

LÓGICA FUZZY NO CONTROLE DE EMBARQUE DE NAVIOS NO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA

JOSÉ PINHEIRO DE MOURA, GINALBER LUIZ DE OLIVEIRA SERRA[†], JOÃO VIANA DA FONSECA NETO[‡]

**Universidade Estadual do Maranhão
São Luís, Maranhão, Brasil*

*†Instituto Federal do Maranhão
Monte Castelo
São Luís, Maranhão, Brasil*

*‡Universidade Federal do Maranhão
São Luís, Maranhão, Brasil*

Emails: josepinheiro@cct.uema.br, ginalber@ifma.edu, jvia@dee.ufma.br

Abstract— The shipment of vessels is an activity performed simultaneously with the remove ballast, that is, as the load is placed in the hold of the vessel, the ballast tanks is taken to keep the ship balanced seaworthiness. So how will the input variable flow remove ballast and how output variable we will ship loading. The remove ballast is the responsibility of command of the ship, we have no control action in this variable, but we have the information flow that is used to control the charging rate, which will have a control action, the higher the flow remove ballast higher loading rate.

Keywords— Boarding ships, Remove ballast, Ballast, Flow, Charging rate.

Resumo— O embarque de navios é uma atividade feita simultânea com o deslastramento, isto é, à medida que a carga é colocada no porão do navio, o lastro é retirado de tanques para manter o navio equilibrado em condições de navegabilidade. Então como variável de entrada teremos a vazão de deslastramento e como variável de saída teremos o carregamento do navio. O deslastamento é de responsabilidade do comando do navio, não temos ação de controle nessa variável, mas temos as informações de vazão que será utilizada para controlar a taxa de carregamento, onde teremos uma ação de controle, ou seja, quanto maior a vazão de deslastamento maior será a taxa de carregamento.

Palavras-chave— Embarque de navios, Deslastamento, Lastro, Vazão de deslastamento, Taxa de carregamento.

1 Introdução

O meio de transporte de grande porte de produtos a granel mais utilizado no mundo é o ferroviário e em segundo lugar o hidroviário. A boa navegabilidade das embarcações depende de como a carga está acomodada nos porões, para isso faz-se necessário seguir o plano de carga, que é um documento onde estabelece a sequência de carregamento e a taxa horária do carregamento. A figura 1 ilustra o carregamento de um navio.



Figura 1: Carregamento do navio “VALE CHINA”

O processo de carregamento de navios, consiste na colocação de carga nos porões e deslastamento do navio, isto é, coloca-se carga e retira-se lastro. veja que o carregador de navios está colocando carga no porão e ao mesmo tempo está sendo bombeada água dos tanques de lastros, isso ocorre para garantir a estabilidade e navegabilidade da embarcação (Moura, 2003).

2 Caracterização do problema

O deslastamento de navios é uma atividade estrita e de controle do comandante, este é quem determina a vazão de retirada de lastro. No controle de carregamento, pode-se atuar em duas variáveis, que são:

- Vazão de deslastamento;
- Taxa de embarque.

2.1 Problema

Falta de um sistema inteligente que auxilie o agente operacional no controle de embarque de navios.

3 Sistemas Nebulosos

Os sistemas fuzzy, também conhecidos como sistemas nebulosos, sistemas de inferência nebulosa, sistemas fuzzy baseados em regras, ou simplesmente modelos fuzzy, representam uma das mais importantes ferramentas de modelagem baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Sistemas que utilizam este tipo de conjunto têm sido aplicados com sucesso em diversas áreas, como: controle automático, classificação e reconhecimento de padrões, tomada de decisão, sistemas inteligentes, previsão de séries temporais e robótica (Jang et al., 1997).

Sendo a base dos sistemas fuzzy, os conjuntos fuzzy vêm sendo amplamente utilizados e pesquisados desde Zadeh (1965), devido à sua flexibilidade em relação à pertinência de seus elementos: ao invés da classificação tradicional (um elemento pertence ou não pertence), os conjuntos fuzzy permitem a existência da pertinência parcial. Ao não tratarem de forma rígida as informações disponíveis, possibilitam considerar a ambiguidade presente no mundo real, dando margem à resolução de inúmeros problemas onde se faz necessária uma flexibilização nos limites dos conjuntos trabalhados (Pedrycz and Gomide, 2007).

- Suporte de um conjunto fuzzy: conjunto dos elementos do universo para os quais o grau de pertinência é maior do que zero:

$$[S_A = \{x/\mu_A(x) > 0\} ;$$

- Núcleo de um conjunto fuzzy: conjunto dos elementos do universo com grau de pertinência igual a 1:

$$N_A = \{x/\mu_A(x) > 1\} ;$$

- Altura de um conjunto fuzzy: valor máximo da função de pertinência:

$$H_A = \sup x \{ \mu_A(x) \}$$

A característica principal de conjuntos fuzzy é tratar a incerteza presente em informações que dizem respeito a conceitos ambíguos, como 'alto', 'baixo', 'limpo', 'sujo', etc. (GEORGE J and Bo, 2008). Estes conceitos vagos podem ser associados a variáveis linguísticas, ou seja, variáveis que assumem valores linguísticos em vez de valores numéricos (Serra, 2012). Estas variáveis são a base para o raciocínio aproximado (raciocínio fuzzy), o qual por sua vez pode ser formalizado por meio dos sistemas de inferência fuzzy (Lee, 1990). Estes sistemas trabalham com um conjunto de regras e podem inferir uma ou mais saídas (fuzzy

ou não) a partir destas regras e de fatos apresentados como entrada. Assim, conforme discutido por Lin e Lee (1996), um sistema de inferência fuzzy é um mapeamento ou função de um espaço de alternativas de entrada para um espaço de saída (Mamdani, 1977). Segundo (Jang et al., 1997), a estrutura básica de um sistema de inferência fuzzy possui três componentes conceituais:

- uma base de regras, que contém o conjunto de regras fuzzy;
- uma base de dados, que define a quantidade, formato e localização das funções de pertinência associadas aos conjuntos fuzzy que deverão compor as regras;
- um mecanismo de raciocínio, que realiza, a partir de operadores pré-definidos, um procedimento de inferência (raciocínio fuzzy) para obter a saída ou conclusão, baseado nas regras e fatos conhecidos.

3.1 Máquina de Inferência

Para controlarmos adequadamente um processo, precisamos codificar o conhecimento que temos sobre o mesmo na forma de regras "Se antecedente então consequente" e de um mecanismo que avalie quais regras são pertinentes e aplique as produzindo uma saída (Serra, 2012).

3.2 Conjuntos Nebulosos

A teoria de conjuntos fuzzy tem sido empregada com sucesso para exprimir conhecimento preciso e resolver problemas em muitas áreas onde o modelamento convencional é difícil, ineficiente ou muito oneroso (Klir and Yuan, 2005). A possibilidade de descrição linguística do modelo, em vez de utilização das equações diferenciais, possibilita o aproveitamento do conhecimento heurístico dos operadores e facilita o desenvolvimento de soluções (GEORGE J and Bo, 2008).

A estrutura de universo de discurso, variáveis linguísticas, fuzzificação, banco de regras, máquina de inferência e sistema de defuzzificação proposta por Mamdani (Wang, 1999), quando bem assimilada, é uma arma poderosa de simplificação e aumento da velocidade de processamento e robustez do controlador, possibilitando decisões rápidas e coerentes num ambiente de incertezas (Castro, 1995).

A lógica fuzzy é uma técnica comparativamente simples e de vasto espectro de aplicabilidade, em particular a problemas de controle e de decisão (Mamdani and Assilian, 1975). A figura 2 ilustra em blocos o controlador fuzzy proposto por Mamdani:

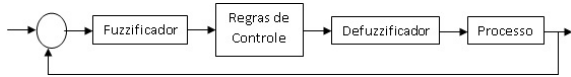


Figura 2: Controlador fuzzy proposto por Mamdani

Zadeh (Roubens, 1978) propôs uma caracterização mais ampla, na medida em que sugere que alguns elementos são mais membros de um conjunto do que outros. O fator de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência (Chen et al., 2006). Esta generalização aumenta o poder de expressão da função característica. Por exemplo, para expressar a ideia de que uma temperatura tem seu valor por volta de 25, pode-se utilizar uma função de pertinência triangular (Zadeh, 1996).

4 Procedimento de Carregamento

O procedimento de carregamento de um navio de grande porte, segue o princípio básico, coloca-se carga e retira-se lastro, mas não é tão simples assim, pois quem controla o deslastramento é o comandante do navio e quem controla a taxa de carregamento é o agente operacional do porto (Moura, 2003). Então como desenvolver um sistema inteligente para controlar essas variáveis (Farias et al., n.d.)? Se o comandante do navio tivesse ação de controle, também na taxa de carregamento, seria mais fácil, pois desenvolveria um sistema para atuar nas duas variáveis, da mesma forma para o agente operacional do porto. No entanto, a proposta deste trabalho é desenvolver um sistema para atuar na taxa de carregamento, ou seja, se a vazão de deslastramento é alta, então a taxa de carregamento, também é alta, mas como desenvolver um sistema que atue, somente, na taxa de carregamento.

4.1 Lastro de Navios

Existem diversos tipos de embarcações, sendo algumas dedicadas a um único tipo de carga (navios porta-contêineres) e outras de uso misto (navios graneleiros), ou seja, uma mesma embarcação tem capacidade de transportar no interior dos seus porões cargas diferentes a cada viagem. Desse modo, uma determinada embarcação especializada, por exemplo, um navio mineraleiro, pode ir até um porto transportando minério de ferro e não encontrar carga para trazer na sua viagem de volta, devido a sua especificidade.

A vazão de deslastamento é informada pelo comandante do navio, neste caso, seria necessário desenvolver um sistema para cada navio, porém, vamos incluir o comportamento de imersão do navio, que é uma variável correlacionada com a vazão de deslastamento e a taxa de carregamento. Vamos a vazão de deslastamento usar e o nível de imersão do navio como variáveis de entradas e a taxa de carregamento com variável de saída.

4.2 Controle Nebuloso para o Processo de Embarque de Navios

Sistemas fuzzy são sistemas baseados em conhecimentos ou baseados em regras. O controle nebuloso para carregamento de navios obedecerá às regras da base de conhecimentos elaborada com as informações de especialistas.

Para projetar um controlador para controlar a taxa de carregamento de navios vamos considerar duas variáveis linguísticas de entradas com cinco termos linguísticos cada e uma variável linguística de saída, também com cinco termos linguísticos.

Variáveis linguísticas:

- Deslastamento do Navio - D;
- Imersão do Navio - I;
- Taxa de carregamento do Navio - C.

Termos linguísticos:

- Zero - Z;
- Baixo - B;
- Médio - M;
- Normal - N;
- Alto - A.

4.3 Regras

Para n variáveis de entradas X_1, X_2, \dots, X_n e P termos linguísticos associados a $X_i \{i = 1, \dots, n\}$ o número de regras é P^n . Como temos 2 variáveis linguísticas de entradas e 5 termos linguísticos, logo, temos: $P^n = 5^2 = 25$

As regras foram elaboradas de acordo com o comportamento de cada variável de entradas, isto é, foi necessário entender os termos linguísticos de cada variável de entrada. Abaixo está o modelo matemático das regras para o sistema fazer o controle de embarque de navios:

```

R1 : S E D Z e I Z E N T O C Z ;
R2 : S E D Z e I B E N T O C B ;
:
R25 : S E D A e I A E N T O C A .

```

4.4 Desenvolvimento no MATLAB

Para o desenvolvimento do sistema no MATLAB, foram usadas duas variáveis linguísticas de entradas com cinco termos linguísticos cada e uma variável linguística de saída, o intervalo adotado foi de 0 a 20 toneladas por hora para a taxa de carregamento e de 0 a 20 metros para a imersão do navio. A seguir estão descritas as funções de pertinências para controle fuzzy de embarque de navios.

```
x = 0:0.01:20;
```

```

u1=gaussmf(x,[1.911 0]);
u2=gaussmf(x,[2.549 0]);
u3=gaussmf(x,[1.911 4.5]);
u4=gaussmf(x,[2.549 6]);
u5=gaussmf(x,[1.911 9]);
u6=gaussmf(x,[2.549 12]);
u7=gaussmf(x,[1.911 13.5]);
u8=gaussmf(x,[2.549 18]);
u9=gaussmf(x,[1.911 18]);
u10=gaussmf(x,[2.549 24]);
u11=gaussmf(x,[2 1]);
u12=gaussmf(x,[1.911 3]);
u13=gaussmf(x,[1.911 4]);
u14=gaussmf(x,[1.911 5]);
u15=gaussmf(x,[2.549 7]);
u16=gaussmf(x,[1.911 14.5]);
u17=gaussmf(x,[2.567 5.5]);
u18=gaussmf(x,[1.567 11]);
u19=gaussmf(x,[1.567 6.5]);
u20=gaussmf(x,[1.567 7.5]);
u21=gaussmf(x,[2.549 16]);
u22=gaussmf(x,[2.549 12]);
u23=gaussmf(x,[2.124 13]);
u24=gaussmf(x,[1.911 6.56]);
u25=gaussmf(x,[2.549 12]);

```

```
y = 0:0.01:20;
```

```

uy1=gaussmf(y,[2.549 18]);
uy2=gaussmf(y,[2.124 15]);
uy3=gaussmf(y,[1.911 18]);
uy4=gaussmf(y,[2.549 24]);
uy5=gaussmf(y,[2.124 20]);
uy6=gaussmf(y,[1.911 0]);
uy7=gaussmf(y,[1.911 4.5]);
uy8=gaussmf(y,[1.911 9]);
uy9=gaussmf(y,[1.911 18]);
uy10=gaussmf(y,[2.549 6]);
uy11=gaussmf(y,[2.549 7]);

```

```

uy12=gaussmf(y,[2.124 8]);
uy13=gaussmf(y,[1.911 6]);
uy14=gaussmf(y,[2.549 12]);
uy15=gaussmf(y,[1.124 13]);
uy16=gaussmf(y,[1.911 10]);
uy17=gaussmf(y,[2.911 14.5]);
uy18=gaussmf(y,[2.911 19]);
uy19=gaussmf(y,[1.911 18.5]);
uy20=gaussmf(y,[2.549 16]);
uy21=gaussmf(y,[2.549 12]);
uy22=gaussmf(y,[2.124 13]);
uy23=gaussmf(y,[1.911 6.56]);
uy24=gaussmf(y,[2.549 12]);
uy25=gaussmf(y,[1.124 13]);

```

As funções de pertinência do sistema Lógica Fuzzy no Controle de Embarque de Navios no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira estão ilustradas nas figuras 3 e 4.

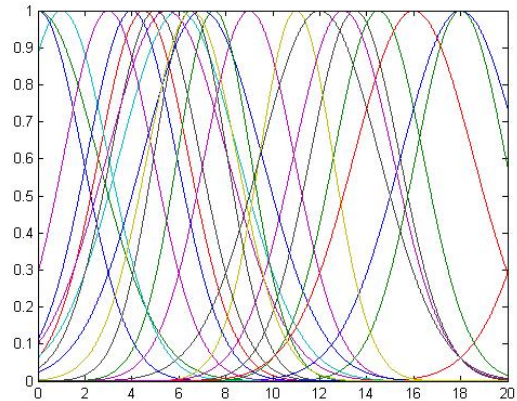


Figura 3: Funções de pertinências para as entradas linguísticas

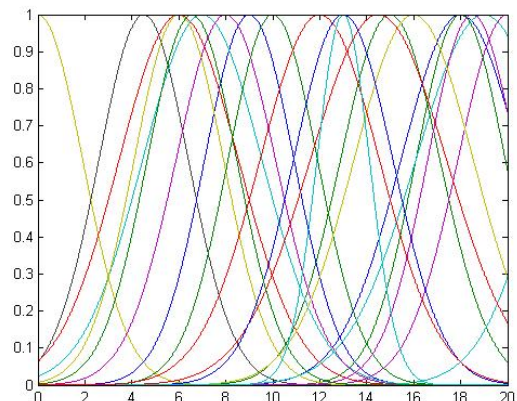


Figura 4: Funções de pertinências para as saídas linguísticas

A arquitetura do sistema fuzzy foi concebida para ter duas variáveis linguísticas de entradas

com cinco termos linguísticos cada e uma variável linguística de saída. A figura 5 ilustra o sistema fuzzy para carregamento de navios com duas entradas e uma saída.

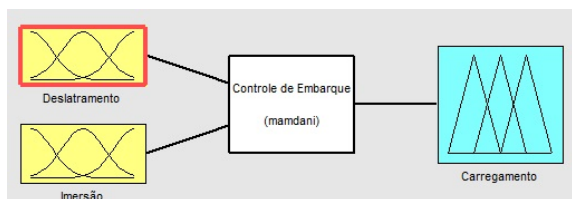


Figura 5: Sistema fuzzy para carregamento de navios com duas variáveis de entradas

A figura 6 ilustra a superfície das duas variáveis de entradas com uma variável de saída.

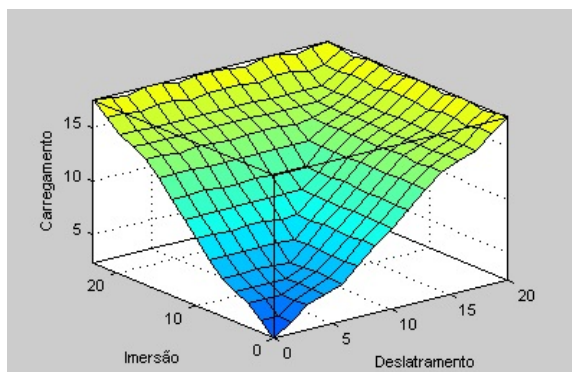


Figura 6: Superfície do sistema fuzzy com duas variáveis de entradas

A figura 7 ilustra as regras ativadas do sistema fuzzy com duas variáveis linguísticas de entradas e uma variável linguística de saída.

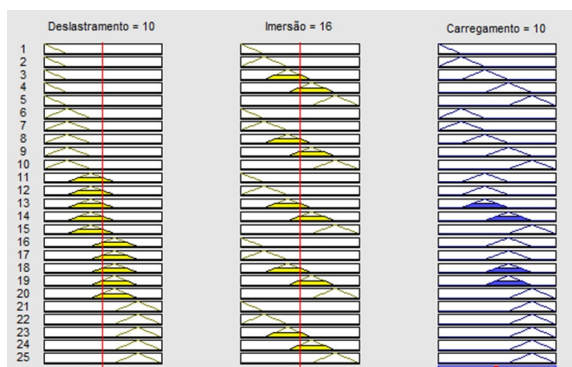


Figura 7: Regras do sistema fuzzy duas variáveis de entradas

4.5 Simulação

A simulação feita através da ferramenta SIMULINK do MATLAB, conforme figura 8, representando a planta em estudo, isto é, um sistema fuzzy com duas entradas e uma saída, sendo as entradas: vazão de deslastramento e imersão do navio e saída a taxa de carregamento do navio.

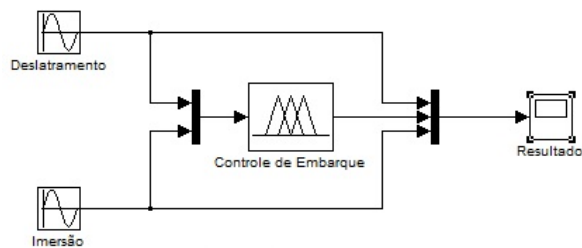


Figura 8: Simulação do sistema fuzzy para carregamento de navios com duas variáveis de entradas.

O resultado da simulação está representado na figura 10, nesta podemos observar através dos gráficos o comportamento de cada variável. A figura 9 ilustra três gráficos, sendo dois das variáveis de entradas e um da variável de saída. As variáveis de entradas estão representadas nos gráficos inferiores da figura, da seguinte forma:

- O gráfico em verde representa a taxa de carregamento;
- O gráfico em azul representa a vazão de deslastramento do navio;
- O gráfico em vermelho representa a imersão do navio.

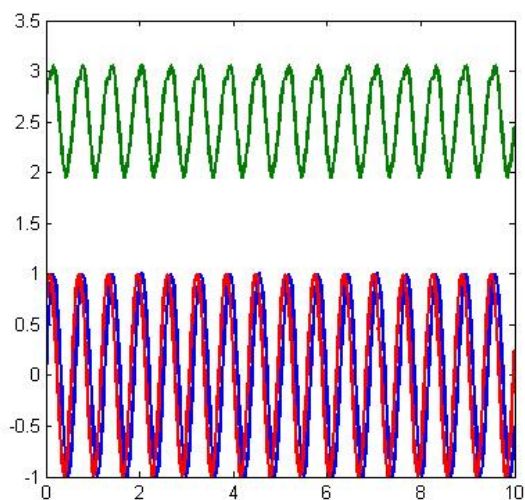


Figura 9: Resultado simulado no SIMULINK com as duas variáveis de entradas "deslastramento e imersão e a variável de saída "carregamento.

5 Conclusões

Analisando as variáveis do sistema, chegou-se as seguintes conclusões:

- A taxa de carregamento é proporcional à vazão de deslastramento e a imersão do navio;

- Se aumentar a vazão de deslastramento, aumenta a imersão do navio;
- Se aumentar a taxa de carregamento, aumenta, também a imersão do navio;
- Se mantiver constante a vazão de deslastramento e a taxa de carregamento, a imersão do navio é nula.

Como a taxa de carregamento é a variável controlada, a vazão de deslastramento e a imersão do navio são as variáveis utilizadas para fazer o controle da taxa de carregamento. Analisando a simulação do sistema no SIMULINK, foi observado que a imersão do navio é proporcional à vazão de deslastramento, que também é proporcional à taxa de carregamento. Como o agente operacional do porto não tem controle na vazão de deslastramento, mas este tem controle da imersão do navio através de sensores instalados no píer, assim foi feito o controlador fuzzy para atuar na taxa de carregamento tomando por base o nível de imersão do navio durante o carregamento.

Logo, podemos implementar um sistema com uma variável linguística de entrada, sendo a imersão do navio ou a vazão de deslastramento, como a vazão de deslastramento é uma variável de controle do navio, portanto, pode-se escolher a imersão do navio, pois esta é de controle do agente operacional de portos.

Referências

- Castro, J. L. (1995). Fuzzy logic controllers are universal approximators, *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on* **25**(4): 629–635.
- Chen, C.-W., Chiang, W.-L., Tsai, C.-H., Chen, C.-Y. and Wang, M. H. (2006). Fuzzy lyapunov method for stability conditions of nonlinear systems, *International Journal on Artificial Intelligence Tools* **15**(02): 163–171.
- Farias, O., Labidi, S., Neto, J. F., Moura, J. and Albuquerque, S. (n.d.). A real time expert system for decision making in rotary railcar dumpers.
- GEORGE J, K. and Bo, Y. (2008). Fuzzy sets and fuzzy logic, theory and applications, - .
- Jang, J.-S. R., Sun, C.-T. and Mizutani, E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]*, Vol. 42, IEEE.
- Klir, G. J. and Yuan, B. (2005). Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications, *Possibility Theory versus Probability Theory, Prentice Hall* pp. 200–207.
- Lee, C.-C. (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. i, *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on* **20**(2): 404–418.
- Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *Computers, IEEE Transactions on* **100**(12): 1182–1191.
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International journal of man-machine studies* **7**(1): 1–13.
- Moura, J. P. (2003). *Sistema especialista para identificação de falhas e tomada de decisão*, Dissertação de mestrado, UFMA, São Luís, Brasil.
- Pedrycz, W. and Gomide, F. (2007). *Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing*, Wiley.
- Roubens, M. (1978). Pattern classification problems and fuzzy sets, *Fuzzy sets and systems* **1**(4): 239–253.
- Serra, G. L. O. (2012). *Frontiers in Advanced Control Systems*, InTech.
- Wang, L.-X. (1999). *A Course in Fuzzy Systems*, Prentice-Hall press, USA.
- Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy logic= computing with words, *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on* **4**(2): 103–111.