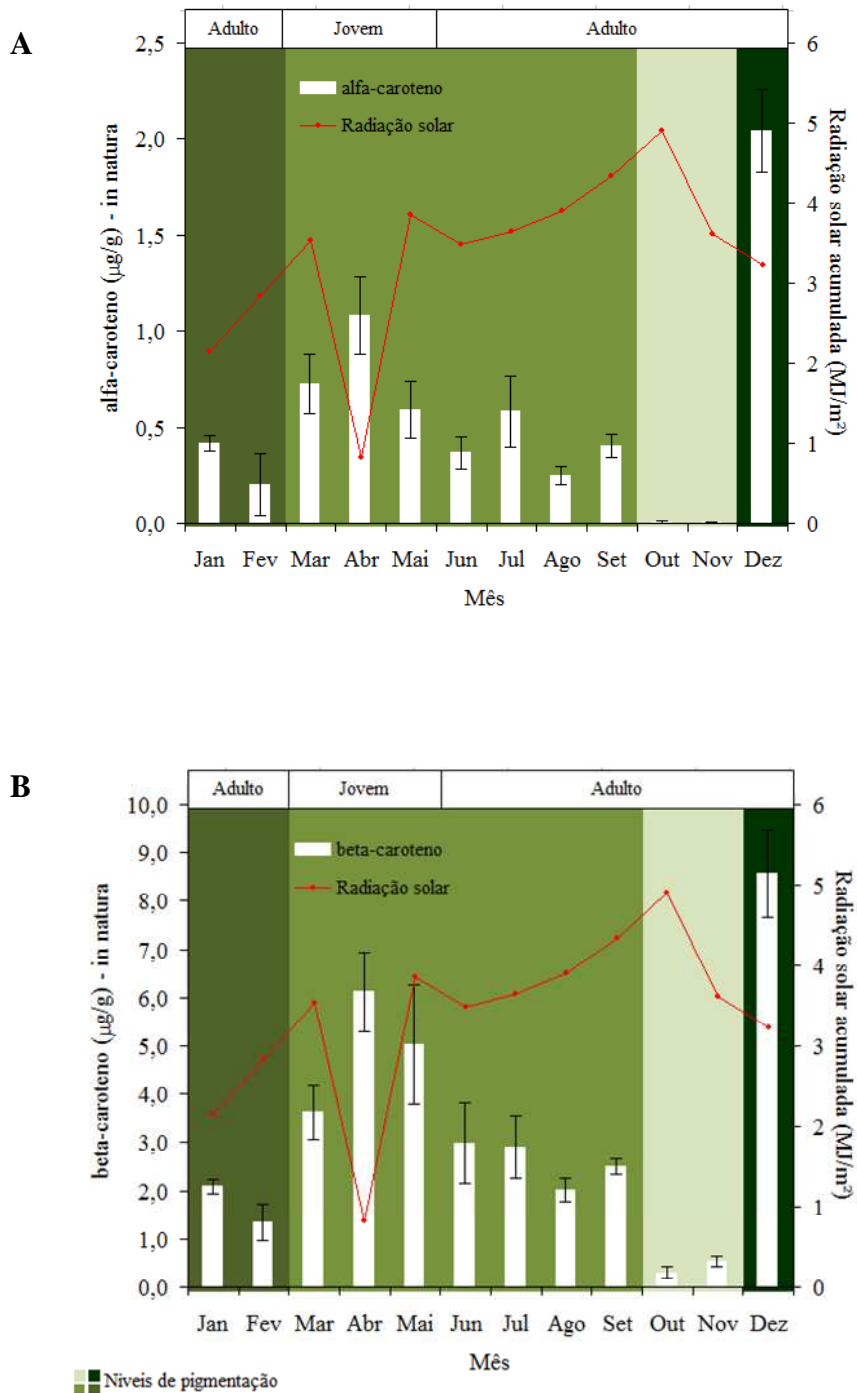


Figura 13 – Teores de α -caroteno (A) e β -caroteno (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva fasciata* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta).

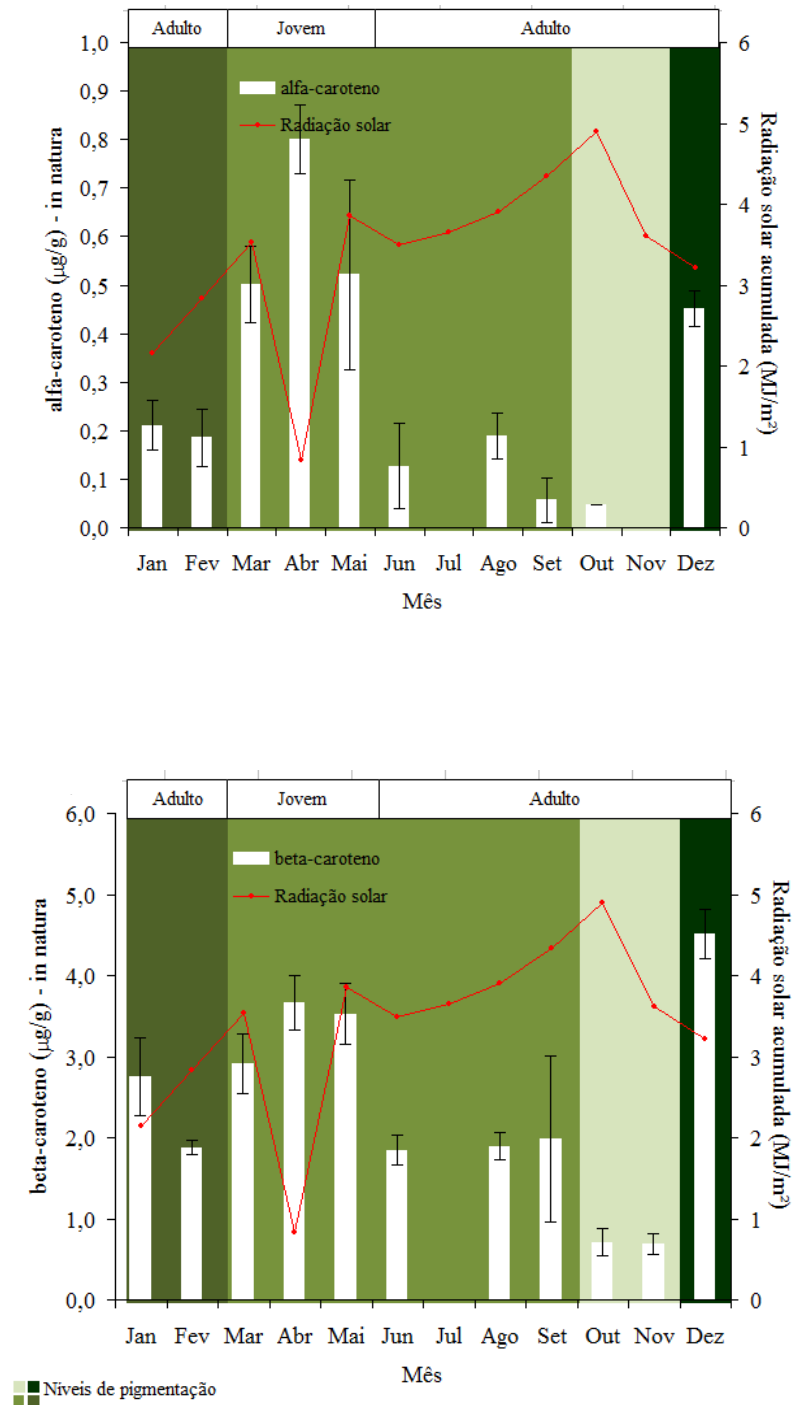


Figura 14 – Teores de α -caroteno (A) e β -caroteno (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva lactuca* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta).

Uma explicação plausível para este comportamento pode estar sustentada no fato de que quanto maior for a intensidade de radiação solar ou o tempo de exposição da alga mais provável é a foto-oxidação da clorofila (plantas verde muito claro) e dos carotenóides (conteúdo muito baixo), que são integrantes dos fotossistemas das algas.

A presença e o teor dos pigmentos e, conseqüentemente, a coloração das macroalgas marinhas, podem experimentar variações relacionadas com a reprodução, fase de crescimento da planta, salinidade da água, estações do ano e as acentuadas mudanças ambientais, que são características das regiões de mesolitoral, como, por exemplo, a intensidade de radiação solar que incide sobre as algas que permanecem descobertas durante a maré-baixa (CHAKRABORTY; SANTRA; BHATTACHARYA, 2010; HEGAZI *et al.* 1998; KAKINUMA *et al.*, 2006; KAKINUMA; KUNO; AMANO, 2004). A capacidade que algumas algas têm para superar esses desafios pode estar associada ao aumento de espécies reativas de oxigênio em seu metabolismo (DRING, 2006).

Vários autores (KUMAR *et al.*, 2011; MACIEL DA SILVA, 2003; NEPOMUCENO, 2008; PIRES *et al.*, 2008; SENGER *et al.*, 1993; SOUSA *et al.*, 2008) relataram variações de α - e β -caroteno entre espécies e/ou entre meses do ano, quando o estudo envolveu avaliação sazonal. Os carotenóides presentes nas algas verdes são fortemente influenciados pela intensidade de luz, comprimento de onda e duração da exposição (SENGER *et al.*, 1993).

Estudos mostram que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) não afeta os fotossistemas, enquanto as radiações ultravioleta A e B (UV-A e UV-B) podem causar fotoinibição ou danificar o aparato fotossintético das algas, além de causar alterações da organização dos cloroplastos (DRING, 2006; SCHMIDT *et al.*, 2010 b).

Bischof *et al.* (2002) observaram que sob radiação UV-A e UV-B, não houve alteração nos teores das clorofilas *a* e *b* ou β -caroteno na macroalga *U. lactuca*. No entanto, o conteúdo desses pigmentos aumentou sob a RFA. Eswaran *et al.* (2002) analisaram os efeitos da radiação UV-B sobre os teores de clorofila *a* e carotenóides em três espécies do gênero *Ulva* da Índia. As espécies *U. fasciata*, *U. lactuca* e *U. reticulata* foram expostas por 0, 30, 60, 90, 120 e 150 min e os teores de clorofila *a* e carotenóides diminuíram com o tempo de exposição. Da mesma forma, estudos com a espécie *U. olivascens* mostraram que o estresse metabólico ocasionado pela radiação UV-B causou uma redução de 70% a 80% no teor das clorofilas *a* e *b* e de carotenóides (ALTAMIRANO *et al.*, 2000). Figueroa *et al.* (2003) analisaram duas espécies de *Ulva* durante sete dias de cultivo, submetidas a RFA, UV-A e UV-B. Ao final do cultivo eles observaram que houve um decréscimo de 50% no conteúdo da

clorofila *a*, enquanto o da clorofila *b* se manteve constante. Já os carotenóides tiveram uma redução de 30% no seu conteúdo nos primeiros cinco dias de cultivo mantendo-se constante nos dois dias seguintes. A variação dos teores de outros carotenóides em macroalgas marinhas verdes foi estudada em relação a sua exposição a RFA, UV-A e UV-B. Em *U. lactuca*, os teores de violaxantina reduziram após seis dias de exposição às radiações, enquanto os de luteína aumentaram no mesmo período, talvez por algum mecanismo fotoprotetor desse carotenóide (FREDERSDORF; BISCHOF, 2007).

A relação entre a luz e os pigmentos de macroalgas vermelhas também foi estudada. Aumentos significativos nos conteúdos de ficoeritrina e ficocianina e de clorofila *a* e luteína foram observados em *Halymenia floresii* cultivada sob luz verde e vermelha e apenas verde, respectivamente. No entanto, não ocorreu variação nos teores de α - e β -caroteno nos espectros de luz estudados (GODÍNEZ-ORTEGA *et al.*, 2008). *Porphyra leucosticta* cultivada sob luz branca, azul, verde, amarela e vermelha mostrou conteúdo de ficoeritrina mais elevado, que foi diminuindo gradativamente com o aumento do comprimento de onda, enquanto a produção de ficocianina foi menor, porém se manteve praticamente constante nos diferentes tipos de luz (KORBEE; FIGUEROA; AGUILERA, 2005). Eswaran, Mairh e Subba Rao (2002) analisaram pigmentos fotossintéticos de *Gracilaria edulis* e observaram uma redução gradual nos conteúdos de clorofila *a*, ficoeritrina e ficocianina durante três dias de exposição à radiação UV-B. Schmidt *et al.* (2010b) observaram que a exposição de *G. domingensis* por apenas 3 h diárias à radiação UV-B durante 21 dias provocou uma redução nos conteúdos de clorofila *a*, aloficocianina, ficocianina e ficoeritrina. Estudos com *Kappaphycus alvarezii*, *Palmaria palmata* e *Phycodrys rubens*, cultivadas sob radiação UV-B tiveram uma redução no conteúdo de clorofila *a*, embora o tempo e as condições de cultivo tenham sido distintas (BISCHOF; HANELT; WIENCKE, 2000; ESWARAN; SUBBA RAO, MAIRH, 2001; SCHMIDT *et al.*, 2010a). Flores-Moya *et al.* (1998) analisaram as alterações no conteúdo de pigmentos de *Rissoella verruculosa* em função do tipo e da quantidade de radiação solar durante 16 h de exposição. Os tipos de radiação não alteraram os teores de clorofila *a*, ficocianina e ficoeritrina. No entanto, quando a intensidade dos três tipos de radiação foi maior, os conteúdos desses pigmentos reduziram.

Nas algas vermelhas além do tipo de radiação e da intensidade da luz, a limitação de nutrientes presentes na água também afeta o conteúdo dos pigmentos fotossintéticos. Estudos mostram que o primeiro pigmento a ser afetado pela radiação UV é a ficoeritrina, seguida pela ficocianina, carotenóides e, finalmente, pela clorofila *a* cuja resistência é maior do que a dos demais (BEACH; SMITH; OKANO, 2000).

Alguns trabalhos também já estabeleceram a relação entre os pigmentos de algas pardas e a radiação. Bischof, Hanelt e Wiencke (2000) analisaram os teores de clorofila *a* em *Laminaria solidungula* e *Alaria esculenta* e verificaram que houve redução de 25 a 50% do seu conteúdo após 75 h de exposição às radiações UV-A e UV-B.

4.4 Vitamina E

Alguns isômeros de α -tocoferol com atividade de vitamina E têm sido relatados em algas, sendo comum a presença de dois ou mais com atividades biológicas diferentes (MATANJUN *et al.*, 2009; SOUSA *et al.*, 2008; TABOADA, MILLÁN, MÍGUEZ, 2010).

No presente trabalho foram encontrados os isômeros α - e δ -tocoferol. Um cromatograma típico obtido para um padrão de 5 μ g de α - e δ -tocoferol está mostrado na Figura 15, cujos tempos de retenção foram $5,10 \pm 0,20$ min ($n = 48$) para α -tocoferol e $4,16 \pm 0,16$ min ($n = 48$) para δ -tocoferol.

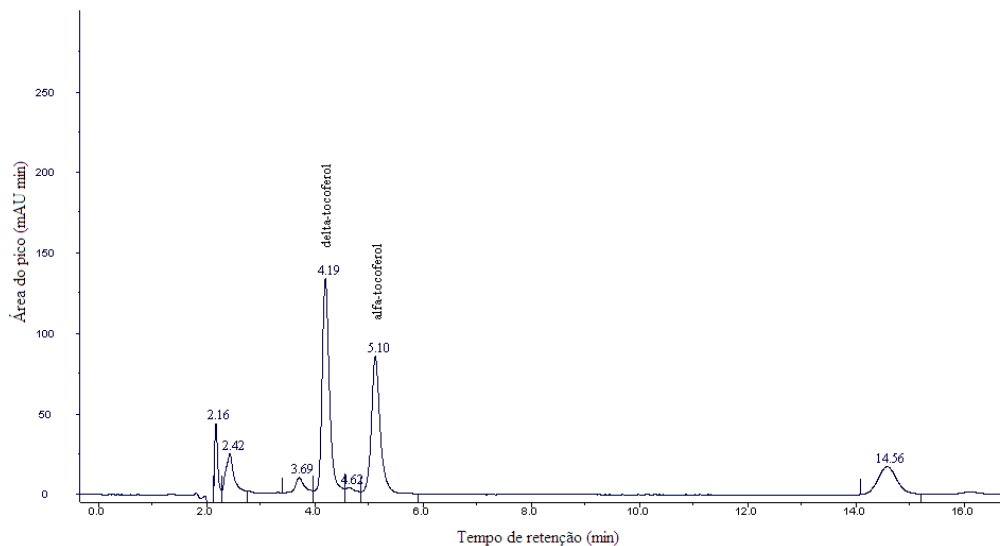


Figura 15 – Cromatograma típico de CLAE do (\pm)- α -tocoferol sintético $\geq 96\%$ (T-3251, Sigma) e (+)- δ -tocoferol $\geq 90\%$ (T-2028, Sigma), submetidos à saponificação e partição. Injeção de 5 μ g em coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm) com fase móvel constituída de MeOH:THF (95:5), fluxo de 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 292 nm.

Os tempos de retenção de α - e δ -tocoferol nos extratos algais foram $5,11 \pm 0,25$ ($n = 226$) e $4,16 \pm 0,23$ min ($n = 209$), respectivamente (Figura 16). Quando comparados àqueles referentes às soluções-padrão, não houve diferença estatisticamente significativa

($p \geq 0,05$). Nestes cromatogramas, além do α - e δ -tocoferol, apareceram outros picos que não foram identificados.

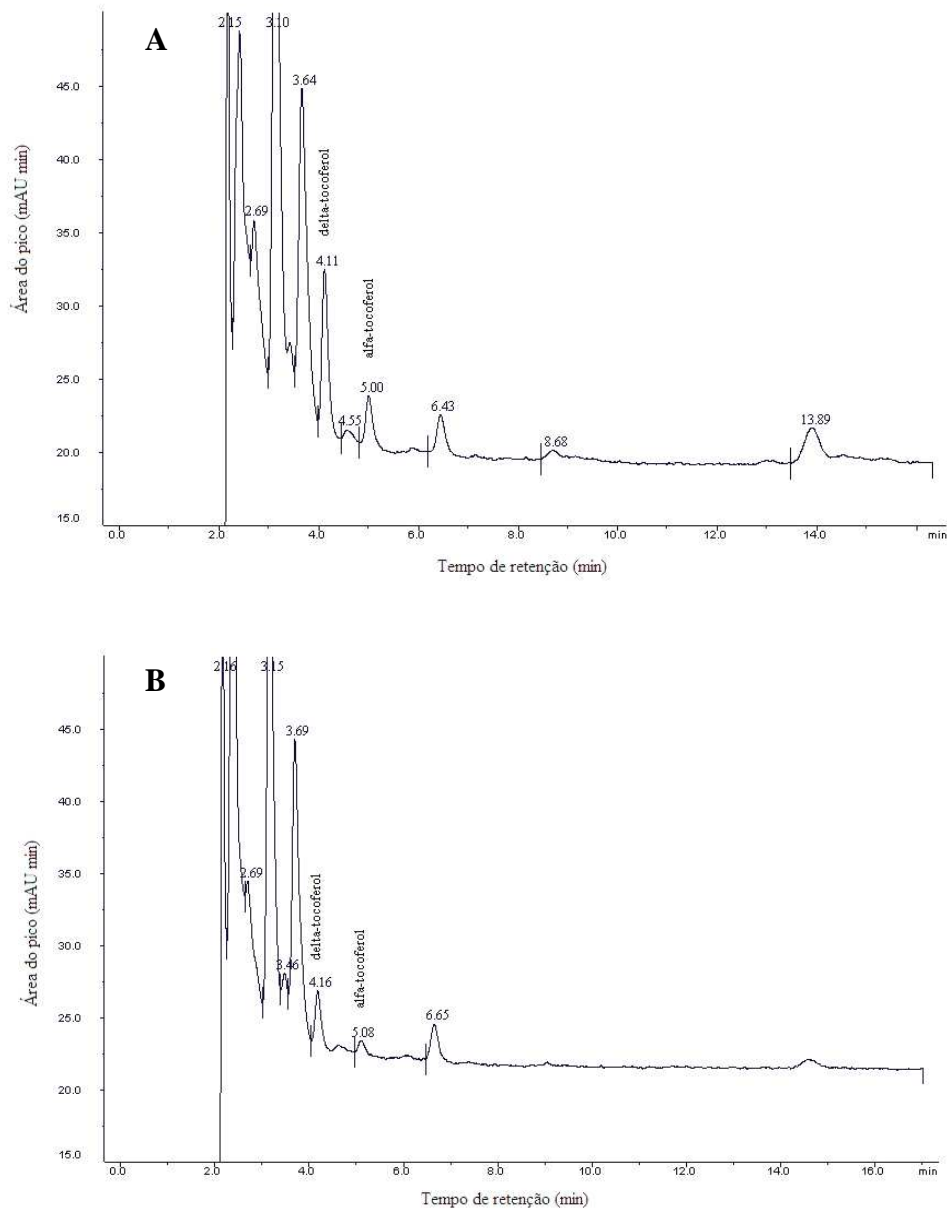


Figura 16 – Cromatogramas típicos de CLAE dos extratos das macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* (A) e *U. lactuca* (B) “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia, Ceará. Coluna Spherisorb S5 ODS 2 (4,6 x 250 mm), fase móvel MeOH:THF (95:5), fluxo 1,5 mL min⁻¹ e detecção em 292 nm.

Nas amostras mensais de *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” foram determinados teores variáveis de α - e δ -tocoferol (Tabela 7).

Tabela 7 – Conteúdos de α - e δ -tocoferol nas macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* “in natura”, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE no ano de 2007

Meses	<i>Ulva fasciata</i>		<i>Ulva lactuca</i>	
	α -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)	δ -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)	α -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)	δ -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Jan	11,457 \pm 3,261	1,006 \pm 0,000	8,212 \pm 4,452	8,639 \pm 4,284
Fev	8,969 \pm 2,336	13,331 \pm 5,231	1,327 \pm 0,776	7,762 \pm 0,610
Mar	12,007 \pm 1,806	12,009 \pm 2,593	9,273 \pm 4,890	10,186 \pm 2,122
Abr	13,786 \pm 0,000	13,585 \pm 0,629	5,567 \pm 1,447	8,390 \pm 1,012
Mai	11,789 \pm 3,110	13,259 \pm 3,474	9,439 \pm 3,850	10,580 \pm 0,748
Jun	9,301 \pm 4,589	10,339 \pm 0,139	1,644 \pm 0,407	4,830 \pm 3,211
Jul	5,198 \pm 3,638	12,010 \pm 1,435	*	*
Ago	7,871 \pm 3,667	7,480 \pm 0,389	9,464 \pm 1,330	7,366 \pm 3,838
Set	6,704 \pm 1,039	8,342 \pm 1,169	6,481 \pm 3,721	8,664 \pm 1,559
Out	5,030 \pm 1,522	5,086 \pm 0,573	6,398 \pm 2,967	8,266 \pm 0,732
Nov	8,303 \pm 1,292	9,963 \pm 2,552	7,669 \pm 1,726	9,718 \pm 1,331
Dez	13,939 \pm 2,147	1,006 \pm 0,000	10,685 \pm 1,898	10,834 \pm 1,052

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

Os resultados α -tocoferol equivalente (α -TE) e as porções (g) necessárias para que as espécies de algas “in natura” sejam consideradas fontes excelentes (FE) ou úteis (FU) estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Conteúdos de α -tocoferol equivalente (α -TE) nas macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E

Meses	<i>Ulva fasciata</i>			<i>Ulva lactuca</i>		
	α -TE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)		α -TE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)	
		FE ($1/2$ IDR)	FU ($1/6$ IDR)		FE ($1/2$ IDR)	FU ($1/6$ IDR)
Jan	11,457 \pm 3,261	436	145	8,212 \pm 4,452	609	203
Fev	8,969 \pm 2,336	557	186	1,327 \pm 0,776	3.767	1.255
Mar	12,007 \pm 1,806	416	139	9,273 \pm 4,890	539	180
Abr	13,786 \pm 0,000	363	121	5,567 \pm 1,447	898	299
Mai	11,789 \pm 3,110	424	141	9,439 \pm 3,850	530	177
Jun	9,301 \pm 4,589	538	179	1,644 \pm 0,407	3.041	1.013
Jul	5,198 \pm 3,638	962	320	*	*	*
Ago	7,871 \pm 3,667	635	212	9,464 \pm 1,330	528	176
Set	6,704 \pm 1,039	746	248	6,481 \pm 3,721	771	257
Out	5,030 \pm 1,522	994	331	6,398 \pm 2,967	782	260
Nov	8,303 \pm 1,292	602	201	7,669 \pm 1,726	652	217
Dez	13,939 \pm 2,147	359	120	10,685 \pm 1,898	468	156

* Não houve coleta de biomassa algal no ambiente.

As porções das algas *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” (Tabela 8) para serem consumidas diariamente e serem FE de vitamina E foram consideradas inadequadas, porém para serem FU a recomendação de ingestão de 120 g em *U. fasciata* seria aceitável. Considerando que ingestão diária recomendada (IDR) para a vitamina E (tocoferóis) é 10 mg ou 10.000 µg α-TE, o consumo diário de porções de 100 g de *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura”, coletadas no mês de dezembro, forneceria 14 e 11% da IDR, respectivamente.

Embora ainda existam relativamente poucos trabalhos sobre a quantidade de tocoferóis em macroalgas marinhas, alguns estudos têm mostrado que, em geral, as feófitas apresentam teores maiores que as rodófitas e clorófitas (JENSEN, 1969a; MIYASHITA; TAKAGI, 1987). Contrariamente, Sousa *et al.* (2008) encontraram teores de α-tocoferol mais elevados nas algas verdes que do nas pardas e vermelhas.

As diferenças nos teores de tocoferóis entre as espécies de macroalgas são atribuídas às condições ambientais como temperatura da água e/ou intensidade de luz e também ao local de coleta (SÁNCHEZ-MACHADO *et al.*, 2002). O teor de tocoferóis já foi determinado em diversas espécies de Chlorophyta e alguns desses resultados, expressos em µg g⁻¹ de alga fresca, estão apresentados a seguir: *Caulerpa sertularioides* (445,45 ± 15,09), *C. prolifera* (383,047 ± 85,254), *C. racemosa* (246,605 ± 122,033), *C. cupressoides* (224,177 ± 35,051), *C. mexicana* (60,938 ± 20,052), *Ulva fasciata* (31,26 ± 6,06), *Codium decortiatum* (15,650 ± 2,634), *Chaetomorpha moniligera* (0,15), *Enteromorpha prolifera* (0,09) e *U. pertusa* (0,07) (MIYASHITA; TAKAGI, 1987; PIRES-CAVALCANTE *et al.*, 2011; SOUSA *et al.*, 2008).

Sousa *et al.* (2008) encontraram α-tocoferol nas rodófitas *Acantophora* sp., *Amansia multifida*, *Bryothamnion seaforthii*, *B. triquetrum*, *Cryptonemia crenulata*, *Enantiocladia duperreyi*, *Eucheuma* sp., *Gracilaria birdaea*, *G. domingiensis*, *G. ferox*, *Osmundea obtusiloba* e *Pterocladia americana* com conteúdo entre 2 a 32 µg g⁻¹ de peso fresco e, em cinco espécies de feófitas (*Dictyopteris delicatula*, *Dictyota dichotoma*, *Lobophora variegata*, *Padina gymnospora* e *Sargassum cymosum*) que apresentaram valor máximo de 43 µg g⁻¹ e mínimo de 5 µg g⁻¹.

Nas amostras mensais das macroalgas marinhas verdes *U. fasciata* e *U. lactuca* desidratadas também foram detectadas quantidades variáveis de α- e δ-tocoferol durante o ano (Tabela 9).

Tabela 9 - Conteúdos de α - e δ -tocoferol das macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* desidratadas a 40°C por 15 h, coletadas na Praia do Pacheco, Caucaia-CE coletadas no ano de 2007

Meses	<i>Ulva fasciata</i>		<i>Ulva lactuca</i>	
	α -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)	δ -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)	α -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)	δ -tocoferol ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Jan	7,625 \pm 4,054	9,511 \pm 2,430	4,762 \pm 3,337	5,604 \pm 3,533
Fev	5,318 \pm 1,452	4,504 \pm 2,169	2,524 \pm 0,897	2,913 \pm 1,336
Mar	5,648 \pm 1,760	2,571 \pm 2,279	8,271 \pm 3,996	8,322 \pm 2,667
Abr	4,920 \pm 1,204	1,994 \pm 1,108	5,451 \pm 2,727	4,480 \pm 3,092
Mai	5,427 \pm 0,397	2,161 \pm 0,600	6,669 \pm 3,844	3,451 \pm 1,945
Jun	8,033 \pm 4,051	8,716 \pm 2,344	4,504 \pm 1,975	4,731 \pm 2,773
Jul	7,736 \pm 4,298	9,276 \pm 5,122	*	*
Ago	7,292 \pm 3,432	9,849 \pm 2,220	5,051 \pm 1,681	4,570 \pm 1,867
Set	5,868 \pm 1,645	6,969 \pm 1,392	5,674 \pm 1,257	8,646 \pm 4,386
Out	3,664 \pm 2,406	4,185 \pm 1,923	9,621 \pm 1,542	11,281 \pm 3,777
Nov	4,833 \pm 2,511	7,535 \pm 3,297	2,851 \pm 2,942	4,106 \pm 3,621
Dez	7,636 \pm 5,906	3,680 \pm 0,641	3,373 \pm 1,414	3,815 \pm 1,559

* Não houve coleta de material algal no ambiente.

Os resultados α -tocoferol equivalente (α -TE) e as porções (g) necessárias para que as espécies de algas desidratadas sejam consideradas fontes excelentes (FE) ou úteis (FU) estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Conteúdos de α -tocoferol equivalente (α -TE) das macroalgas marinhas verdes *Ulva fasciata* e *U. lactuca* desidratada a 40°C por 15 h e a porção de alga a ser consumida para ser considerada fonte excelente (FE) ou útil (FU) de vitamina E

Meses	<i>Ulva fasciata</i>			<i>Ulva lactuca</i>		
	α -TE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)		α -TE ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porção (g)	
		FE ($1/2$ IDR)	FU ($1/6$ IDR)		FE ($1/2$ IDR)	FU ($1/6$ IDR)
Jan	7,625 \pm 4,054	656	218	4,762 \pm 3,337	1.050	350
Fev	5,318 \pm 1,452	940	313	2,524 \pm 0,897	1.981	660
Mar	5,648 \pm 1,760	885	295	8,271 \pm 3,996	605	201
Abr	4,920 \pm 1,204	1.016	339	5,451 \pm 2,727	917	306
Mai	5,427 \pm 0,397	921	307	6,669 \pm 3,844	750	250
Jun	8,033 \pm 4,051	622	207	4,504 \pm 1,975	1.110	370
Jul	7,736 \pm 4,298	646	215	*	*	*
Ago	7,292 \pm 3,432	686	228	5,051 \pm 1,681	990	330
Set	5,868 \pm 1,645	852	284	5,674 \pm 1,257	881	294
Out	3,664 \pm 2,406	1.365	455	9,621 \pm 1,542	520	173
Nov	4,833 \pm 2,511	1.035	345	2,851 \pm 2,942	1.754	584
Dez	7,636 \pm 5,906	655	218	3,373 \pm 1,414	1.482	494

* Não houve coleta de material algal no ambiente.

Com relação ao α -TE, a ingestão diária de 20 g de *U. fasciata* desidratada coletada no mês de dezembro forneceria apenas 1,5% da IDR, enquanto a mesma porção de *U. lactuca* coletada no mês de março forneceria apenas 1,6% da IDR.

As porções de consumo diário das espécies *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratada (Tabelas 8 e 10), em sua maioria, foram elevados. Porém há um consenso de que só uma dieta diversificada e balanceada, contendo alimentos de origem animal e vegetal, é capaz de suprir todas as necessidades nutricionais do indivíduo, não sendo razoável ter a expectativa de que apenas um item alimentar cumpra esta função.

Os teores de α -tocoferol variaram de 19,7 a 35 $\mu\text{g g}^{-1}$ em *Ulva rigida* e *U. lactuca*, respectivamente (JENSEN, 1969a; TABOADA; MILLÁN; MÍGUEZ, 2010). Em outras clorófitas, Jensen (1969a), Matanjun *et al.* (2009) e Miyashita e Takagi (1987) determinaram α -tocoferol em *Caulerpa lentillifera*, *Chaetomorpha monilifera*, *Enteromorpha intestinalis* e *E. prolifera*, com uma variação de 0,75 a 92 $\mu\text{g g}^{-1}$ em peso seco.

Nas rodófitas *Eucheuma cottonii*, *Gigartina stellata*, *Gracilaria lemaneiformis*, *Odonthalia dentata*, *Palmaria palmata*, *Polysiphonia fastigiata*, *Porphyra yezoensis*, *Pterocladia capillacea* e *Rhodomela subfusca*, os teores variaram de 11,05 a 80 $\mu\text{g g}^{-1}$ em peso seco (JENSEN, 1969a, MATANJUN *et al.*, 2009; MIYASHITA; TAKAGI, 1987; WEN *et al.*, 2006). Nas feófitas os teores de tocoferóis têm sido encontrados em maiores concentrações. Os homólogos α -, γ - e δ -tocoferol foram quantificados em Fucales (*Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *F. serratus* e *Himantalia elongata*). Os teores de α -tocoferol variaram de 52 a 4.300 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. δ - e γ -Tocoferol foram encontrados apenas em *F. vesiculosus*, *F. serratus* e *A. nodosum*, os quais variaram de 1.100 a 2.200 e de 800 a 1.700 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco, respectivamente (LETUTOUR *et al.*, 1998). Outros autores encontraram valores de α -tocoferol considerados baixos para as feófitas. Matanjun *et al.*, (2009) encontraram 113 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco em *Sargassum polycystum*. Em Laminariales (*Laminaria japonica* e *Eisenia arborea*) os teores encontrados foram de 9 a 96 $\mu\text{g g}^{-1}$ e na Tilopteridales *Saccorhiza polyschides* conteúdo foi de 5,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco (HERNÁNDEZ-CARMONA *et al.*, 2009; MIYASHITA; TAKAGI, 1987).

Da mesma forma que foi feito para os carotenóides provitamina A, associações entre coloração, idade da planta, radiação solar e teores de α - e δ -tocoferol foram estabelecidas unicamente para as amostras mensais de algas “in natura”, e os resultados estão apresentados nas Figuras 17 (*U. fasciata*) e 18 (*U. lactuca*).

Não houve um padrão semelhante para estes compostos nas duas espécies. Por exemplo, elevados conteúdos de tocoferol foram observados nas algas de coloração verde muito escuro de dezembro, mas para *U. fasciata* no referido mês ocorreu pouquíssimo δ -tocoferol. Nos meses de outubro e novembro, quando as algas estavam praticamente descoloridas, os teores dos tocoferóis não foram muito diferentes dos encontrados para as outras tonalidades. Da mesma forma não foi possível perceber uma relação óbvia entre os teores destes compostos e plantas jovens e adultas ou radiação solar mais ou menos intensa.

Os tocoferóis são sintetizados nos cloroplastos das algas, são potentes antioxidantes e seu conteúdo aumenta com a temperatura da água, tempo de exposição à luz e radiação global, que consistem em fatores que influenciam a atividade fotossintética (SOUTH; WHITTICK, 1987). Apesar disso, não foi possível estabelecer relação entre a variação dos tocoferóis de *Ulva fasciata* e *U. lactuca* e a radiação solar. Embora Miyashita e Takagi (1987) tenham encontrado teores elevados de α -tocoferol em plantas em crescimento, no presente trabalho esta observação não ficou evidente.

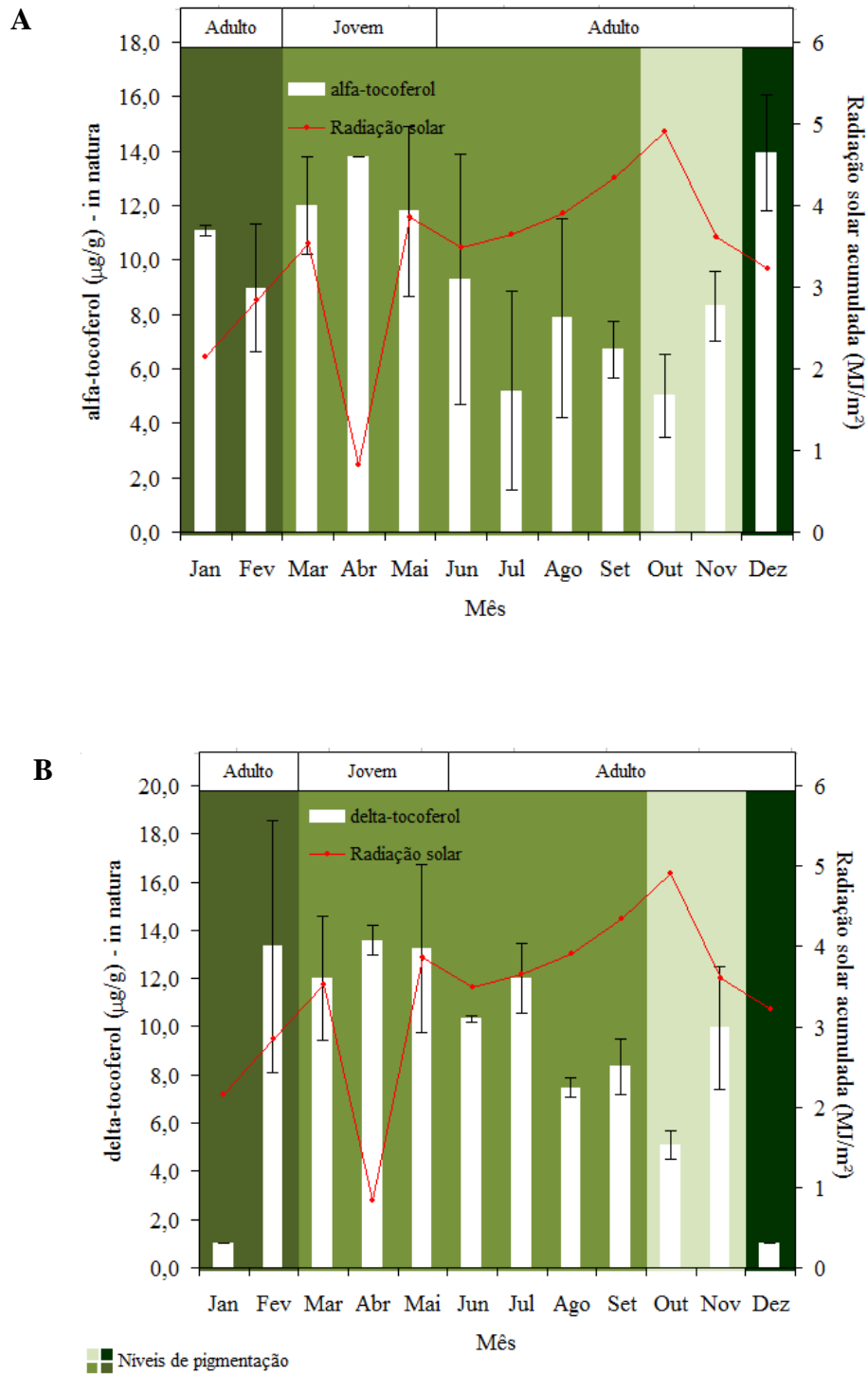


Figura 17 – Teores de α -toceferol (A) e δ -toceferol (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva fasciata* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta).

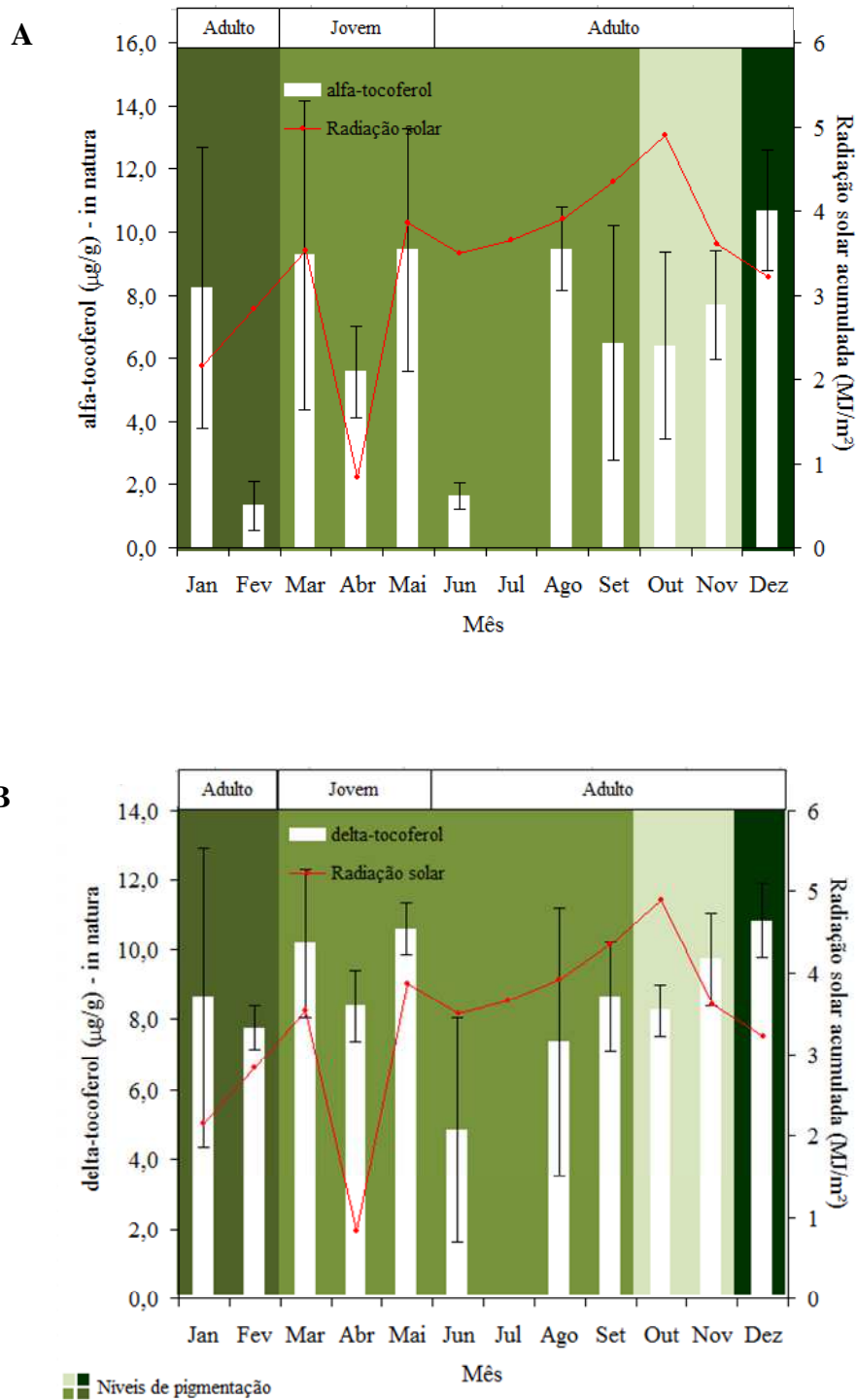


Figura 18 – Teores de α -tocoferol (A) e δ -tocoferol (B) em amostras mensais da macroalga marinha verde *Ulva lactuca* “in natura”, associados com a radiação solar e ao estágio de vida das plantas (jovem ou adulta).

5 CONCLUSÃO

Os teores de proteína total em *U. fasciata* e *U. lactuca* variaram ao longo do ano. Já os teores de lipídios foram sempre baixos, e os teores de carboidratos e cinzas apresentaram pequena variação ao longo do ano.

O sistema e o método cromatográfico desenvolvidos no presente trabalho foram adequados para a identificação e quantificação simultânea de α -caroteno, β -caroteno, α -tocoferol e δ -tocoferol.

Nas amostras mensais de *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratadas foram detectadas as presenças de α - e β -caroteno em quantidades variáveis ao longo dos doze meses de coleta.

Nas espécies do gênero *Ulva* analisadas “in natura” e desidratadas, os teores de β -caroteno foram maiores que os α -caroteno.

A contribuição das macroalgas marinhas verdes *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratadas como fonte de vitamina A foi variável ao longo dos doze meses do ano. O conteúdo máximo de retinol equivalente (RE) foi observado no mês dezembro em *U. fasciata* “in natura”.

Em ambas as espécies, as macroalgas adultas e de cor verde muito claro apresentaram os menores teores de α - e β -caroteno, coincidindo com elevada intensidade de radiação solar. Quando as concentrações dos carotenóides foram máximas, as plantas adultas apresentaram coloração verde muito escura e a radiação solar foi inferior aos meses anteriores.

Nas amostras mensais *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratadas foram detectadas as presenças de α - e δ -tocoferol em teores variáveis ao longo do ano.

A contribuição das macroalgas marinhas verdes *U. fasciata* e *U. lactuca* “in natura” e desidratadas como fonte de vitamina E foi variável ao longo dos doze meses do ano. O

conteúdo máximo de tocoferol equivalente (TE) foi observado no mês dezembro em *U. fasciata* “in natura”.

Não foi possível perceber uma relação óbvia entre os teores de α - e δ -tocoferol e coloração, idade da planta ou radiação solar mais ou menos intensa.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, J.; GORDILLO, F. J. L.; KARSTEN, U.; FIGUEROA, F. L.; NIELL, F. X. Light quality effect on photosynthesis and efficiency carbon assimilation in the alga *Porphyra leucostica*. **Journal of Plant Physiology**, Malaga, v. 157, n. 1, p. 86-92, July 2000.
- AGUILERA-MORALES, M.; CASAS-VALDEZ, M.; CARRILLO-DOMÍNGUEZ, B.; GONZÁLEZ-ACOSTA, B.; PÉREZ-GIL, F. Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* spp. a potential food source. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 18, n. 1, p. 79-88, Feb 2005.
- AL-DUAIS, M.; HOHBEIN, J.; WERNER, S.; BÖHM, V. Contents of vitamin C, carotenoids, tocopherols, and tocotrienols in the subtropical plant species *Cyphostemma digitatum* as affected by processing. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.57, n.12, p. 5420-5427, June 2009.
- ALGAEBASE. **Listing the world's algae**. Disponível em: <<http://www.algaebase.org>> Acesso em: 22 nov. 2011.
- ALTAMIRANO, M.; FLORES-MOYA, A.; CONDE, F.; FIGUEROA, F. L. Growth seasonality, photosynthetic pigments, and carbon and nitrogen content in relation to environmental factors: a field study of *Ulva olivascens* (Ulvales, Chlorophyta). **Phycologia**, Lawrence, v. 39, n.1, p. 50-58, Jan 2000.
- AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 233-243, mar-abr 2006.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**, Washington, v. 2, 17.ed., 2000.
- ARORA, S.; BAGORIA, R.; KUMAR, M. Effect of alpha-tocopherol (vitamin E) on the thermal degradation behavior of edible oils. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v.102, n. 1, p. 375-381, Oct 2010.
- ARUOMA, O. I. Functional nutraceuticals. **Toxicology**, Clare, v. 278, n. 1, p. 2-5, Nov 2010.
- ATKINSON, J.; EPAND, R. F.; EPAND, R. M. Tocopherols and tocotrienols in membranes: A critical review. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 44, n. 5, p. 739-764, Mar 2008.

BAETHGEN, W. E.; ALLEY, M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digest. **Soil Science Plant Analysis**, North Carolina, v.20, n.9-10, p.961-969, 1989.

BANERJEE, K.; GHOSH, R.; HOMECHAUDHURI, S.; MITRA, A. Seasonal variation in the biochemical composition of red seaweed (*Catenella repens*) from Gangetic Delta, Northeast coast of India. **Journal of Earth System Science**, Bangalore, v. 118, n. 5, p. 497-505, Oct 2009.

BEACH, K. S.; SMITH, C. M.; OKANO, R. Experimental analysis of Rhodophyte photoacclimation to PAR and UV-radiation using *in vivo* absorbance spectroscopy. **Botanica Marina**, Berlin, v. 43, n. 6, p. 525-536, Nov 2000.

BENDICH, A.; OLSON, J. A. Biological actions of carotenoids. **FASEB Journal**, Bethesda, v. 3, n. 8, p. 1927-1932, June 1989.

BESSAOUD, F.; DAURES, J. P.; GERBER, M. Dietary factors and breast cancer risk: A case control study among a population in Southern France. **Nutrition and Cancer - an International Journal**, Philadelphia, v. 60, n. 2, p. 177-187, Mar-Apr 2008.

BISCHOF, K.; HANELT, D.; WIENCKE, C. Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reactions of marine macroalgae. **Planta**, New York, v. 211, n. 4, p. 555-562, Sept 2000.

BISCHOF, K.; KRÄBS, G.; WIENCKE, C.; HANELT, D. Solar ultraviolet radiation affects the activity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase-oxygenase and the composition of photosynthetic and xanthophyll cycle pigments in the intertidal green alga *Ulva lactuca* L. **Planta**, New York, v. 215, n. 3, p. 502-509, July 2002.

BOCANEGRA, A.; BASTIDA, S.; BENEDÍ, J.; RÓDENAS, S.; SÁNCHEZ-MUNIZ, F. J. Characteristics and nutritional and cardiovascular - health properties of seaweeds. **Journal of Medicinal Food**, New York, v. 12, n. 2, p. 236-258, May 2009.

BRASIL. Resolução (2005). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 269 de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Brasília, DF. Anvisa, 2005.

BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; GALLI, F. Vitamin E: A vitamin still awaiting the detection of its biological function. **Molecular Nutrition & Food Research**, Malden, v. 54, n. 5, p. 583-587, May 2010.

BRIGELIUS-FLOHÉ, R. Vitamin E: The shrew waiting to tamed. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 46, n.5, p. 543-554, Mar 2009.

BRITTON, G.; LIAAEN-JENSEN, S.; PFANDER, H. Carotenoids Handbook. Basel:Berkhäuser Verlag, 2004.

BRITTON, I. Structure and properties of carotenoids in relation to function. **FASEB Journal**, Bethesda, v. 9, n. 15, p. 1551-1558, Dec 1995.

CAHOON, E. B.; HALL, S. E.; RIPP, K. G.; GANZE, T. S.; HITZ, W. D.; COUGHLAN, S. J. Metabolic redesign of vitamin E biosynthesis in plants for tocotrienol production and increased antioxidant content. **Nature Biotechnology**, New York, v. 21, n. 9, p. 1082-1087, Sept 2003.

CAMPBELL, S.; STONE, W.; WHALEY, S.; KRISHNAN, K. Development of gamma (γ)-tocopherol as a colorectal cancer chemopreventive agent. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, New York, v. 47, n. 3, p. 249-259, Sept 2003.

CARETTO, S.; NISI, R.; PARADISO, A.; DE GARRA, L. Tocopherol production in plant cell cultures. **Molecular Nutrition & Food Research**, Weinheim, v. 54, n. 5, p. 726-730, May 2010.

CARNICAS, E.; JIMÉNEZ, C.; NIELL, F. X. Effects of changes of irradiance on the pigment composition of *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* Zhang et Xia. **Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology**, Lausanne, v. 50, p. 149-158, July 1999.

CARRILLO-DOMINGUEZ, S.; CASAS-VALDEZ, M. M. ; RAMOS-RAMOS, F.; PÉREZ-GIL, F.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, I. Algas marinas de Baja California Sur, México: Valor nutrimental. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caraça, v. 52, n. 4, p. 400-405, 2002.

CARVALHO, A. F. U.; PORTELA, M. C. C.; SOUSA, M. B.; MARTINS, F. S.; ROCHA, F. C., FARIAS, D. F.; FEITOSA, J. P. A. Physiological and physico-chemical characterization of dietary fibre from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 969-977, Aug 2009.

COLOMBO, M. L.; RISÈ, P.; GIAVARINI, F.; DE ANGELIS, L.; GALLI, C.; BOLIS, C. L. Marine macroalgae as source of polyunsaturated fatty acids. **Plants Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 61, n. 2, p. 67-72, June 2006.

CHAKRABORTY, K.; LIPTON, A. P.; PAULRAJ, R.; VIJAYAN, K. K. Antibacterial labdane diterpenoids of *Ulva fasciata* Delile from southwestern coast of the Indian Peninsula. **Food Chemistry**, Oxford, v. 119, n. 4, p. 1399-1408, Apr 2010.

CHAKRABORTY, S.; SANTRA, S. C.; BHATTACHARYA, T. Seasonal variation of enzyme activity and stress metabolites in eight benthic macro algae with fluctuations in salinity of Sunderban estuary, India. **Indian Journal of Marine Sciences**, New Delhi, v. 39, n. 3, p. 429-433, Sept 2010.

CHAKRABORTY, S.; SANTRA, S. C. Biochemical composition of eight algae collected from Sunderban. **Indian Journal of Marine Sciences**, New Delhi, v. 37, n. 3, p. 329-332, Sept 2008.

CHAROENSIRI, R.; KONGKACHUICHA, R.; SUKNICOM, S.; SUNGPUAG, P. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v. 113, n. 1, p. 202-207, Mar 2009.

CHUN, J.; LEE, J.; YE, L.; EXLER, J.; EITENMILLER, R. R. Tocopherol and tocotrienol contents of raw and processed fruits and vegetables in the United States diet. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 19, n.2-3, p. 196-204, 2006.

COFRADES, S.; LÓPEZ- LÓPEZ, I.; BRAVO, L.; RUIZ-CAPILLAS, C.; BASTIDA, S.; LARREA, M. T.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Nutritional and antioxidant properties of different brown and red Spanish edible seaweeds. **Food Science and Technology International**, London, v. 16, n. 5, p. 361-370, Oct 2010.

COFRADES, S.; LÓPEZ-LÓPEZ, I.; SOLAS, M. T.; BRAVO, L.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. **Meat Science**, Oxford, v. 79, n. 4, p. 767-776, Aug 2008.

COSTA, P. A.; BALLUS, C. A.; TEIXEIRA-FILHO, J.; GODOY, H. T. Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. **Food Research International**, Amsterdam, v. 43, n. 6, p. 1603-1606, July 2010.

DAWCZYNSKI, C.; SCHUBERT, R.; JAREIS, G. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweeds products. **Food Chemistry**, Oxford, v. 103, p. 891-899, 2007.

DENIS, C.; MORANÇAIS, M.; LI, M.; DENIAUD, E.; GAUDIN, P.; WIELGOSZ-COLLIN, G.; BARNATHAN, G.; JAOUEN, P.; FLEURENCE, J. Study of chemical composition of edible red macroalgae *Grateloupia turuturu* Brittany (France). **Food Chemistry**, Oxford, n. 3, v. 119, p. 913-917, Apr 2010.

DORJGOCHOO, T.; GAO, Y.; CHOW, W.; SHU, X.; LI, H.; YANG, G.; CAI, Q.; ROTHMAN, N.; CAI, H.; FRANKE, A.; ZHENG, W.; DAI, Q. Plasma carotenoids, tocopherols, retinol and breast cancer risk: results from the Shanghai Women Health Study (SWHS). **Breast Cancer Research and Treatment**, New York, v. 117, n. 2, p. 381-389, Sept 2009.

DRING, M. J. Stress resistance and disease resistance in seaweeds: The role of reactive oxygen metabolism. **Advances in Botanical Research**, London, v. 43, p. 175-207, 2006.

ESWARAN, K.; GANESAN, M.; PERIYASAMY, C.; SUBBA RAO, P. V. Effect of ultraviolet-B radiation on biochemical composition of three *Ulva* species (Chlorophyta) from southeast coast of India. **Indian Journal of Marine Sciences**, New Delhi, v. 31, n. 4, p. 334-336, Dec 2002.

ESWARAN, K.; MAIRH, O. P.; SUBBA RAO, P. V. Inhibition of pigments and phycocolloid in a marine red alga *Gracilaria edulis* by ultraviolet-B radiation. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 157-159, 2002.

ESWARAN, K.; SUBBA RAO, P. V.; MAIRH, O. P. Impact of ultraviolet-B radiation on a marine red alga *Kappaphycus alvarezii* (Solieriaceae, Rhodophyta). **Indian Journal of Marine Sciences**, New Delhi, v. 30, n. 2, p. 105-107, June 2001.

FAO 2003. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/005/AC911E/AC911E00.HTM>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

FAO 2010. **Yearbook - Fishery and Aquaculture Statistics**. World Aquaculture Production of Aquatic Plants. A-5. p. 43, 2010.

FERRY, M.; ROUSSEL, A. -M. Micronutrient status and cognitive decline in ageing. **European Geriatric Medicine**, Milano, v. 2, n. 1, p. 15-21, Feb 2011.

FIGUEROA, F. L.; AGUILERA, J.; NIELL, F. X. Red and blue-light regulation of growth and photosynthetic metabolism in *Porphyra umbilicalis* (Bangiales, Rhodophyta). **European Journal of Phycology**, Oxford, v. 30, p. 11-18, Feb 1995.

FIGUEROA, F. L.; NYGÅRD, C.; EKELUND, N.; GÓMEZ, I. Photobiological characteristics and photosynthetic UV responses in two *Ulva* species (Chlorophyta) from southern Spain. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Lausanne, v. 72, n. 1-3, p. 35-44, Dec 2003.

FLEURENCE, J. Seaweeds proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. **Trends in Food Science & Technology**, London, v. 10, n. 1, p. 25-28, Jan 1999.

FLORES-MOYA, A.; GÓMEZ, I.; VIÑEGLA, M. A.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, E.; MAESTRE, C.; CABALLERO, R. M.; FIGUEROA, F. L. Effects of solar radiation on the endemic Mediterranean red alga *Rissoella verruculosa*: photosynthetic performance, pigment content and the activities of enzymes related to nutrient uptake. **New Phytologist**, New York, v. 139, n. 4, p. 673-683, Aug 1998.

FOSTER, G. G.; HODGSON, A. N. Consumption and apparent dry matter digestibility of six intertidal macroalgae by *Turbo sarmaticus* (Mollusca: Vetigastropoda: Turbinidae). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 167, n. 3-4, p. 211-227, Sept 1998.

FUJIWARA-ARASAKI, T.; MINO, N.; KURODA, M. The protein value in human-nutrition of edible marine-algae in Japan. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 116-117, n. 1, p. 513-516, 1984.

FREDERSDORF, J.; BISCHOF, K. Irradiance of photosynthetically active radiation determines ultraviolet-susceptibility of photosynthesis in *Ulva lactuca* L. (Chlorophyta). **Phycological Research**, Oxford, v. 5, n. 4, p. 295-301, Dec 2007.

FRIKHA, F.; KAMMOUN, M.; HAMMAMI, N.; MCHIRGUI, R. A.; BELBAHRI, L.; GARGOURI, Y.; MILED, N.; BEN-REBAH, F. Chemical composition and some biological activities of marine algae collected in Tunisia. **Ciencias Marinas**, Baja California, v. 37, n. 2, p. 113-124, June 2011.

GALLAND-IRMOULI, A. V.; FLEURENCE, J.; LAMGHARI, R.; LUCON, M.; ROUXEL, C.; BARBAROUX, O.; BRONOWICKI, J. P.; VILLAUME, C.; GUEANT, J. L. Nutritional value of proteins from edible seaweed *Palmaria palmata* (Dulse). **Journal of Nutritional Biochemistry**, New York, v. 10, n. 6, p. 353-359, June 1999.

GERASIMENKO, N. I.; BUSAROVA, N. G.; MOISEENKO, O. P. Age-dependent changes in the content of lipids, fatty acids, and pigments in brown alga *Costaria costata*. **Russian Journal of Plant Physiology**, New York, v. 57, n. 1, p. 62-68, Mar 2010.

GIMENO, E.; CALERO, E.; CASTELLOTE, A. I.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M.; TORRE, M.C.; LÓPEZ-SABATER, M.C. Simultaneous determination of α -tocopherol and β -carotene in olive oil by reversed-phase high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 881, n. 1-2, p. 255-259, June 2000.

GO, H.; HWANG, H.; NAM, T. A glycoprotein from *Laminaria japonica* induces apoptosis in HT-29 colon cancer cells. **Toxicology in Vitro**, Oxford, v. 24, p. 1546-1553, Sept 2010.

GODÍNEZ-ORTEGA, J. L.; SNOEIJIS, P.; ROBLEDO, D.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; PEDERSÉN, M. Growth and pigment composition in the red alga *Halymenia floresii* cultured under different light qualities. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 20, n. 3, p. 253-260, 2008.

GÓMEZ-ORDÓÑEZ, E.; JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; RUPÉREZ, P. Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast. **Food Research International**, Amsterdam, v. 43, n. 9, p. 2289-2294, Nov 2010.

GONZALEZ, C. A.; RIBOLI, E. Diet and cancer prevention: Contributions from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. **European Journal of Cancer**, Oxford, v. 46, n. 14, p. 2555-2562, Sept 2010.

GOODWIN, T. W. Metabolism, nutrition, and function of carotenoids. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 6, p. 273-297, 1986.

GOSWAMI, G.; CHAUDHURI, S.; DUTTA, D. The present perspective of astaxanthin with reference to biosynthesis and pharmacological importance. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, New York, v. 26, n. 11, p. 1925-1939, Nov 2010.

GRAHAM, L. E.; GRAHAM, J. M.; WILCOX, L. W. Macroalgal and Periphyton Ecology. In: _____. **Algae**, Benjamin Cummings: San Francisco, chapter 23, p. 547-586, 2009a.

GRAHAM, L. E.; GRAHAM, J. M.; WILCOX, L. W. The Roles of Algae in Biogeochemistry. In: _____. **Algae**, Benjamin Cummings: San Francisco, chapter 2, p. 18-37, 2009b.

GRESSLER, V.; YOKOVA, N. S.; FUJII, M. T.; COLEPICCOLO, P.; MANCINI FILHO, J.; TORRES, R. P.; PINTO, E. Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. **Food Chemistry**, Oxford, v. 120, n. 2, p. 585-590, May 2010.

HARNEDY, P. A.; FITZGERALD, R. J. Bioactive proteins, peptides, and amino acids from macroalgae. **Journal of Phycology**, Malden, v. 47, n. 2, p. 218-232, Apr 2011.

HAM, Y. M.; KIM, K. N.; LEE, W. J.; LEE, N. H.; HYUN, C. G. Chemical constituents from *Sargassum micracanthum* and antioxidant activity. **International Journal of Pharmacology**, Faisalabad, v. 6, n. 2, p. 147-151, Mar-Apr 2010.

HAUGAN, J. A.; AAKERMAN, T.; LIAAEN-JENSEN, S. Example 2: macroalgae and microalgae. In: BRITTON, G.; LIAAEN-JENSEN, S.; PFANDER, H. **Carotenoids: isolation and analysis**. Switzerland: Birkhauser Verlag, 1995. vol. 1A, chapter 7, p. 215-226.

HAUGAN, J. A.; LIAAEN-JESEN, S. Algal carotenoids 54. Carotenoids of brown algae (Phaeophyceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 31-41, Jan 1994.

HEGAZI, M. M.; PÉREZ-RUZAFÁ, A.; ALMELA, L.; CANDELA, M. E. Separation and identification of chlorophylls and carotenoids from *Caulerpa prolifera*, *Jania rubens* and *Padina pavonica* by reversed-phase high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 829, n. 1-2, p. 153-159, Dec 1998.

HERNÁNDEZ-CARMONA, G.; CARRILLO-DOMÍNGUEZ, S.; ARVIZU-HIGUERA, D. L.; RODRÍGUEZ-MONTESINOS, Y. E.; MURILLO-ÁLVAREZ, J. I.; MUÑOZ-OCHOA, M.; CASTILLO-DOMÍNGUEZ, R. M. Monthly variation in the chemical composition of *Eisenia arborea* J.E. Areschoug. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 21, n. 5, p. 607-616, Oct 2009.

HIRSCHBERG, J. Carotenoids biosynthesis in flowering plants. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 4, n. 3, p. 210-218, June 2001.

HONG, D. D.; HIEN, H. M.; SON, P. N. Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 19, p. 817-826, July 2007.

JENSEN, A. Tocopherol content of seaweed and seaweed meal. 1. Analytical methods and distribution of tocopherols in benthic algae. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, West Sussex, v. 20, n. 8, p. 449-453, 1969a.

JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; SÁNCHEZ-MUNIZ, J. Dietary fibre from seaweeds: chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. **Nutrition Research**, Oxford, v. 20, n. 4, p. 585-598, Apr 2000.

JOLY, A. B. **Flora Marinha do Litoral Norte do Estado de São Paulo e Regiões Circunvizinhas**. São Paulo: Secção gráfica da Universidade de São Paulo, 1965. 267p.

KADAM, S. U.; PRABHASANKAR, P. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products (Review). **Food Research International**, Amsterdam, v.43, n. 8, p. 1975-1980, Oct 2010.

KAMATH, B. S.; SRIKANTA, B. M.; DHARMESH, S. M.; SARADA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Ulcer preventive and antioxidative properties of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. **European Journal of Pharmacology**, Amsterdam, v. 590, p. 387-395, 2008.

KAKINUMA, M.; COURY, D. A.; KUNO, Y.; ITOH, S.; KOZAWA, Y.; INAGAKI, E.; YOSHIURA, Y.; AMANO, H. Physiological and biochemical responses to thermal and salinity stresses in a sterile mutant of *Ulva pertusa* (Ulvales, Chlorophyta). **Marine Biology**, New York, v. 149, n.1, p. 97-106, Apr 2006.

KAKINUMA, M.; KUNO, Y.; AMANO, H. Salinity stress responses of a sterile mutant of *Ulva pertusa* (Ulvales, Chlorophyta). **Fisheries Science**, Tokyo, v. 70, n. 6, p. 1177-1179, Dec 2004.

KHOO, H. E.; PRASAD, K. N.; KONG, K. W.; JIANG, Y.; ISMAIL, A. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. **Molecules**, Basel, v. 16, n. 2, p. 1710-1738, Feb 2011.

KHOTIMCHENKO, S. V.; YAKOVLEVA, I. M. Lipid composition of the red alga *Tichocarpus crinitus* exposed to different levels of photon irradiance. **Phytochemistry**, Oxford, v. 66, n. 1, p. 73-79, Jan 2005.

KIM, Y-N.; GIRAUD, D. W.; DRISKELL, J. A. Tocopherol and carotenoid contents of selected Korean fruits and vegetables. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, n. 6, p. 458-465, Sept 2007.

KORBEE, N.; FIGUEROA, F. L.; AGUILERA, J. Effect of light quality on the accumulation of photosynthetic pigments, proteins and mycosporine-like amino acids in the red alga *Porphyra leucosticta* (Bangiales, Rhodophyta). **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Lausanne, v. 80, p. 71-78, Mar 2005.

KOTAKE-NARA, E.; NAGAO, A. Absorption and metabolism of xanthophylls. **Marine Drugs**, Basel, v. 9, n. 6, p. 1024-1037, June 2011.

KUMARI, P.; KUMAR, M.; GUPTA, V.; REDDY, C. R. K.; JHA, B. Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAS. **Food Chemistry**, Oxford, v. 120, n. 3, p. 749-757, June 2010.

KUMAR, C. S.; GANESAN, P.; SURESH, P. V.; BHASKAR, N. Seaweeds as source of nutritionally beneficial compounds. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 45, n. 1, p. 1-13, Jan-Feb 2008.

KUMAR, M.; GUPTA, V.; KUMARI, P. ; REDDY, C. R. K.; JHA, B. Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of Caulerpaceae seaweeds. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 24, n. 2, p. 270-278, Mar 2011.

LECERF, J. M. Fatty acids and cardiovascular disease. **Nutrition Reviews**, Malden, v. 67, n. 5, p. 273-283, May 2009.

LEE, R. E. Chlorophyta. In _____: **Phycology**. New York: Cambridge University Press, 2009. chapter 5, p. 139-226.

LEE, Y. S.; SHIN, K. H.; KIM, B. K.; LEE, S. Anti-diabetic activities of fucosterol from *Pelvetia siliquosa*. **Archives of Pharmacal Research**, Seoul, v. 27, n. 11, p. 1120-1122, Nov 2004.

LEMAIRE-EWING, S.; DESRUMAUX, C; NEEL, D; LAGROST, L. Vitamin E transport, membrane incorporation and cell metabolism: Is α -tocopherol in lipid rafts an oar in the lifeboat? **Molecular Nutrition & Food Research**, Malden, v. 54, n. 5, p. 631-640, May 2010.

LE TOUTOUR, B.; BENSLIMANE, F.; GOULEAU, M. P.; GOUYGOU, J. P.; SAADAN, B.; QUEMENEUR, F. Antioxidant and pro-oxidant activities of the brown algae, *Laminaria digitata*, *Himantalia elongata*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus* and *Ascophyllum nodosum*. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 10, n. 2, p. 121-129, 1998.

LOBBAN, C. S.; HARRISON, P. J. Light and Photosynthesis. In: _____. **Seaweed Ecology and Physiology**, Cambridge University Press: USA, chapter 4, 1997a.

LOBBAN, C. S.; HARRISON, P. J. Nutrients. In: _____. **Seaweed Ecology and Physiology**, Cambridge University Press: USA, chapter 5, 1997b.

MACARTAIN, P.; GILL, C. I. R.; BROOKS, M.; CAMPBELL, R.; ROWLAND, I. R. Nutritional value of edible seaweeds. **Nutrition Reviews**, Oxford, v. 65, n. 12, p. 535-543, Dec 2007.

MACIEL DA SILVA, H. C. **Levantamento da ocorrência de carotenóides pró-vitamina A em algas marinhas do Estado do Ceará**. 2003. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MAMATHA, B. S.; NAMITHA, K. K.; SENTHIL, A.; SMITHA, J.; RAVISHANKAR, G. A. Studies on use of *Enteromorpha* in snack food. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, p. 1707-1713, Apr 2007.

MAMATHA, B. S.; SANGEETHA, R., K.; BASKARAN, V. Provitamin-A and xanthophyll carotenoids in vegetables and food grains of nutritional and medicinal importance. **International Journal of Food Science and Technology**, Malden, v. 46, n.2, p. 315–323, Feb 2011.

MANIVANNAN, K.; THIRUMARAN, G.; DEVI, G. K.; ANANTHARAMA, P.; BALASUBRAMANIAN, T. Proximate composition of different group of seaweeds from Vedalai coastal waters (Gulf of Mannar): Southeast coast of India. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 4, n. 2, p. 72-77, 2009.

MANSILLA, A.; ÁVILA, M. Using *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh from southern Chile as a source of applied biological compounds. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, João Pessoa, v. 21, n.2, p. 262-267, Mar-Apr. 2011.

MARINHO-SORIANO, E.; FONSECA, P. C.; CARNEIRO, M. A. A.; MOREIRA, W. S. C. Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 97, n. 18, p. 2402-2406, Dec 2006.

MARSHAM, S.; SCOTT, G. W.; TOBIN, M. L. Comparison of nutritive chemistry of a range of temperate seaweeds. **Food Chemistry**, Oxford, v. 100, n.4, p. 1331-1336, 2007.

MATANJUN, P.; MOHAMED, S.; MUSTAPHA, N. M.; MUHAMMAD, K. Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Euclima cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 21, n. 1, p. 75-80, Feb 2009.

MIYAKE, Y.; FUKUSHIMA, W.; TANAKA, K.; SASAKI, S.; KIYOHARA, C.; TSUBOI, Y.; YAMADA, T.; OEDA, T.; MIKI, T.; KAWAMURA, N.; SAKAE, N.; FUKUYAMA, H.; HIROTA, Y.; NAGAI, M. Dietary intake of antioxidant vitamins and risk of Parkinson's

disease: a case-control study in Japan. **European Journal of Neurology**, Malden, v. 18, n. 1, p. 106-133, Jan 2011.

MIYASHITA, K.; TAKAGI, T. Tocopherol content of Japanese algae and its seasonal variation. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v. 51, n. 11, p. 3115-3118, Nov 1987.

MORGAN, K. C.; WRIGHT, J. L. C.; SIMPSON, F. J. Review of chemical constituents of the red alga *Palmaria palmata* (Dulse). **Economy Botany**, Bronx, v. 34, n. 1, p. 27-50, 1980.

MUNNE-BOSCH, S.; ALEGRE, L. The function of tocopherols and tocotrienols in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 21, n. 1, p. 31-57, 2002.

MURUGAIYAN, K.; SIVAKUMAR, K. Seasonal variation in elemental composition of *Stoechospermum marginatum* (Ag.) Kutz and *Sargassum wightii* (Greville Mscr.) J. G. Agardh in relation to chemical composition of seawater. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 64, p. 140-144, June 2008.

NEPOMUCENO, F. O. **Extração e quantificação de α - e β -caroteno em doze espécies de macroalgas marinhas “in natura” coletadas na praia do Pacheco, Caucaia, Ceará.** 28 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

NESARETNAM, K. Multitargeted therapy of cancer by tocotrienols. **Cancer Letters**, Clare, v. 269, p. 388-395, 2008.

NORZIAH, M. H.; CHING, C. Y. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. **Food Chemistry**, Oxford, v. 68, n. 1, p. 69-76, Jan 2000.

OLIVEIRA, G. S.; FIGUEREDO, A. S. P.; SANTOS, R. S.; VIANNA, L. M. Efeito da suplementação de beta-caroteno na pressão arterial de ratos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 39-45, jan-fev 2007.

OLSON, J. A. Absorption, transport, and metabolism of carotenoids in humans. **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 66, n. 5, p. 1011-1016, May 1994.

ORDUNA-ROJAS, J.; ROBLEDO, D.; DAWES, C. J. Studies on the tropical agarophyte *Gracilaria cornea* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatan, Mexico. I. Seasonal physiological and biochemical responses. **Botanica Marina**, Berlin, v.45, n. 5, p. 453-458, Sept 2002.

ORTIZ, J.; ROMERO, N.; ROBERT, P.; ARAYA, J.; LOPEZ-HERNÁNDEZ, J.; BOZZO, C.; NAVARRETE, E.; OSORIO, A.; RIOS, A. Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. **Food Chemistry**, Oxford, v. 99, n. 1, p. 98-104, 2006.

ORTIZ, J.; UQUICHE, E.; ROBERT, P.; ROMERO, N.; QUITRAL, V.; LLANTÉN, C. Functional and nutritional value of the Chilean seaweeds. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Malden, v. 111, n. 4, p. 320-327, Apr 2009.

PÁDUA, M.; FONTOURA, P. S. G.; MATHIAS, A. L. Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 49-55, Mar 2004.

PATARRA, R. F.; PAIVA, L.; NETO, A. I.; LIMA, E.; BAPTISTA, J. Nutritional value of selected macroalgae. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 23, n. 2, p. 205-208, Apr 2011.

PEÑA-RODRÍGUEZ, A.; MAWHINNEY, T. P.; RICQUE-MARIE, D.; CRUZ-SUÁREZ, L. E. Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. **Food Chemistry**, Oxford, v. 129, n. 2, p. 491-498, Nov 2011.

PERFETO, P. N. M. Relation between chemical composition of *Grateloupia doryphora* (montagne) howe, *Gymnogongrus riffithsiae* (turner) Martius, and abiotic parameters. **Acta Botanica Brasilica**, v. 12, n. 1, p. 77-88, 1998.

PIRES-CAVALCANTE, K. M. dos S.; ALENCAR, D. B.; SOUSA, M. B.; SAMPAIO, A. H.; SAKER-SAMPAIO, S. Seasonal changes of α -tocopherol in green marine algae (*Caulerpa* genus). **Journal of Food Science**, Malden, v. 76, n. 5, p. 775-781, June-July 2011.

PIRES, K. M. dos S.; ALENCAR, D. B. de; SOUSA, M. B. de; SAKER-SAMPAIO, S. Teores de α -caroteno e β -caroteno em macroalgas marinhas desidratadas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 257-262, abr-jun 2008.

PLAZA, M.; CIFUENTES, A.; IBÁÑEZ, E. In the search of new functional food ingredients from algae. **Trends in Food Science & Technology**, London, v. 19, n. 1, p. 31-39, 2008.

POULAIN, S.; EVENOU, F.; CARRÉ, M.; CORBEL, S.; VIGNAUD, J.; MARTINET, N. Vitamin A/retinoids signalling in the human lung (Review). **Lung Cancer**, Clare, v. 66, n. 1, p. 1-7, Oct 2009.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. **Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 1, 3^a ed., 533p., 1985.

RENAUD, S. M.; LUONG-VAN, J. T. Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 18, n. 3-5, p. 381-387, Oct 2006.

REITER, E.; JIANG, Q.; CHRISTEN, S. Anti-inflammatory properties of α - and γ -tocopherol. **Molecular Aspects of Medicine**, Amsterdam, v. 28, p. 668-691, Dec 2007.

RICHARDSON, D. P. Food fortification. **Proceedings of the Nutrition Society**, New York, v. 49, n. 1, p. 39-50, Feb 1990.

RODDE, R. S. H.; VARUM, K. M.; LARSEN, B. A.; MYKLESTAD, S. M. Seasonal and geographical variation in the chemical composition of the red alga *Palmaria palmata* (L.) Kuntze. **Botanica Marina**, Berlin, v. 47, n. 2, p. 125-133, 2004.

ROHANI-GHADIKOLAEI, K.; ABDULALIAN, E.; NG, W. Evaluation of the proximate, fatty acid and mineral composition of representative green, brown and red seaweeds from the Persian Gulf of Iran as potential food and feed resources. **Journal of Food Science & Technology**, India, on line first, Jan 2011. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/c51941n73061476p/fulltext.html>>. Acesso em: 29 de June 2011.

ROMARIS-HORTAS, V.; GARCIA-SARTAL, C.; BARCIELA-ALONSO, M. C.; MOREDA-PINEIRO, A.; BERMEJO-BARRERA, P. Characterization of edible seaweed harvested on the Galician coast (Northwestern Spain) using pattern recognition techniques and major and trace element data. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, n. 3, p. 1986-1992, Feb 2010.

SAKER-SAMPAIO, S. **Evaluation of *Palmaria palmata* and *Laminaria digitata* as potential human food products**. Tese (PhD) – University of Portsmouth, Portsmouth, 165f. 1997.

SAMPATH-WILEY, P.; NEEFUS, C. D.; JAHNKE, L. S. Seasonal effects of sun exposure and emersion on intertidal seaweed physiology: Fluctuations in antioxidant contents, photosynthetic pigments and photosynthetic efficiency in the red alga *Porphyra umbilicalis* Kützting (Rhodophyta, Bangiales), **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Amsterdam, v. 361, p. 83-91, May 2008.

SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.; PASEIRO-LOZADA, P. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. **Food Chemistry**, Oxford, v. 85, n. 3, p. 439-444, May 2004.

SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.; PASEIRO-LOSADA, P. High-performance liquid chromatography determination of α -tocopherol in macroalgae. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 976, n. 1-2, p. 277-284, Nov 2002.

SANGEETHA, V.; THEVANATHAN, R. Biofertilizer potential of traditional and panchagavya amended with seaweed extract. **The Journal of American Science**, v. 6, n. 2, p. 61-67, 2010.

SCHMIDT, É. C.; NUNES, B. G.; MARASCHIN, M.; BOUZON, Z. L. Effect of ultraviolet-B radiation on growth, photosynthetic pigments, and cell biology of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) macroalgae brown strain. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 48, n. 2, p. 161-172, June 2010a.

SCHMIDT, É. C.; SANTOS, R.; HORTA, P. A.; MARASCHIN, M.; BOUZON, Z. L. Effects of UVB radiation on the agarophyte *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales): Changes in cell organization, growth and photosynthetic performance. **Micron**, Oxford, v. 41, n. 8, p. 919-930, Dec 2010b.

SCHNEIDER, C. Chemistry and biology of vitamin E. **Molecular Nutrition Food Research**, Malden, v. 49, n. 1, p. 7-30, Jan 2005.

SENGER, H.; WAGNER, C.; HERMSMEIER, D.; HOHL, N.; URBIG, T.; BISHOP, N. I. The influence of light intensity and wavelength on the contents of α - and β -carotene and their xanthophylls in green algae. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Lausanne, v.18, n. 2-3, p. 273-279, May 1993.

SHAHIDI, F. Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods. **Trends in Food Science & Technology**, London, v. 20, n. 9, p. 376-387, Sept 2009.

SHARMA, G.; MULLER, D.; O'RIORDAN, S.; BRYAN, S.; HINDMARSH, P., DATTANI, M.; MILLS, K. A novel method for the direct measurement of urinary conjugated metabolites of α -tocopherol and its use in diabetes. **Molecular Nutrition Food Research**, Weinheim, v. 54, n. 5, p. 559-600, May 2010.

SOLTANI, S.; SAADATMAND, S.; KHAVARINEJAD, R.; NEJADSATTARI, T. Antioxidant and antibacterial activities of *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. in Caspian Sea Coast, Iran. **African Journal of Biotechnology**, Lagos, v. 10, n. 39, p. 7684-7689, July 2011.

SOUSA, M. B. de; PIRES, K. M. dos S.; ALENCAR, D. B. de, SAMPAIO, A. H; SAKER-SAMPAIO, S. α , β -Caroteno e α -tocoferol em algas marinhas “in natura”. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 953-958, 2008.

SOUTH, G. R.; WHITTICK, A. Physiology and Biochemistry. In: _____ **Introduction to Phycology**. Blackwell Scientific Publications: Oxford, chapter 6, p. 163-190, 1987.

SPECIFICATIONS AND CRITERIA FOR BIOCHEMICAL COMPOUNDS. 3.ed. Ed. National Academy of Sciences. Washington, DC. 1972.

SUGIURA, M.; NAKAMURA, M.; OGAWA, K; IKOMA, Y.; ANDO, F.; SHIMOKATA, H.; YANO, M. Dietary patterns of antioxidant vitamin and carotenoid intake associated with bone mineral density: findings from post-menopausal Japanese female subjects. **Osteoporosis International**, London, v. 22, n.1, p.143-152, Jan 2011.

SZE, P. Introduction to algal characteristics and diversity. In _____. **A Biology of the Algae**. The McGraw-Hill Companies: USA, 3 ed., cap.1, 1998.

TABOADA; C.; MILLÁN, R.; MÍGUEZ, I. Composition, nutritional aspects and effect on serum parameters of marine algae *Ulva rigida*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.90, n.3, p. 445-449, Feb 2010.

TABOADA; C.; MILLÁN, R.; MÍGUEZ, I. Evaluation of the marine alga *Ulva rigida* as a food supplement: effect of intake on intestinal, hepatic, and renal enzyme activities in rats. **Journal of Medicinal Food**, New York, v. 14, n. 1-2, p. 161-166, Jan 2011.

TAKAICHI, S. Carotenoids in algae: Distributions, biosyntheses and functions. **Marine Drugs**, Basel, v. 9, n. 3, p. 1101-1118, Mar 2011.

THOMPSON, C. A.; ROCK, C. L.; THOMPSON, P. A.; CAAN, B. J.; CUSSLER, E.; FLATT, S. W.; PIERCE, J. P. Vegetable intake is associated with reduced breast cancer recurrence in tamoxifen users: a secondary analysis from the Women’s Healthy Eating and Living Study. **Breast Cancer Research and Treatment**, New York, v. 125, n. 2, p. 519-527, Jan 2011.

TOSH, S. M.; YADA, S. Dietary fibres in pulse and fractions: Characterization, functional, attributes, and applications. **Food Research International**, Amsterdam, v. 43, n.2, p. 450-460, Mar 2010.

TRABER, M. G.; ATKINSON, J. Vitamin E, antioxidant and nothing more. **Free Radical Biology & Medicine**, New York, v. 43, n. 1, p. 4-15, Mar 2007.

USDA 2011. Agriculture reseach service. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Realease 23. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8964>>. Acesso em: 06 out 2011.

VIJAY-KUMAR, M.; VANEGAS, S. M.; PATEL, N.; AITKEN, J. D.; ZIEGLER, T. R.; GANJI, V. Fish oil rich diet in comparison to saturated fat rich diet offered protection against lipopolysaccharide-induced inflammation and insulin resistance in mice. **Nutrition & Metabolism**, London, v. 8, n. 16, p. 1-9, Mar 2011.

VÍLCHEZ, C.; FORJÁN, E.; CUARESMA, M.; BÉDMAR, F.; GARBAYO, I.; VEGA, J. M. Marine carotenoids: biological functions and commercial applications. **Marine Drugs**, Basel, v. 9, n. 3, p. 319-333, Mar 2011.

VO, T. S.; NGO, D. H.; TA, Q. V.; KIM, S. K. Marine organisms as a therapeutic source against herpes simplex virus infection. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, Amsterdam, v. 44, n. 1-2, p. 11-20, 2011.

WANG, H.; OREILLY, E. J.; WEISSKOPF, M. G.; LOGROSCINO, G.; McCULLOUGH, M. L.; SCHATZKINY, A.; KOLONEL, L. N.; ASCHERIO, A. Vitamin E intake and risk of amyotrophic lateral sclerosis: a pooled analysis of data from 5 prospective cohort studies. **American Journal of Epidemiology**, Cary, v. 173, n.6, p. 595-602, Mar 2011.

WEN, X.; PENG, C. L.; ZHOU, H. C.; LIN, Z. F.; LIN, G. Z.; CHEN, S. W.; LI, P. Nutritional composition and assessment of *Gracilaria lemaneiformis* Bory. **Journal of Integrative Plant Biology**, Oxford, v. 48, n. 9, p. 1047-1053, Sept 2006.

WHO (World Health Organization) (2002). Globalization, diets and noncommunicable diseases. Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/publications>> Acesso em: 03 fev 2011.

WHO (World Health Organization) (2011). Global status report on noncommunicable diseases 2010 - Description of the global burden of NCDs, their risk factors and determinants. Disponível em: <http://www.who.int/nmh/publications/ncd_report2010/en/> Acesso em: 10 de mai de 2011.

WONG, K. H.; CHEUNG, P. C. K. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds. Part II – In vitro protein digestibility and amino acid profiles of protein concentrates. **Food Chemistry**, Oxford, v. 72, n. 1, p. 11-17, Jan 2000.

YAICH, H.; GARNA, H.; BESBES, S.; PAQUOT, M.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia, **Food Chemistry**, Oxon, v. 128, n. 4, p. 895-901, Oct 2011.

ZHANG, C. X.; HO, S. C.; CHEN, Y. M.; FU, J. H.; CHENG, S. Z.; LIN, F. Y. Greater vegetable and fruit intake is associated with a lower risk of breast cancer among Chinese women. **International Journal of Cancer**, Malden, v.125, n. 1, p.181-188, July 2009.

ZHENG; J. J.; RAUTIAINEN, S.; MORGENSTERN, R.; WOLK, A. Relationship between plasma carotenoids, fruit and vegetable intake, and plasma extracellular superoxide dismutase activity in women: different in health and disease? **Antioxidants & Redox Signaling**, New York, v.14, n.1, p. 9-14, Jan 2011.

ZINGG, J. -M. Modulation of signal transduction by vitamin E. **Molecular Aspects of Medicine**, Amsterdam, v. 28, n.5-6, p. 481-506, Oct-Dec 2007a.

ZINGG, J. -M. Vitamin E: An overview of major research directions. **Molecular Aspects of Medicine**, Amsterdam, v. 28, n.5-6, p. 400-422, Oct-Dec 2007b.

XIE, L.; CHEN, M.-H.; LI, J.; YANG, X.-M.; HUANG, Q.-J. Antithrombotic Effect of a Polysaccharide Fraction from *Laminaria japonica* from the South China Sea, **Phytotherapy Research**, Malden, v.25, n. 9, p. 1362-1366, Sept 2011.

ZHOU, H; ZHAO, X.; JOHNSON, E.J.; LIM, A; SUN, E.; YU, J.; ZHANG, Y.; LIU, X.; SNELLINGEN, T.; SHANG, F.; LIU, N. Serum carotenoids and risk of age-related macular degeneration in a chinese population sample. **Investigative Ophthalmology & Visual**, Rockville, v. 52, n. 7, p. 4338-4344, June 2011.