

CAUSALIDADE À GRANGER EM CIÊNCIAS SOCIAIS: UM GUIA PARA A INVESTIGAÇÃO APLICADA

GRANGER CAUSALITY IN SOCIAL SCIENCES: A GUIDE TO APPLIED
RESEARCH

CAUSALIDAD DE GRANGER EN LAS CIENCIAS SOCIALES: UNA GUÍA
PARA LA INVESTIGACIÓN APLICADA

Nino Matos da Fonseca (ninomf@estg.ipv.pt)*

Marcelino Sánchez-Rivero (sanriverf@unex.es)**

RESUMO

Neste trabalho, destinado a investigadores não especialistas em análise de séries temporais, discutimos o alcance e as limitações dos testes de causalidade à Granger. Estes testes têm vindo a ganhar uma aceitação crescente ao longo das últimas três décadas. No entanto, as conclusões que acompanham os resultados da respetiva aplicação nem sempre estão de acordo com o significado do conceito de causalidade à Granger. Revisitamos esse significado bem como o corpo axiomático que o sustenta, e estabelecemos comparações com os significados alternativos para o conceito de causalidade. Discutimos depois as limitações das técnicas de análise de séries temporais de um modo geral e dos testes de causalidade à Granger em particular. Concluimos que estes testes não permitem determinar, por si sós, se as variáveis analisadas estão efetivamente ligadas entre si através de relações causais no sentido corrente da expressão, ou seja, do tipo causa-efeito ou de algum modo suscetíveis de manipulação ou controlo. Finalmente, apresentamos algumas implicações e conselhos relevantes para os investigadores das ciências sociais.

Palavras Chave: causalidade, causalidade à Granger, séries temporais, metodologia.

ABSTRACT

In this paper, aimed at non-specialist researchers in time series analysis, we discuss the scope and limitations of the tests of Granger causality. These tests have been gaining a growing acceptance over the last three decades. However, the conclusions accompanying the results of the respective application do not always agree with the meaning of the concept of Granger causality. We revisit this meaning as well as the axiomatic body that sustains it and establish comparisons with alternative meanings for the concept of causality. We then discuss the limitations of the techniques of time-series analysis in general and of the tests of Granger causality in particular. We conclude that these tests do not allow to determine, on their own, whether the variables analyzed are effectively linked together through causal relationships in the current sense of the expression, i.e. the cause-effect type or in some way susceptible to manipulation or control. Finally, we present some relevant implications and advice for researchers in social sciences.

Keywords: causality, Granger causality, time series, methodology.

RESUMEN

En este trabajo, dirigido a investigadores que no son especialistas en el análisis de series temporales, analizamos el alcance y las limitaciones de los contrastes de causalidad de Granger. Estos contrastes han ido ganando una creciente aceptación en las últimas tres décadas. Sin embargo, las conclusiones que acompañan a los resultados de la aplicación de estos no siempre se ajustan al significado del concepto de causalidad para Granger. Revisitamos este significado, así como el cuerpo axiomático que lo sostiene, y establecemos comparaciones con los significados alternativos para el concepto de causalidad. Discutimos las limitaciones de las técnicas de análisis de series temporales en general y de los contrastes de causalidad a Granger en particular. Concluimos que estos contrastes no permiten determinar, por sí solos, si las variables analizadas están efectivamente vinculadas entre sí a través de relaciones causales en el sentido actual de la expresión, es decir, el tipo causa-efecto o de alguna manera susceptibles a la manipulación o control. Por último, presentamos algunas implicaciones y consejos relevantes para los investigadores de las ciencias sociales.

Palabras clave: causalidad, causalidad de Granger, series temporales, metodología.

* Doutor em Economia e Professor-Adjunto no Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal.

** Doutor em Economia e Professor Titular na Universidade da Extremadura, Badajoz, Espanha.

Submitted: 17th July 2019

Accepted: 25th July 2020

INTRODUÇÃO

Qual é o significado, alcance e limitações do conceito de causalidade à Granger? O objetivo deste trabalho é responder a este conjunto de questões. Os últimos 30 anos foram marcados pela explosão de estudos empíricos baseados na aplicação de testes de causalidade à Granger. Uma breve pesquisa na base de dados Scopus subordinada à expressão “Granger causality” no resumo dos estudos disponíveis e restrita ao período 1989-2019 devolveu 8227 resultados. Para se ter uma noção da evolução do número de estudos, é de referir que 19 deles foram publicados em 1989, 63 em 1999, 330 em 2009 e 515 em 2019, sendo este último o ano, em curso, correspondente à redação do presente texto. No ano anterior, 2018, foram publicados 883 estudos. Naturalmente, a fatia mais significativa de estudos diz respeito à área da economia, econometria e finanças (3387 estudos), seguindo-se a gestão, negócios e contabilidade (1392 estudos) e as ciências sociais (1388 estudos).

A contabilização apresentada significa, implicitamente, que foram publicados milhares de outros estudos em muitas outras áreas do conhecimento, como as ciências do ambiente, a psicologia, as humanidades, a engenharia, as ciências da computação, as neurociências, a agricultura, a química, a medicina, a farmacologia, a enfermagem, entre outras. As conclusões obtidas seguem-se, quase sempre, implicações de política económica, de gestão ou de qualquer outro tipo de intervenção que só em circunstâncias muito específicas decorrem naturalmente do conceito de causalidade proposto por Granger.

Aquando da apresentação do seu conceito de causalidade, Granger (1969, 1980) estava convicto de que a ausência de procedimentos de teste para a causalidade decorria, pelo menos em parte, da inexistência de uma definição consensual para este conceito. De facto, ele constatou a existência de múltiplas posições acerca da causalidade, sendo este um tema no qual “predominam as preferências e os gostos pessoais” (Granger, 1980). Dirimir completamente essas discordâncias exigiria, na sua perspetiva, partir da construção de um menu de definições que, sujeito a debate, resultasse em definições consensuais e com aceitação geral.

Neste trabalho pretendemos explicitar claramente o que é que Granger tinha em mente quando propôs o seu conceito de causalidade. Assim, na secção 2 debruçamo-nos sobre as questões de carácter metodológico e operacional associadas à causalidade à Granger. Veremos que este conceito está delimitado por um corpo axiomático muito bem definido, fora do qual a interpretação causal, tal como proposta por Granger, deixa de fazer sentido. Essa interpretação sofre restrições adicionais na fase de operacionalização dos modelos para efeitos de aplicação dos testes de causalidade à Granger.

Na secção 3 começamos por fazer um enquadramento histórico e filosófico do conceito de causalidade proposto por Granger para, de seguida, questionar o alcance prático desse conceito à luz da exposição feita nas secções precedentes. É aqui que discutimos as virtudes e as limitações do conceito de causalidade à Granger, bem como as circunstâncias em que dito conceito se aproxima ou se distancia de outras noções de causalidade relevantes para as ciências sociais. Uma vez que a análise de causalidade à Granger constitui uma técnica de análise de séries temporais, discutimos ainda as limitações deste conjunto de técnicas.

Na secção 4 apresentamos as nossas principais conclusões e encerramos a discussão. Em particular, avaliamos até que ponto é que os testes de causalidade à Granger permitem determinar a existência de relações causais “reais”, damos notas para a correta interpretação dos resultados desses testes e apresentamos algumas implicações relevantes para a investigação empírica em ciências sociais.

1. METODOLOGIA DOS TESTES DE CAUSALIDADE À GRANGER

1.1. Definição geral e axiomas da causalidade à Granger

A definição geral de causalidade avançada por Granger (1980) parte do pressuposto de que todas as variáveis são estacionárias e medidas num espaço pré-definido de pontos separados através de intervalos equidistantes, $t = 1, 2, \dots, n$. Ω_n designa toda a informação (ou conhecimento) disponível no universo no momento n . $\Omega_n - X_n$ designa toda aquela informação exceto a relativa à variável X_t até ao momento n , onde $X_t \in \Omega_t$. Note-se que Ω_n pode incluir expectativas ou previsões que sejam relevantes, embora não possa incluir valores mensurados nos pontos $t > n$. Diz-se que X_n causa à Granger Y_{n+1} se:

$$Prob(Y_{n+1} | \Omega_n) \neq Prob(Y_{n+1} | \Omega_n - X_n). \quad (1)$$

Ou seja, se a previsão (ou probabilidade) da variável aleatória Y_t difere consoante se disponha ou não de informação relativa aos valores passados da variável aleatória X_t até ao momento imediatamente anterior, n . Assim, existe causalidade à Granger se a variável X_t contiver informação única acerca do valor que a variável Y_t vai assumir no futuro imediato.

A definição de causalidade dada por Granger (1980) assenta em três axiomas, designados por axiomas **A**, **B** e **C**. O axioma **A** postula que o passado e o presente podem causar o futuro, mas o futuro não pode causar o passado. Ou seja, a causa ocorre antes do efeito. A definição de causalidade proposta por Granger assenta fortemente neste axioma. Não aceitar o axioma **A** invalida e torna irrelevante o resto do trabalho relacionado com a aplicação da definição de causalidade. Pelo contrário, a aceitação deste axioma dá uma estrutura à definição, enfatiza o papel da previsão e releva o facto de que esta definição só é adequada para aplicação a *sequências* de observações. Por outras palavras, para Granger só faz sentido falar em causalidade se existir sequencialidade (e não simultaneidade).

O axioma **B** postula que o conjunto de informação disponível até ao momento n , Ω_n , não contém informação redundante, de tal forma que se uma variável Z_n estiver funcionalmente relacionada com outra ou outras variáveis de forma determinística, então essa variável Z_n deve ser excluída do conjunto Ω_n . Um exemplo óbvio diz respeito à medição da temperatura, hora a hora, numa determinada localidade, em graus Celsius e em graus Fahrenheit. Não faz sentido incluir ambas as medições (ou, se preferimos, variáveis) no mesmo conjunto de informação. Outro exemplo, menos óbvio, é o da relação linear de identidade dada por:

$$\text{Força de trabalho} = \text{Desempregados} + \text{Empregados}. \quad (2)$$

Naturalmente, as três variáveis não podem ser incluídas no mesmo conjunto de informação, mas não é óbvio qual é que deve ser excluída.

O axioma **C** postula que a direção das relações causais permanece constante ao longo do tempo. O objetivo deste axioma é contornar a possibilidade de a informação passada se tornar irrelevante porque a causalidade (ou melhor, o seu sentido) se alterou do passado para o futuro, o que, de certo modo, violaria o axioma **A**. De acordo com este axioma, a força e os desfasamentos das relações causais podem alterar-se, mas as leis causais não podem passar de positivas a nulas ou de nulas a positivas ao longo do tempo.

1.2. Operacionalização da causalidade à Granger

A definição geral de causalidade acima apresentada não é operacional, na medida em que não pode ser aplicada a dados reais. Para a tornar operacional, é necessário introduzir uma restrição fundamental (Granger, 1980), que deriva do facto de o conjunto de informação Ω_n não ser conhecido nem manejável. É que na realidade o melhor de que dispomos é do conjunto de informação J_n , que diz respeito à informação adequada e disponível para prever Y_t e inclui, por isso, toda a história passada de Y_t , bem como outras informações exógenas a Y_t que estejam disponíveis e sejam relevantes, embora não inclua informações relativas a X_t . É necessário distinguir este conjunto de um outro, dado por:

$$\{J'_n \supset J_n: J'_n = J_n + X_{n-j}, j \geq 0\}. \quad (3)$$

Ou seja, J'_n inclui toda a história passada de Y_t , todas as informações adicionais eventualmente disponíveis e relevantes, bem como toda a história passada de X_t . A consideração desta restrição permite reescrever a definição geral (1) da seguinte forma:

$$Prob(Y_{n+1} | J'_n) \neq Prob(Y_{n+1} | J_n). \quad (4)$$

Esta nova definição geral permite-nos avançar com a definição operacional de causalidade à Granger dada por:

$$E(Y_{n+1} | J'_n) \neq E(Y_{n+1} | J_n). \quad (5)$$

Esta definição operacional de causalidade presta-se a várias leituras e interpretações relevantes para a investigação aplicada. Em primeiro lugar, uma vez que o conjunto de informação utilizado, J'_n , é menos geral do que o universal, Ω_n , a presença de causalidade é, tão somente, causalidade *prima facie*. Só existe causalidade absoluta quando $J'_n = \Omega_n$, igualdade que nas ciências sociais dificilmente ocorre.

Em segundo lugar, para modelizar os dados é necessário assumir que essas séries são estacionárias. Assim, se assumirmos adicionalmente que toda a informação relevante para a predição dessas duas variáveis está contida apenas nelas próprias, o modelo destinado a testar a causalidade à Granger será dado por (Granger, 1969):

$$Y_t + b_0 X_t = \sum_{j=1}^{m_1} a_j Y_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_2} b_j X_{t-j} + \varepsilon'_t \quad (6)$$

$$X_t + c_0 Y_t = \sum_{j=1}^{m_3} c_j Y_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_4} d_j X_{t-j} + \varepsilon''_t \quad (7)$$

onde $b_0, c_0 \in \mathbb{R}$; os coeficientes a_j, b_j, c_j e d_j são coeficientes estimados através de um critério de mínimos quadrados; m_1, m_2, m_3 e m_4 podem ir até $+\infty$ e não são necessariamente iguais; ε'_t e ε''_t são termos de perturbação aleatórios normalmente distribuídos. Supondo, para simplificar, que $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = 1$, o modelo tem a seguinte representação matricial:

$$\mathbb{A}_0 \mathbb{Y} = \mathbb{A}_1 \mathbb{X}_{-1} + \mathbb{E} \quad (8)$$

onde as cinco matrizes apresentadas correspondem a:

$$\mathbb{A}_0 = \begin{bmatrix} 1 & b_0 \\ c_0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbb{Y} = \begin{bmatrix} Y_t \\ X_t \end{bmatrix}, \mathbb{A}_1 = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{bmatrix}, \mathbb{X}_{-1} = \begin{bmatrix} Y_{t-1} \\ X_{t-1} \end{bmatrix} \text{ e } \mathbb{E} = \begin{bmatrix} \varepsilon'_t \\ \varepsilon''_t \end{bmatrix}.$$

Esta notação permite a Granger (1969) fazer uma distinção entre dois tipos de modelos causais. O primeiro diz respeito aos modelos com causalidade instantânea, que são aqueles nos quais a matriz \mathbb{A}_0 tem elementos não nulos fora da diagonal principal. O segundo diz respeito aos modelos causais simples, que são aqueles nos quais a matriz \mathbb{A}_0 só tem elementos nulos fora da diagonal principal. É este segundo tipo de modelos que está associado ao conceito de causalidade proposto por Granger. Por vezes, um mecanismo causal simples pode aparentar ser um mecanismo com feedback (i.e. um modelo com causalidade instantânea) se a periodicidade amostral dos dados for tão longa que os detalhes da causalidade não são

suscetíveis de ser capturados (Granger e Hatanaka, 1964). Granger (1969) ilustra esta problemática: é possível que quando se utilizam dados trimestrais, por exemplo, um modelo causal simples não seja suficiente para explorar as relações entre as variáveis, ao passo que se os dados forem mensais, dito modelo causal (simples) já é suficiente. Assim, os modelos com causalidade instantânea podem resultar não das propriedades básicas da economia em estudo, mas antes da velocidade à qual a informação flui através da economia e da periodicidade de recolha dos dados amostrais utilizados. A causalidade que Granger tem em mente é, pois, a causalidade simples.

Em terceiro e último lugar, o facto de se descobrir que X_n causa Y_{n+1} relativamente a um determinado conjunto de informação não impõe quaisquer restrições sobre a causalidade de Y_n sobre X_{n+1} . Esta segunda causalidade pode ou não ocorrer. Se as duas causalidades ocorrerem, dizemos que existem relações de feedback entre as séries X_t e Y_t . Contudo, à luz do axioma C, para que dessa conclusão resulte alguma ilação com significado económico, do ponto de vista científico, é necessário que a relação de feedback detetada constitua um facto perene, ou seja, verificável ao longo (e em qualquer momento) do tempo.

No que diz respeito ao papel da teoria na análise de relações causais, o recurso a uma teoria, no sentido de operacionalizar e aplicar a definição de causalidade, pode ser útil, dependendo da qualidade da teoria e da sua natureza. Granger (1980) salienta três situações concretas nas quais as teorias podem ser úteis. Por um lado, podem indicar variáveis que devem ser incluídas, obrigatoriamente, no conjunto de informação a utilizar. Por outro lado, podem indicar variáveis que podem ser omissas do conjunto de informação, com segurança. Finalmente, podem ajudar a resolver problemas relacionados com direções causais, relativamente ao que podem parecer relações de causalidade instantânea.

1.3. Testes de causalidade à Granger passo-a-passo

O pressuposto de que as variáveis são estacionárias é demasiado exigente, sobretudo em Economia, onde é fácil e habitual encontrar variáveis não estacionárias. Não sendo estacionárias, as séries temporais podem ou não estar cointegradas, o que tem implicações na mecânica de realização dos testes de causalidade à Granger.

A cointegração, conceito que valeu a Granger o chamado Prémio Nobel da Economia em 2003, postula que se a diferença, ou uma combinação linear, entre duas séries integradas de ordem d (ou seja, diferenciadas d vezes até se tornarem estacionárias) for estacionária, diz-se que essas séries estão cointegradas (Engle e Granger, 1987). A existência de uma relação de cointegração entre as séries em estudo significa que elas partilham o mesmo *hidden common factor* e são mais bem representadas através de um modelo de correção do erro (Gonzalo e Granger, 1995; Granger, 1987). Granger (2004) reconheceu explicitamente algumas das extensões ao seu trabalho nesta matéria, nomeadamente às relações entre mais de duas variáveis (Johansen, 1988, 1991, 1995; Johansen e Juselius, 1990), aos dados sazonais (Hylleberg et al. 1990), aos modelos econométricos de grande dimensão (Jansen, 2002; Jansen e Teräsvirta, 1996) e às relações não lineares (Teräsvirta, Tjostheim e Granger, 2011).

Granger (1988a) demonstrou também a existência de uma relação entre a cointegração e o seu conceito de causalidade, concluindo que se duas séries estão cointegradas (grosso modo, se existe uma relação de longo prazo estável entre elas), então uma delas causa à Granger a outra. Assim, na prática, os testes de causalidade à Granger correspondem à última de um conjunto de quatro etapas.

A primeira etapa da realização de testes de causalidade à Granger consiste na análise da estacionaridade das séries escolhidas, tendo em vista definir as respetivas ordens de integração e a estratégia de diferenciação mais adequada, caso as séries sejam não estacionárias. Os testes DF e ADF (Dickey e Fuller, 1979, 1981), PP (Phillips e Perron, 1988) e KPSS (Kwiatkowski et al. 1992) são os mais populares, embora existam outros destinados a lidar com problemas específicos, tais como a possibilidade de existirem quebras de estrutura (Carron-i Silvestre, Kim e Perron, 2009; Perron, 1989), entre outros.

A segunda etapa diz respeito à aplicação de testes destinados a detetar e quantificar o número de relações de cointegração. Na presença de apenas duas séries, o teste preferido ainda é o desenvolvido por Engle e Granger (1987) e, caso estejam em análise três ou mais séries, tornou-se prática corrente aplicar os testes desenvolvidos por Sören Johansen e Katarina Juselius (Johansen, 1988, 1991, 1995; Johansen e Juselius, 1990). Pesaran, Shin e Smith (2001) desenvolveram testes de cointegração destinados a lidar com modelos que combinam variáveis com ordens de integração diferentes, desde que iguais ou inferiores a um.

A terceira etapa consiste na estimação da ou das relações de longo prazo e do respetivo mecanismo de correção do erro, caso as séries estejam cointegradas, ou na estimação de um modelo de desfasamentos distribuídos apenas com as variáveis diferenciadas em caso contrário (Enders, 2010; Harris e Sollis, 2003; Martin, Hurn e Harris, 2013, entre outros).

A quarta etapa corresponde à aplicação de testes de causalidade à Granger. No caso de existir cointegração, trata-se de testar as hipóteses nulas de que os coeficientes das variáveis explicativas e do (ou dos) termos de longo prazo do mecanismo (ou dos mecanismos) de correção do erro são iguais a zero. A rejeição destas hipóteses indica a existência de causalidade à Granger de curto ou de longo prazos. Se não existirem relações de cointegração, o procedimento é o mesmo, apenas não se testando o termo (ou termos) de longo prazo, pelo facto da sua não existência. Toda e Yamamoto (1995) e Dolado e Lutkepöhl (1996) desenvolveram testes de causalidade à Granger suscetíveis de serem aplicados independentemente da ordem de integração de cada uma das séries analisadas, desde que igual ou inferior a dois (ou seja, desde que todas ou apenas algumas das séries sejam integradas de ordens zero, um ou dois).

A popularidade que os testes de causalidade à Granger ganharam ao longo das últimas três décadas nem sempre foi acompanhada pelo reconhecimento do seu significado e das suas limitações. Abordaremos essas limitações nas secções seguintes.

2. CAUSALIDADE À GRANGER VS. CAUSALIDADE "REAL"

2.1. Discussões acerca do significado da causalidade à Granger

O sentido que Granger dá à causalidade não coincide com o significado que esta palavra tem na linguagem corrente, nem esgota o leque de possibilidades existentes. O conceito de causalidade à Granger deriva de uma interpretação pragmática da causalidade probabilística. Esta, por sua vez, insere-se dentro de uma longa tradição, em Filosofia, subordinada à ontologia e à epistemologia da causalidade (Price, 2001; Williamson, 2007). Na verdade, Granger soube reconhecer prontamente a importância dos contributos oriundos das teorias probabilísticas da causalidade, nomeadamente de Wiener (1956), Good (1961a, 1961b) e Suppes (1970).

Como consequência do espaço natural que as probabilidades foram conquistando na ciência económica (Jansen, 2002; Qin, 2014), a abordagem de Granger, em virtude da sua simplicidade e operacionalidade, ganhou uma grande visibilidade e preferência. De facto, bastam duas séries temporais, um mínimo de teoria e um programa informático para se gerar um exercício empírico e, presumivelmente, uma publicação científica. Mas isso não significa, nem de perto nem de longe, que esta abordagem seja melhor ou mais adequada do que quaisquer outras, algo que, aliás, Granger fez questão de ressaltar (Granger, 2004; Granger e Newbold, 1977).

A definição de causalidade proposta por Granger (1980) consiste, pois, nas definições geral (1) e operacional (5), fortemente delimitadas pelos axiomas A, B e C, em devida articulação com uma definição coerente de ciência económica. Nesse sentido, para Granger (2004), a Economia é uma ciência orientada para a decisão humana, cuja definição, na sua perspetiva, é a seguinte:

«(...) [E]conomics is a decision science, concerned with decision makers, such as consumers, employers, investors, and policymakers, in various forms of governments, institutions, and corporations (...) the purpose of economics is to help decision makers make better decisions».

Esta perspetiva dá um cunho bastante prático à análise económica, na medida em que orienta o investigador para a busca de resultados que sejam úteis para os agentes decisores. É dentro desta perspetiva que se enquadram os contributos de Granger, pois o objetivo das técnicas por si desenvolvidas era ajudar a construir modelos estatísticos que, relacionando variáveis económicas relevantes, pudessem ser utilizados principalmente para obter previsões de curto e de médio prazos. Aliás, os trabalhos de Granger acerca da causalidade inserem-se no seu programa de investigação, mais vasto, subordinado à previsão e à predição (Matthews, 2005).

Contudo, a popularidade do conceito de causalidade à Granger não nasceu com os trabalhos pioneiros de Granger nesta matéria, nomeadamente Granger e Hatanaka (1964) e Granger (1969), mas antes com a aplicação empírica de Sims (1972), que abriu uma longa linha de investigação subordinada ao estudo dos efeitos causais à Granger entre a moeda e o produto. Se o trabalho de Sims foi louvado pela sua simplicidade, também foi fortemente criticado pelo facto de as respetivas conclusões assentarem num conceito de causalidade que não correspondia à “verdadeira” causalidade, tratando-se, apenas, de causalidade “à Granger”. A este respeito, Granger reconhecia quer a ineficiência do conceito, quer o facto de o mesmo ter ajudado a construir a sua proeminência (Phillips, 1997).

Granger (1980) admitiu ainda que em alternativa às expressões “causa” e “causalidade” é possível utilizar outras, tais como “devido a”, “temporalmente interligado a”, entre outras. Mas, na sua perspetiva, esse é um esforço desnecessário, pois não existindo uma definição de aceitação generalizada, desde que se seja claro e explícito no que se pretende designar por “causalidade”, é aceitável utilizar esta expressão. No caso da definição de Granger, é perfeitamente possível designá-la por “causalidade à Granger”, se se desejar distinguir de outras aceções do termo. Premonitoriamente, Granger já desconfiava que as suas chamadas de atenção corriam o risco de ser ignoradas:

«These remarks made so far in this section are designed to defuse certain criticisms that can be made of it to follow. My experience suggests that I will be unsuccessful in this aim» (Granger, 1980).

Granger estava bem consciente de que a sua definição seria, provavelmente, uma componente daquilo que será uma definição sensata de causalidade (Phillips, 1997). Nem mais, nem menos. Assim, são incorretas as asserções que fazem equivaler a causalidade à Granger à noção de causa-efeito, sobretudo quando associada à manipulabilidade ou à controlabilidade:

«It is also worth pointing out that controllability is a much deeper property than [Granger] causality, in my opinion, although some writers have confused the two concepts. If Y [Granger] causes X, it does not mean that Y can be used to control X» (Granger, 1980).

Há várias razões pelas quais a causalidade não significa, necessariamente, controlabilidade. Por um lado, pode acontecer que o mecanismo que garante a relação causal deixe de funcionar caso se tente atuar sobre ele (Granger, 1980). Por outro lado, pode não ser possível atuar sobre as causas. Por outro lado ainda, pode não ser possível reproduzir o efeito atuando sobre as causas (à Granger).

Causalidade à Granger, por isso, não é controlabilidade, embora a presença de uma tal possibilidade, na posse do conhecimento adequado acerca do conjunto de informação relevante, implique a existência de causalidade à Granger (1988a, b). Causalidade à Granger também não é causa-efeito nem é exogeneidade. Causalidade à Granger é uma forma de dependência estatística condicional, associável à previsão, que pode ou não ter uma interpretação causal "verdadeira" a si subjacente.

No fundo, o que está em causa é a necessidade de não se atribuir à causalidade à Granger um significado diferente daquele que ela tem. Granger teve esse cuidado, repetidas vezes, e autores posteriores também fizeram questão de o sublinhar (Atukeren, 2008; Hoover, 2001; Kaldor, cit in Smith, 1999; Leamer, 1985; Zellner, 1979).

De resto, já muito antes se sabia que a identificação de uma relação estatística entre duas ou mais variáveis, por mais forte que seja, não permite nunca, por si só, estabelecer uma relação causal entre elas. Kendall e Stuart (1961), no contexto da ciência política, opinam que as nossas convicções acerca de qualquer relação de causalidade entre variáveis devem ter origem fora da estatística, baseando-se, fundamentalmente, nalguma teoria estabelecida ou no senso comum. Esta convicção voltou a ser reforçada muito recentemente pelas conclusões da linha de investigação conduzida ao longo de várias décadas pelo filósofo e cientista da computação Judea Pearl (Pearl, 2009; Pearl, Glymour e Jewell, 2016; Pearl e Mackenzie, 2018) acerca da possibilidade de inferir causas a partir dos respetivos efeitos.

2.2. Limitações explícitas e específicas da causalidade à Granger

Para além das limitações apresentadas acima, baseadas essencialmente no bom senso, existem ainda justificações formais para a ausência de uma equivalência necessária entre a causalidade à Granger e a causalidade "real", entendendo esta última como algo que, em maior ou menor grau, corresponda à manipulabilidade ou à causa-efeito. Estas limitações formais foram primeiramente apresentadas por Granger (1980) e, posteriormente, mais bem explicitadas e desenvolvidas por Hsiao (1982).

A primeira dessas limitações diz respeito às insuficiências do caso bivariado. De facto, o recurso a uma relação entre apenas duas variáveis constitui uma abstração destinada a simplificar a exposição das ideias e dos conceitos. Granger (1980) salientou que, sobretudo em Economia, é fácil sugerir variáveis omitidas relevantes, pelo que deve ser dada mais atenção à utilização de conjuntos de informação maiores. Esta primeira limitação está na base de outras, na medida em que a consideração de conjuntos de informação diferentes, de maior ou menor dimensão, pode alterar as conclusões dos testes de causalidade à Granger e, conseqüentemente, comprometer as pretensões de atribuição de significados causais "reais" aos resultados obtidos.

Assim, a segunda limitação diz respeito à possibilidade de a causalidade ser meramente indireta. Diz-se que X_1 é uma causa indireta de X_3 se X_1 causa à Granger X_3 em relação a $\{X_1, X_3\}$ mas não em relação a $\{X_1, X_2, X_3\}$ porque, na verdade, existe uma variável X_2 que é efeito causal à Granger de X_1 e, ao mesmo tempo, causa à Granger de X_3 .

Mais grave é a terceira limitação, correspondente à possibilidade de causalidade espúria. Uma possibilidade dessa natureza ocorre quando X_1 causa à Granger X_3 em relação a $\{X_1, X_3\}$ mas isso deixa de acontecer em relação a $\{X_1, X_2, X_3\}$ porque, de facto, existe uma variável X_2 que é causa à Granger tanto de X_1 como de X_3 .

Tendo em conta estas possibilidades, Granger (1980) foi muito explícito relativamente à necessidade de se clarificar qual é o conjunto de informação que está a ser utilizado, conjunto esse que deve ser o correto. Falhar no cumprimento deste requisito equivale a incorrer em conclusões erradas, nomeadamente em problemas de causalidade à Granger espúria. Como motivações para a causalidade espúria, Granger destacou, para além da presença de uma causa comum e, entre outras, as divergências em termos de periodicidade de recolha dos dados, a possibilidade de medição com erro e a eventualidade de existirem indicadores avançados.

A quarta limitação dos testes de causalidade à Granger diz respeito à violação do axioma B, que ocorre quando existem relações lineares de identidade entre variáveis incluídas no conjunto de informação (Granger, 1980). Na secção anterior, aquando da apresentação deste axioma, demos o exemplo da relação (2) e explicámos que pelo menos uma destas variáveis tem que ser retirada do conjunto de informação, embora possa não ser claro saber qual delas. Numa perspetiva mais geral, qualquer variável que seja uma função perfeita de outra deve ser excluída das considerações relativas à causalidade, visto que esta duplicação não consegue acrescentar informação útil que melhore quaisquer previsões que se pretenda fazer.

Destas quatro limitações dos testes de causalidade à Granger decorrem implicações diretas relativamente às características dos modelos presumivelmente relevantes para as políticas económicas ou de gestão. Para responder a esta interrogação, Granger e Deutsch (1992) supõem que o modelo em questão tem em vista manter uma determinada variável Y_t (por exemplo, a taxa de desemprego) próxima de uma série de valores-objetivo T_t . Para o efeito, existe uma variável de política económica C_t que o agente decisor tem ao seu dispor para controlar ou influenciar Y_t (por exemplo, a oferta de moeda). A variável Y_t é influenciada, ainda, por um vetor de outras variáveis X_t e por um termo de perturbação aleatório, e_t , com média nula. Ou seja, dito modelo é dado por:

$$Y_t = a + bC_t + kX_t + e_t \quad (9)$$

onde a , b e k são coeficientes a estimar tendo como critério a minimização a série $(Y_t - T_t)$. O objetivo do agente decisor é manipular C_{t+1} de modo a que Y_{t+1} se aproxime o mais possível de T_{t+1} . Sem nos alongarmos e destacando apenas o que é relevante para a nossa discussão, Granger e Deutsch concluem o seguinte: o modelo deve estar corretamente especificado e não deve pecar por omissão de variáveis (o que diz respeito à primeira limitação acima apresentada); as séries Y_t , C_t e X_t devem estar cointegradas. Só sob a condição de verificação destas duas condições (para além de outras mais específicas, apresentadas por Granger e Deutsch, 1992) é que é possível atribuir à causalidade à Granger uma interpretação "real" suscetível de ser útil para a política económica.

2.3. Limitações gerais das técnicas de análise de séries temporais

Os testes de causalidade à Granger constituem apenas uma de entre um conjunto de técnicas de análise de séries temporais que, entretanto, foram sendo desenvolvidas quer por Granger (1969, 1980, etc.), quer por Sims (1972, 1977, 1980, etc.), quer por muitos outros autores. Tomadas no seu conjunto, estas técnicas padecem de limitações que, inevitavelmente, condicionam ainda mais as interpretações causais “reais” que se pretendam retirar a partir das conclusões finais. Abordaremos aqui três dessas limitações.

A primeira limitação, na verdade, transcende o âmbito das análises de séries temporais e diz respeito a um grande equívoco que se instalou no âmbito da utilização de métodos quantitativos nas ciências sociais. Nestas disciplinas, é habitual serem feitas afirmações muito fortes acerca da superioridade dos métodos quantitativos avançados quando, de facto, muitos dos seus utilizadores ignoram que por detrás desses métodos estão pressupostos também muito fortes (Freedman, 2009). Freedman (2005) analisa vários exercícios quantitativos e conclui que existem boas razões para se estar céptico acerca da capacidade de os modelos estatísticos, sobretudo os mais avançados, desvendarem processos causais “reais”. Alguns problemas podem justificar o recurso a técnicas estatísticas avançadas, mas outros não. Para este autor (Freedman, 2009) o investigador deve ter como objetivo aumentar o seu grau de compreensão acerca dos fenómenos, e não exibir o seu domínio acerca de determinada ou determinadas técnicas.

A segunda limitação, já dentro do âmbito das análises com séries temporais, diz respeito à discussão acesa, desde Sims (1972, 1980), acerca do poder informativo dos modelos VAR, que constituem a base dos testes de causalidade à Granger. McCallum (cit in Cagan, 1989) é, provavelmente, quem melhor resume as posições críticas e define aquilo que, nesse âmbito, se considera ser o alcance dessa classe de modelos:

«(...) [T]he use of VAR is just a technique of descriptive statistics – that running a VAR is comparable to calculating the mean of a series of data, or calculating the standard deviation – it is just a slightly more complicated descriptive statistic. One is not going to get any understanding from any descriptive statistic unaided. It must be combined with some understanding that relates the descriptive statistic to the characteristics of the system».

Também Lawrence Klein (1994), cujo trabalho se situa nos antípodas da abordagem probabilística do tipo de Granger e Sims, critica fortemente a geração de econométristas aplicados formados sob a égide dos trabalhos destes dois autores. Para Klein, esta geração de investigadores tende a aplicar as ferramentas desenvolvidas por Granger, Sims e seguidores de uma forma mecânica, sem pensar muito no que se está a fazer e sem perceber convenientemente as dinâmicas das séries temporais com que trabalham.

A terceira limitação geral das técnicas de análise de séries temporais prende-se com as sobre-expectativas que se criaram à sua volta, aquando da respetiva introdução nas ciências económicas. Smith (1999) salienta que a criação de cada uma daquelas técnicas foi motivada por questões estatísticas muito específicas, pelo que foi irrealista pensar-se que através da aplicação quase mecânica dessas técnicas seria possível responder, sem ambiguidades, a importantes questões macroeconómicas. Não é que as técnicas não sejam úteis. As expectativas dos analistas é que eram irrealistas.

Assim, é importante ter presente que os testes de raízes unitárias foram introduzidos em Economia por Nelson e Plosser (1982) tendo em vista analisar problemas relacionados com as flutuações da atividade económica. Já a introdução de modelos VAR foi uma consequência, em grande medida, da má capacidade previsionial dos modelos macroeconómicos da tradição

fundada pela Comissão Cowles e da concomitante divisão arbitrária entre variáveis endógenas e exógenas. Por sua vez, os testes de cointegração foram introduzidos tendo em vista, por um lado, testar a estabilidade dos “grandes rácios” (Klein e Kosobud, 1961; Koot e Walker, 1972; e.g. as relações poupança-rendimento, capital-produto, capital-trabalho, bem com o peso do trabalho no rendimento, entre outros) e, por outro lado, operacionalizar o conceito económico de equilíbrio. A introdução dos testes de causalidade à Granger, por seu turno, ocorreu por via do trabalho de Sims (1972). O objetivo era saber se a moeda causava o produto ou se era este que causava a moeda, tendo como ponto de partida toda uma fundamentação teórica que nasce com a equação das trocas de Fisher (1911), atravessa as seis décadas seguintes e, pelo meio, chega a merecer a atenção de economistas tão ilustres como Milton Friedman e Anna Schwartz (1963).

CONCLUSÃO

Neste trabalho analisámos o significado, o alcance e as limitações do conceito de causalidade à Granger. A digressão empreendida permitiu-nos chegar a uma grande conclusão suportada por seis argumentos. A grande conclusão é a de que os testes de causalidade à Granger não permitem, por si sós, determinar se as variáveis analisadas estão efetivamente ligadas entre si através de relações causais “reais”, do tipo causa-efeito, de algum modo suscetíveis de manipulação ou controlo. O primeiro argumento é dado pelo próprio conceito de causalidade à Granger, que diz respeito a uma técnica destinada a avaliar se uma determinada série temporal é ou não capaz de ajudar a prever outra ou outras. A existir alguma interpretação causal “real”, ela não é determinada pelos resultados dos testes de causalidade à Granger. O objetivo de Granger não era a manipulabilidade, mas tão somente a previsão. Granger alertou para o facto, mas sabia que muitos iriam ignorar (ou continuar a ignorar) as suas advertências, como efetivamente veio a acontecer.

Em segundo lugar, mesmo que os testes de causalidade à Granger permitam detetar a existência de uma relação causal “real” (o que é positivo e desejável que aconteça), isso não significa que se possa controlar ou manipular essa relação. Por um lado, a tentativa de manipular o mecanismo encontrado pode alterar o funcionamento do próprio mecanismo. Por outro lado, pode ser impossível manipular as causas ou, até mesmo, a replicação das causas pode não ser suficiente para induzir o efeito desejado.

O terceiro argumento diz respeito à sensibilidade dos testes de causalidade à Granger face aos conjuntos de informação considerados. Assim, a existência de uma relação causal à Granger entre duas variáveis X_t e Y_t pode deixar de existir ou passar a existir se forem considerados conjuntos mais alargados de variáveis. Granger salientou que o investigador tem que ter o cuidado de considerar o conjunto de informação adequado, sob pena de se deparar com situações de causalidade espúria, motivadas pela omissão de variáveis, pela presença de indicadores avançados, pela presença de relações lineares ou de identidade entre as variáveis, entre outros fatores.

O quarto argumento é o de que os testes de causalidade à Granger correspondem, habitualmente, à última, ou uma das últimas, de uma sequência de técnicas avançadas de análise de séries temporais, sendo que em cada etapa as respetivas técnicas baseiam-se em vários pressupostos que podem não se verificar ou não ser suscetíveis de verificação em contextos específicos de análise. Pode acontecer, até, que as respostas a algumas questões empíricas não requeiram a aplicação de técnicas tão avançadas, ou que as relações causais “reais”, a existirem, não sejam passíveis de deteção por via dos testes de causalidade à Granger.

Em quinto lugar, para muitos autores os testes de causalidade à Granger, tal como os modelos nos quais eles assentam, os modelos VAR, não são mais do que técnicas avançadas de estatística descritiva, por si sós incapazes de caracterizar a natureza das relações existentes entre as variáveis analisadas. Para esses autores, a aplicação mecânica dessas técnicas, de forma não articulada com a teoria ou com o contexto histórico, constitui um erro que deve ser evitado a todo o custo.

Por último, quer os testes de causalidade à Granger quer cada uma das técnicas que normalmente as antecedem, foram criados e desenvolvidos para dar resposta a questões teóricas e empíricas específicas. Mas mesmo relativamente a muitas dessas questões, antigas e estabelecidas em Economia, a aplicação daquelas técnicas ainda não permitiu obter respostas absolutamente consensuais. Nesse sentido, é pouco provável que a aplicação das mesmas técnicas a questões menos bem estabelecidas permita obter respostas definitivas e suscetíveis de algum tipo de interpretação causal "real". Por exemplo, uma mera correlação bivariada estatisticamente significativa pode ser suficiente para estabelecer uma relação causal entre duas variáveis físicas controladas laboratorialmente. Será mais difícil chegar ao mesmo tipo de conclusão se as variáveis analisadas disserem respeito a fenómenos sociais, mesmo que relativamente bem estudados. Será ainda mais difícil, se não mesmo impossível, retirar ilações causais quando os fenómenos sociais em estudo ainda não estão bem estudados e as suas interações com o resto do ambiente social são pouco conhecidas.

Esta linha de argumentação tem consequências práticas relevantes. Em particular, os modelos econométricos de séries temporais só são úteis para a política económica se estiverem corretamente especificados, ou seja, sem omissão de variáveis relevantes, e se as variáveis incluídas estiverem ligadas entre si através de uma relação de cointegração, para além de outras condições salientadas por Granger e Deutsch (1992). No fundo, a interpretação causal requer o conhecimento do processo gerador de dados correto (ou, pelo menos, o conhecimento de uma aproximação linear sua muito boa). Só assim se pode garantir que a causalidade à Granger tem uma interpretação real "útil" para a política económica. Por outras palavras, só assim se pode dizer, inequivocamente, que manipulando uma determinada causa suscetível de manipulação se consegue gerar ou alterar um determinado efeito.

REFERÊNCIAS

- Atukeren, E. (2008) "Christmas cards, Easter bunnies, and Granger-causality", *Quality and Quantity*, Vol. 42, No. 6, pp. 835-844.
- Cagan, P. (1989) "Money-income causality: a critical review of the literature since «A Monetary History»", in Michael D. Bordo (ed.) *Money, History, and International Finance: Essays in Honor of Anna J. Schwartz*, University of Chicago Press, pp. 117-160.
- Carrion-i-Silvestre, J., Kim, D. e Perron, P. (2009) "GLS-Based unit root tests with multiple structural breaks under both the null and the alternative hypotheses", *Econometric Theory*, Vol. 25, No. 6, pp. 1754-1792.
- Dickey, D. e Fuller, W. (1979). "Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74, No. 366, pp. 427-431.
- Dickey, D. e Fuller, W. (1981) "Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root", *Econometrica*, Vol. 49, No. 4, pp. 1057-1072.
- Dolado, J. e Lütkepohl, H. (1996) "Making Wald tests work for cointegrated VAR systems", *Econometric Reviews*, Vol. 15, No. 4, pp.
- Enders, W. (2010) *Applied Time Series Econometrics*, John Wiley and Sons, England.

- Engle, R. e Granger, C. (1987) "Co-Integration and error correction: Representation, estimation, and testing", *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, pp. 251-276.
- Fisher, I. (1911) *The Purchasing Power of Money*, New York, Macmillan.
- Freedman, D. (2005) *Statistical Models: Theory and Practice*, Cambridge University Press.
- Freedman, D. (2009) "Limits of Econometrics", *International Econometric Review*, Vol. 1, No. 1, pp. 5-17.
- Friedman, M. e Schwartz, A. (1963) *A Monetary History of the United States, 1867-1960*, Princeton University Press.
- Gonzalo, J. e Granger, C. (1995) "Estimation of common long-memory components in cointegrated systems", *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 13, No. 1, pp. 27-35.
- Good, I. (1961a) "A causal calculus (I)", *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 11, No. 44, pp. 305-318.
- Good, I. (1961b) "A causal calculus (II)", *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 12, No. 45, pp. 43-51.
- Granger, C. (1969) "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods", *Econometrica*, Vol. 37, No. 3, pp. 424-438.
- Granger, C. (1980) "Testing for causality: A personal viewpoint", *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 2, No. 1, pp. 329-352.
- Granger, C. (1987) "Implications of aggregation with common factors", *Econometric Theory*, Vol. 3, No. 2, pp. 208-222.
- Granger, C. (1988a) "Causality, cointegration, and control", *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, No. 2-3, pp. 551-559.
- Granger, C. (1988b) "Some recent development in a concept of causality", *Journal of Econometrics*, Vol. 39, No. 1-2, pp. 199-211.
- Granger, C. (2004) "Time series analysis, cointegration, and applications", *American Economic Review*, Vol. 94, No. 3, pp. 421-425.
- Granger, C. e Deutsch, M. (1992) "Comments on the evaluation of policy models", *Journal of Policy Modeling*, Vol. 14, No. 4, pp. 497-516.
- Granger, C. e Hatanaka, M. (1964) *Spectral Analysis of Economic Time Series*, Princeton University Press.
- Granger, C. e Newbold, P. (1977) *Forecasting Economic Time Series*, Academic Press.
- Harris, R. e Sollis, R. (2003) *Applied Time Series Modelling and Forecasting*, John Wiley and Sons, England.
- Hoover, K. (2001) *Causality in Macroeconomics*, Cambridge University Press.
- Hsiao, C. (1982) "Autoregressive modeling and causal ordering of economic variables", *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 4, pp. 243-259.
- Hylleberg, S., Engle, R., Granger, C. e Yoo, B. (1990) "Seasonal integration and cointegration", *Journal of Econometrics*, Vol. 44, No. 1-2, pp. 215-238.
- Jansen, E. (2002) "Statistical Issues in Macroeconomic Modelling", *Scandinavian Journal of Statistics*, Vol. 29, No. 2, pp. 193-213.
- Jansen, E. e Teräsvirta, T. (1996) "Testing parameter constancy and super exogeneity in econometric equations", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 58, No. 4, pp. 762-763.
- Johansen, S. (1988) "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, No. 2-3, pp. 231-254.
- Johansen, S. (1991) "Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autoregressive models", *Econometrica*, Vol. 59, No. 6, pp. 1551-1580.

- Johansen, S. (1995) *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models*, Oxford University Press, New York.
- Johansen, S. e Juselius, K. (1990) "Maximum likelihood estimation and inference on cointegration: with applications to the demand for money", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 2, pp. 169-210.
- Kendall, M. e Stuart, A. (1961) *The Advanced Theory of Statistics, Volume 2: Inference and Relationship*, Charles Griffin, New York.
- Klein, L. (1994) "Problems with modern economics", *Atlantic Economic Journal*, Vol. 22, No. 1, pp 34-38.
- Klein, L. e Kosobud, R. (1961) "Some econometrics of growth: great ratios of economics", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 75, No. 2, pp. 173-198.
- Koof, R. e Walker, D. (1972) "A Reconsideration of the 'great ratios' of economics", *Decision Sciences*, Vol. 3, No. 3, pp. 115-123.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P., Schmidt, P. e Shin, Y. (1992) "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?", *Journal of Econometrics*, Vol. 54, No. 1-3, pp. 159-178.
- Leamer, E. (1985) "Vector autoregressions for causal inference?", *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, Vol. 22, No. 1, pp. 255-304.
- Martin, V., Hurn, S. e Harris, D. (2013) *Econometric Modelling with Time Series Specification, Estimation and Testing*, Cambridge University Press.
- Matthews, P. (2005) "Paradise lost and found? The econometric contributions of Clive W. J. Granger and Robert F. Engle", *Review of Political Economy*, Vol. 17, No. 1, pp. 1-28.
- Nelson, C. e Plosser, C. (1982) "Trends and random walks in macroeconomic time series: Some evidence and implications", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 10, No. 2, pp. 139-162.
- Pearl, J. (2009) "Causal inference in statistics: An overview", *Statistics Surveys*, Vol. 3, pp. 96-146.
- Pearl, J. e Mackenzie, D. (2018) *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*, Basic Books, New York.
- Pearl, J., Glymour, M. e Jewell, N. (2016) *Causal Inference in Statistics: A Primer*, Wiley, United Kingdom.
- Perron, P. (1989) "The Great Crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis", *Econometrica*, Vol. 57, No. 6, pp. 1361-1401.
- Pesaran, M., Shin, Y. e Smith R. (2001) "Bounds testing approaches to the analysis of level relationships", *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 16, No. 3, pp. 289-326.
- Phillips, P. (1997) "The ET interview: Professor Clive Granger", *Econometric Theory*, Vol. 13, No. 2, pp. 253-303.
- Phillips, P. e Perron, P. (1988) "Testing for a unit root in time series regression", *Biometrika*, Vol. 75, No. 2, pp. 335-346.
- Price, H. (2001) "Causation in the special sciences: the case for pragmatism", in D. Costantini, M. Galavotti e P. Suppes (eds.) *Stochastic Causality*, CSLI Publications Stanford, California, pp. 103-120.
- Qin, D. (2014) "Consolidation of the Haavelmo-Cowles Commission Research Program", *Econometric Theory*, Vol. 31, No. 2, pp. 275-293.
- Sims, C. (1972) "Money, income, and causality", *American Economic Review*, Vol. 62, No. 4, pp. 540-552.
- Sims, C. (1977) "Exogeneity and causal ordering in macroeconomic models", in C. Sims (ed.) *New Methods in Business Cycle Research: Proceedings from a Conference*, Federal Reserve Bank, Minneapolis, pp. 23-43.

- Sims, C. (1980) "Macroeconomics and reality", *Econometrica*, Vol. 48, No. 1, pp. 1-48.
- Smith, R. (1999) "Unit roots and all that: the impact of time-series methods on macroeconomics", *Journal of Economic Methodology*, Vol. 6, No. 2, pp. 239-258.
- Suppes, P. (1970) *A Probabilistic Theory of Causality*, North-Holland, Amsterdam.
- Terasvirta, T., Tjostheim, D. e Granger, C. (2011) *Modelling Nonlinear Economic Time Series*, Oxford University Press.
- Toda, H. e Yamamoto, T. (1995) "Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes", *Journal of Econometrics*, Vol. 66, No. 1-2, pp. 225-250.
- Wiener, N. (1956) "The theory of prediction", in E. Beckenbach (ed.) *Modern Mathematics for Engineers*, McGraw-Hill, New York, pp. 165-187.
- Williamson, J. (2007) "Causality", in D. Gabbay e F. Guentner (eds.) *Handbook of Philosophical Logic*, 2nd ed., Volume 14, pp. 95-126.
- Zellner, A. (1979) "Causality and econometrics", in K. Brunner e A. Meltzer (eds.) *Three Aspects of Policy and Policymaking*, Carnegie-Rochester Conference Series, Vol. 10, North-Holland, pp. 9-54.