

Quão diferentes e quão iguais? Análise de *cluster* aplicada aos dados de inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa de empresas listadas na Bolsa de Valores brasileira

1 INTRODUÇÃO

Desde o Protocolo de Quioto, em 1997, a institucionalização de mercados de carbono no mundo deu um passo relevante. Os países em desenvolvimento, como o Brasil, embora sem a obrigação de fixar metas para a redução da emissão de gases poluentes, puderam participar de um novo e lucrativo mercado, obtendo vantagens por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Um importante aspecto previsto no tratado permitia a compra de créditos advindos de projetos que reduzam as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de países não participantes (Uderman, 2010).

Neste contexto, a busca por energias mais limpas colocou o Brasil como opção de investimentos aos países desenvolvidos que demandavam créditos de carbono. A ideia é que estes mercados sejam vantajosos tanto para quem compra quanto para quem vende. Por um lado, contribui para que os países compradores atinjam metas de emissão dos países desenvolvidos, reduzindo assim o elevado custo de mudança de processo produtivo já existente (Prates, 2019). Por outro lado, os vendedores podem criar fontes de receitas, melhorando o desempenho das empresas, desde que o custo para implantação dos processos para redução da emissão de carbono não supere a receita gerada pela comercialização dos créditos.

Além disso, esse mercado proporciona melhor reputação às empresas pela aderência à responsabilidade socioambiental, atraindo investimentos por meio da vinculação da sustentabilidade à sua marca, agregando valor a seus produtos, diferenciando-os e melhorando a competitividade (Alvarez, 2012; Matsumura et al., 2013).

Contudo, ainda que para o Brasil os créditos de carbono possam representar potencial nicho de mercado, com aumento de receitas por meio da exportação de serviços ambientais, em sua configuração atual, muitas vezes, são considerados meramente como uma licença para poluir. Este argumento repousa no fato de que o não cumprimento das metas de redução determinadas seria suprimido pela aquisição dos créditos como compensação, evitando possíveis sanções legais.

Esse comportamento tende a reforçar os argumentos de Gneezy e Rustichini (2000) em que a penalização pelo não cumprimento de metas foi visto como um incentivo ao comportamento indesejado. Porém, sob a ótica da regulação, que é a mãe de todas as inovações socioambientais, é possível estabelecer um parâmetro comum, que seja capaz de reduzir drasticamente os problemas competitivos causados pelos custos *versus* benefícios das ações ambientais nas empresas (Prates, 2010). No Brasil, diversos estudos realizaram análises a partir do marco regulatório com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, lei 11.187/2009), a fim de identificar mudanças e avaliar possíveis cenários. Contudo, no que se refere às emissões de GEE, são poucas as empresas que optam por realizar e divulgar inventários de emissões (Magalhães, 2013; Prates, 2019).

O objetivo desta pesquisa é compreender de que forma as empresas listadas na Brasil, Bolsa, Balcão (B3) que divulgam inventários de emissões no Brasil se assemelham ou se distinguem, mediante variáveis quantitativas relacionadas à intensidade de emissão de GEE (Gases de Efeito Estufa), ao tamanho da empresa, à receita operacional líquida, ao potencial de investimentos em novas tecnologias, à comunicação e à responsabilidade socioambiental.

A motivação do estudo é contribuir para elucidar as características destas empresas, buscando compreender de que forma as entidades que divulgam voluntariamente inventários de emissões no Brasil se assemelham ou se diferenciam por meio de critérios de desempenho financeiro, ambiental e social. Optou-se pela utilização da técnica de agrupamento das empresas que realizam o *disclosure* (evidenciação) de inventários de emissões de carbono e sua separação por similaridade em características de potencial de poluição, de setor de atuação, de tamanho,

de receita operacional líquida, de potencial de investimentos em novas tecnologias e de adaptação de processo produtivo de baixo carbono, comunicação e responsabilidade socioambiental.

Sob a ótica da teoria da regulação, o estudo promove reflexões acerca das emissões no Brasil e de seu impacto sobre os debates sobre o problema ambiental. A relevância do estudo está em proporcionar evidências para orientar a política regulatória de redução de emissões de GEE, considerando características peculiares das firmas, como o potencial de investimentos em novas tecnologias. Além disso, a pesquisa fornece evidências de que a regulação pode não exercer impacto tão importante nas decisões de implementação de sistemas de gestão ambiental, selos, padronizações e inovações tecnológicas em grandes firmas brasileiras, que normalmente se antecipam à regulação. Em contrapartida, o recrudescimento da regulação pode forçar a adequação de firmas menores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Dinâmica corporativa e a temática ambiental

Na chamada Revolução Eco-Industrial, as ações relacionadas à preservação do meio ambiente têm mudado não apenas a imagem das empresas diante de seus consumidores, mas também a sua forma de produção e eliminação de resíduos, muitas vezes influenciando diretamente as suas margens de lucro (Costa, 2005).

O engajamento das empresas com a temática ambiental, social e de governança (ESG) é crescente e denota uma preocupação que vem sendo tratada como um mecanismo de competitividade, uma estratégia de desenvolvimento e continuidade das empresas no mercado. Contudo, essa preocupação com o meio ambiente raramente é suscitada apenas pela consciência ambiental, mas surge frente a exigências de mercado (Costa, 2005; Alvarez, 2012; Matsumura et al., 2013).

A adoção de mecanismos que engendram mudança organizacional ou de tecnologia ambiental implica, muitas vezes, altos custos, ocorrendo em casos de criação de forte regulação ou escassez severa de um determinado recurso natural. Adicionalmente, a crescente demanda por recursos naturais é proveniente de um universo cada vez mais diversificado, em função da interconectividade global. Porém, essa temática vem sendo cada vez mais discutida, à medida que a consciência ecológica global vem crescendo.

No Brasil, as leis ambientais podem ser consideradas modernas. No entanto, existe uma dificuldade na fiscalização, por falta de recursos humanos e materiais, principalmente no que diz respeito a empresas menores (Prates, 2006). Nesse sentido, somente as empresas maiores teriam alguma motivação para envolver-se com questões ambientais. Ressalta-se que são essas empresas as responsáveis pelo crescimento ecoeficiente no Brasil (Marcovitch, 2014; Prates, 2019).

De acordo com Lustosa (2003), os determinantes do investimento ambiental são: i) regulação ambiental – incentivo para que as firmas se tornem menos agressivas e tomem medidas para reduzir os problemas ambientais; ii) pressão dos consumidores finais e intermediários – aumentou sensivelmente com o aumento da conscientização ambiental, mas ainda revela grandes diferenças entre países ricos e pobres. iii) pressão dos *stakeholders* – sociedade civil, parlamentares, populações residentes do entorno de uma atividade que gere externalidades negativas ao meio ambiente, Organizações não Governamentais (ONGs) e ambientalistas. iv) pressão dos investidores – risco de passivos financeiros decorrentes de infrações ambientais.

A partir das diferentes motivações das entidades, discute-se, na sequência, algumas políticas e regulações ambientais que buscam internalizar aspectos ou efeitos prejudiciais ao cotidiano corporativo.

2.2 Instrumentos de política ambiental

As políticas de redução de emissões de GEE partem da ideia de preservação de um bem público global cujos benefícios atingem a todos. Porém, há um argumento recorrente de que os custos atrelados ao processo de mitigação das externalidades negativas são repassados apenas àqueles que financiam essas ações, e que os benefícios oriundos dessas empreitadas só serão sentidos no futuro, o que pode inibir no presente a implementação de políticas eficientes (Baumol & Oates, 1971; Magalhaes & Domingues; 2013).

Em se tratando de políticas e regulações ambientais, seu objetivo é assegurar que os custos externos da poluição sejam totalmente absorvidos por aqueles responsáveis por ela. Por muitos anos, a necessidade de limpeza ambiental da indústria foi ignorada por muitas nações na tentativa de frear o ímpeto regulatório que surgiu nos anos 1960/70, em razão de diversos artigos e livros científicos que previam o esgotamento de matérias primas (Baumol & Oates, 1971; Meadows et al. 1972). O argumento central era de que os custos de ajustamento da produção seriam muito maiores do que os benefícios, e que a tecnologia não estaria suficientemente desenvolvida para atender essas demandas de forma satisfatória e barata.

Assim, a regulação evoluiu lentamente até os anos 1990. Em meados dos anos 1990, o meio ambiente retornou à pauta central da indústria, com a Rio 1992 e com pesquisadores como Michael Porter. Alguns dos artigos do pesquisador mencionado demonstraram que o conflito entre proteção ambiental e competitividade econômica seria uma falsa dicotomia para muitos setores da atividade econômica (Porter, 2006; Porter & Linde 1995a; Porter & Linde 1995b). A Chamada “Hipótese de Porter” mostraria evidências de que muitas empresas competitivas são mais capazes de inovar em resposta a um estímulo regulatório. A hipótese não prova que as firmas podem sempre inovar para reduzir o impacto ambiental a um baixo custo, mas denota que existem oportunidades consideráveis para reduzir a poluição através de inovações que redesenham produtos, processos e métodos de operação. Assim, o panorama começou a mudar com maior velocidade.

As soluções ambientais adotadas pelas firmas podem ser classificadas em duas principais categorias: Soluções *End of Pipe* (EOP) e *Pollution Prevention* (PP). A primeira, mais comum nos primórdios da regulação ambiental, servia apenas para remediar a poluição já ocorrida, como filtros para poluição de gases e particulados e estações de tratamento de efluentes. A segunda categoria de soluções, e muito mais eficaz, é a mudança completa do processo produtivo, aplicando tecnologias mais eficientes que sejam capazes de evitar a poluição antes que ela ocorra, como mudanças nos insumos, aproveitamento de rejeitos, ciclo de reaproveitamento e limpeza automática da água etc. Essas soluções PP se encaixam perfeitamente na hipótese de Porter, por reduzir sensivelmente a utilização de insumos, água e energia, portanto, modificando a produção para que seja mais eficiente, econômica e limpa (Prates, 2006).

Sobre aspectos regulatórios, as políticas de limitações são uniformes para diferentes fontes. Na prática, no entanto, os meios e custos de controle das emissões variam entre setores e empresas, muitas vezes substancialmente. Com efeito, pode haver diferenças consideráveis entre os custos de redução de emissões de GEE - algumas empresas podem, por exemplo, ser capazes de instalar equipamentos de controle de poluição de forma mais barata do que outras. Uma regulação que exige um mesmo nível de redução de emissões a todos os poluidores não é a maneira mais eficiente ou de menor custo para se alcançar uma redução desejada na poluição total (Behr *et al*, 2009). Nesse sentido, abordagens baseadas em mecanismos de mercado têm sido amplamente discutidas, como a taxação de carbono e de políticas de *cap-and-trade* (mercado de carbono).

Existem três principais categorias de instrumentos de política ambiental que têm o objetivo de internalizar as externalidades, de acordo com Kemp, Smith e Becher, (2000). A

primeira é a categoria de Comando e Controle e ocorre quando a intervenção governamental é explícita e específica. É a chamada regulação direta, que estabelece regras, padrões e procedimentos que devem ser adotados pelos agentes poluidores, assim como multas e penalidades no caso de descumprimento.

A segunda categoria são os instrumentos econômicos, ou instrumentos de mercado. São considerados estímulos importantes à economia e ao comportamento responsável. Para Magalhães (2013), os mecanismos de mercado têm dois atrativos principais. Primeiramente, permitem que as empresas e indivíduos voluntariamente escolham reduzir as emissões de GEE já que os custos de o fazer são mínimos, alcançando um determinado grau de controle da poluição a um custo menor do que a aplicação de uma regulamentação. Em segundo lugar, os instrumentos de mercado proporcionam um incentivo contínuo para o desenvolvimento de produtos e processos menos poluentes, ao passo que regulamentações tendem a incentivar apenas o cumprimento mínimo exigido.

Outro mecanismo de mercado é a taxa das emissões de carbono, em que a autoridade administrativa define as taxas do imposto e podem sofrer aumento dos preços e/ou redução dos lucros. Nesse sentido, as forças de mercado espontaneamente trabalham de maneira custo-efetiva (minimização de custos) para reduzir suas emissões. Mercados como o dinamarquês, o finlandês, o sueco, o holandês e o norueguês foram os primeiros a adotar impostos sobre as emissões de carbono (Magalhães, 2013).

Contudo, discute-se que apesar dos impostos ambientais possuem potencial de minimizar os custos de cumprimento das metas para as empresas, conseqüentemente, os consumidores irão arcar com parte dos custos do imposto. Portanto, o custo mínimo deriva do fato de que um imposto comum a todos os poluidores leva a taxas variáveis de abatimento de emissões determinadas pelos custos marginais individuais de redução da poluição. Poluidores com alto custo marginal tendem a pagar o imposto, em vez de diminuir as emissões.

A ideia central da medida é que taxas de carbono funcionam como um incentivo contínuo para a adoção de tecnologias limpas. O uso de padrões tende a favorecer mudanças para tecnologias disponíveis. Mas a menos que os padrões sejam continuamente revistos e ajustados para atingir as melhores tecnologias, não há incentivo para que o poluidor vá além do padrão regulamentado. Muitas pesquisas nacionais e internacionais apontam efeitos potenciais de mitigação de GEE a partir da introdução de políticas baseadas na taxa de carbono (Silva Freitas et al., 2016; Ohlendorf et al., 2021).

O mercado de carbono é um dos mecanismos tidos como capazes de reduzir as emissões de GEE e incentivar o desenvolvimento sustentável no longo prazo. Nesse sentido, o mecanismo de redução de emissões poderia ser um recurso de menor custo às organizações, do ponto de vista tradicional de retornos de curto prazo, e tornar um investimento com oportunidade de retornos financeiros e econômicos no médio e longo prazo, além de viabilizar o aumento das vantagens competitivas da empresa no mercado mundial (Hopwood, Unerman & Fries, 2010). Por fim, a terceira categoria engloba os instrumentos de comunicação, como as divulgações de informações financeiras e não financeiras, que têm por objetivo principal conscientizar e informar os agentes, criar mercados de produtos ambientais e promover a cultura de uma imagem e reputação empresarial que agregue valor aos produtos.

Assim, a partir dos mecanismos disponíveis para o alcance de metas de redução de GEE, apresenta-se a discussão da regulação (comando e controle), considerando a premissa de que esse instrumento é capaz de reduzir as emissões até certo limite regulamentado, construindo um parâmetro mínimo para a poluição aceitável.

2.4 Regulação

O argumento microeconômico usual que define a função da regulação é o de que as normas servem para a reparar falhas de mercado. A aplicação de padrões de eficiência

energética, se implementados com cuidado, podem reforçar as políticas via mecanismos de mercado custo-eficientes. A popularidade crescente do comércio de emissões levou ao surgimento de diversos mercados de carbono durante a última década. O Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção sobre a Mudança do Clima, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, e propôs também sua participação voluntária, por meio de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Os investimentos do setor privado em tecnologias de baixo carbono requerem incentivos que tornem estas opções atraentes. Se uma tecnologia de baixo carbono possui custo maior do que a usual, ou demanda maior investimento, dificilmente os setores produtivos seriam inclinados a optar por ela, mesmo que imbuídos de princípios de sustentabilidade ou responsabilidade social. Neste contexto, mecanismos de mercado, como isenção de impostos para compra de máquinas e equipamentos mais eficientes, podem ser uma opção, uma vez que incentiva o investimento em tecnologias mais limpas, reduzindo custos e favorecendo uma economia de baixo carbono economicamente eficiente e ecologicamente sustentável. O mercado de carbono é a política de maior evidência no cenário internacional e talvez a mais plausível para o caso brasileiro (Magalhães, 2013).

As mudanças econômicas ocorridas principalmente a partir dos anos 2000 e as pressões por melhores resultados têm feito as empresas maximizarem seus esforços por um melhor desempenho econômico-financeiro (Freire, 2014). Ao mesmo tempo, há uma crescente demanda social e de mercado atrelada a causas socioambientais, repercutindo inclusive na escolha de investimentos com menores riscos futuros de passivos ambientais e prejuízos de imagem e reputação. Essa preocupação não apenas está focada na geração de lucros e na continuidade das entidades, mas também na sustentabilidade ambiental.

Como anteriormente discutido, a literatura tem apresentado diversas possibilidades que podem contribuir para a redução de emissões de GEE. Dentre elas a taxação de carbono (Silva Freitas et al., 2016), incentivos a gestores (Eccles, et al., 2012; Prates, 2019), regulação (Kemp et al., 2000; Behr et al., 2009), mercado de carbono (Magalhães, 2013), investimentos em energias limpas (Uderman, 2010) e mudanças no processo produtivo (Porter e Linde, 1995a). Tais propostas possuem prós e contras e necessitam sobretudo de uma análise efetiva de custo-benefício que indique a possibilidade de adotá-las, considerando as especificidades do mercado brasileiro.

De acordo como o Banco Mundial, o mercado voluntário de carbono (que conta com empresas não obrigadas a compensar as suas emissões), movimentou US\$ 320 milhões em 2019 - o equivalente a 1% do mercado regulado, guiados por políticas públicas e que englobam os compromissos assumidos pelos países na Organização das Nações Unidas. A expectativa é que com o aumento da demanda ESG em todo o mundo, esse mercado supere os US\$ 300 bilhões até 2050 (Valor, 2021).

Apesar do crescimento da demanda e da crescente conscientização social em torno de questões climáticas, apenas 31 empresas não financeiras brasileiras listadas na bolsa de valores brasileira fizeram inventário de emissões de GEE por meio de um organismo acreditado (*GHG Protocol*) no período analisado. As divulgações dos inventários de emissões são voluntárias, o que prejudica o acesso a outros dados de forma confiável. Contudo, a amostra que se deseja explorar conta com empresas de diversos setores e pode trazer informações importantes em relação às características das firmas que decidem torná-las públicas.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é descritiva e explicativa com abordagem quantitativa dos dados. O horizonte temporal analisado foi de oito anos: de 2012 a 2019. Essa delimitação se deve à disponibilidade de dados de inventários de emissões divulgados e disponíveis publicamente até

o presente momento. Partiu-se de um total de 246 observações, reduzidas a 207 tendo em vista que algumas empresas não divulgaram os inventários de emissões em alguns anos.

3.1 Dados da pesquisa

A amostra estudada é composta por 31 empresas de diversos setores da economia, listadas na B3 e que divulgam os dados de remuneração de executivos e o inventário de emissões de GEE nos anos analisados. Essas empresas fazem parte do Programa Brasileiro *GHG Protocol* (FGV, 2021), cujos inventários de emissões são voluntariamente divulgados via internet, na plataforma mencionada.

Na Tabela 1, apresenta-se o número de empresas por segmento setorial, bem como sua razão social.

Tabela 1

Amostra Final por segmento setorial de 2012 a 2019

Segmento	Empresas	Nº de companhias
Água e Saneamento	Sanepar	01
Alimentos processados	JBS / BRF	02
Consumo Cíclico - Comércio	Lojas Americanas / Lojas Renner / Natura	03
Consumo não cíclico - Comércio	Cia Brasileira de distribuição (CBD)	01
Construção Civil	MRV	01
Energia Elétrica	EDP Energias do Brasil / Furnas Centrais elétricas / CPFL Energia / Cemig / AES Brasil / CESP	06
Industria de Transformação - Máquinas	Whirlpool	01
Mineração	Vale	01
Petróleo, Gás e Biocombustíveis	Petrobras / Ultrapar / Raizen Energia	03
Papel e Celulose	Fibria / Klabin / Suzano	03
Químicos e Petroquímicos	Braskem	01
Saúde	Hypera / Fleury	02
Telecomunicações	Telefonica Brasil / Tim / Oi	03
Transporte	VRG Linhas Aereas / Ecorodovias / CCR	03
Total de empresas		31

Fonte: Dados da amostra da pesquisa com base na classificação setorial e por segmento da B3 (2021).

A maior participação na amostra vem do setor de Energia Elétrica (19,4%). Os segmentos de Comércio Cíclico, Celulose e Papel, Telecomunicações, Transporte e Petróleo, Gás e Biocombustíveis participam com 9,7% cada um no total da amostra. Os 32% restantes incluem Alimentos Processados (6,45%), Saúde (6,44%), Comércio Não Cíclico (3,2%), Água e Saneamento (3,2%), Construção Civil (3,2%), Manufatura (3,2%), Mineração (3,2%) e Química e Petroquímica (3,2%).

3.2 Variáveis utilizadas

Nesse estudo são analisados os dados de emissões de GEE em toneladas (*Carb*), receita líquida operacional (*Receita*), *Atot* (Ativo Total), remuneração total de executivos (*Remtot*), a pontuação ESG de cada empresa e o passivo oneroso de longo prazo das empresas. A variável *ESG* foi incluída como *proxy* para o instrumento Comunicação e Responsabilidade Ambiental e a variável *Invteclp* como *proxy* para o instrumento de mercado relacionado ao potencial de investimento em novas tecnologias. Ambos foram discutidos no referencial teórico e estão especificados na Figura 1.

Proxy	Descrição		Base de dados
Carb	Emissões de GEE em toneladas – Intensidade de emissão	Variável quantitativa em toneladas de emissões/ano	GHG Protocol
Remtot	Remuneração total da diretoria estatutária da firma - Incentivos Monetários	Variável quantitativa em reais/ano	Formulários de Referência
Receita	Receita Líquida Operacional Desempenho Operacional	Variável quantitativa em milhares de reais/ano	Economática
Atot	Ativo total - Tamanho da firma	Variável quantitativa em milhares de reais/ano	Economática
ESG	Pontuação ESG - Comunicação e Responsabilidade Socioambiental	Pontuação do escore ESG/ano	Thomas Reuters
Invteclp	Empréstimos e Financiamentos de longo prazo – Potencial de Investimentos em tecnologias	Variável quantitativa em milhares de reais/ano	Economática

Figura 1: Dimensões das variáveis da pesquisa

Fonte: Dados da pesquisa.

A intensidade de poluição emitida é medida por meio da variável Carb em toneladas (Kim et al., 2015). A variável Remuneração total considera a remuneração total paga aos executivos, tendo em vista que Prates (2019) identifica que tanto os incentivos fixos como os não fixos são capazes de influenciar a redução de emissões no mercado brasileiro. A variável *Receita* representa o desempenho da empresa a partir das suas operações e que estão mais diretamente atreladas às emissões de carbono. O ativo total é uma *proxy* para o tamanho das empresas (Jung et al., 2014), e os investimentos em novas tecnologias foram mensurados por meio da *proxy* de passivo oneroso de longo prazo.

A variável ESG é uma *proxy* utilizada para medir a comunicação entre a empresa e a comunidade, considerando a responsabilidade socioambiental das entidades. Essa variável apresenta a pontuação de cada empresa para as metas ESG, sendo a pontuação máxima de 100 pontos. Para essa variável, considerou-se a média de pontuação dos dois últimos anos, quando a empresa não divulgou o *score* ESG até a data de coleta dos dados. São elas: Aes Brasil, Cesp, Cosan, Grupo Fleury, Sanepar, Whirlpool.

Como as variáveis são mensuradas em diferentes unidades de medida que podem influenciar a formação do cluster, utilizou-se o procedimento de padronização das variáveis pelo método Zscore (com média zero e desvio padrão = 1).

3.3 Análise de Clusters

Para atender ao objetivo da pesquisa, optou-se pelo uso da análise multivariada de *clusters*. A expectativa é que a partir da segregação das empresas em grupos, seja possível identificar similaridade entre os indivíduos do mesmo grupo e dissimilaridade entre os grupos.

A análise de *cluster* é uma técnica estatística usada para classificar elementos em grupos, de forma que elementos dentro de um mesmo *cluster* sejam muito parecidos, e os elementos em diferentes *clusters* sejam distintos entre si (Mingoti, 2007). Para definir a semelhança ou a diferença entre os elementos é usada uma função de distância (que neste caso é a Euclidiana quadrática). Essa metodologia objetiva a formação de grupos relativamente homogêneos (*clusters*) de determinada variável. Adotou-se, neste estudo, o método de Ward (1963), que fornece o agrupamento dos dados com a menor variância possível entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo.

Assim, o método permite identificar similaridades entre as empresas que divulgam publicamente inventários de emissões de GEE em relação a características de desempenho econômico e financeiro, desempenho socioambiental e de governança. Após o agrupamento das

empresas, foram aplicados testes de variância ANOVA para garantir a robustez da análise da existência (ou não) de igualdade de variância entre os grupos formados. A expectativa é que a hipótese nula de igualdade seja rejeitada, indicando a dissimilaridade entre os *clusters* formados. Para o processo de agrupamento e definição do número de *clusters*, foram aplicados os testes de Callinski e Duda-Hart, apresentados no próximo tópico.

4 RESULTADOS

4.1 Definição do número de *clusters* a serem utilizados

Foram aplicados dois testes para a definição do número de *clusters* para as análises, o teste Calinski e Harabasz (1974) e o de Duda-Hart (2001). O primeiro pode ser usado em análises de nível hierárquico e não hierárquico e fornece o pseudo F, que indica que quanto maior o valor, mais distinto é o *cluster*. Portanto, quanto maior, melhor. Nesse caso, o teste indicou o agrupamento dos dados em dois *clusters* (pseudo-F 144,84).

O teste de Duda-Hart (2001) pode ser usado em análises de nível hierárquico e fornece o pseudo T, que indica que quanto menor o valor, mais distinto é o *cluster*. Portanto, quanto menor, melhor. O teste de Duda Hart indicou o uso de quatro *clusters* nas análises (pseudo-T squared 63,69). A Petrobrás, contudo, aparece sozinha em um agrupamento, o que revela que o uso de dois *clusters* seria insuficiente para atender ao objetivo desse estudo. Optou-se, portanto, por utilizar quatro grupos. Na Tabela 2, evidencia-se o número de *clusters* formados, a frequência de observações/ano em cada um, e o percentual de explicação da variância individual e acumulado.

Tabela 2

Clusters formados a partir dos inventários de emissões de GEE divulgados

Cluster	Freq.	Percent	Cum.	Empresas
1	110	53,14	53,14	Aes, BRF, CCR, Cemig, CPFL, EDP energias, Ecorodovias, Eletrobrás, Fleury, Klabin, Lojas Renner, MRV, Natura, Sanepar, Tim, Whirlpool e Gol.
2	64	30,92	84,06	Braskem, Cesp, Fibria, Hypera, Oi, Suzano e Lojas Americanas, Cosan
3	30	14,49	98,55	JBS, Ultrapar, Vale, Telefônica e CBD
4	3	1,45	100,0	Petrobrás
Total	207	100		

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota-se que o *cluster* 1 é o maior em relação aos demais e conta com 110 observações. O segundo conta com 64 observações, o terceiro com 30 e o quarto com apenas três. Como a análise considerou um período de oito anos, é possível que as observações se reagrupem ao longo dos anos, em diferentes *clusters* de acordo com as características inerentes em cada variável mediante o desempenho das empresas em cada ano.

Foi realizada, também, uma análise gráfica por meio do dendrograma, sendo possível visualizar o processo de clusterização passo a passo, assim como os níveis de distância dos *clusters* formados. Novamente, observou-se que a Petrobrás apresenta características muito distintas das demais empresas analisadas e que o uso de dois *clusters* não atenderia o objetivo deste estudo, pois as demais entidades seriam consideradas em um único *cluster*. Com o intuito de maior aprofundamento da base de dados, partiu-se para a análise das observações por *cluster* em cada ano. Na Tabela 3, detalha-se a classificação das observações em cada ano analisado.

Tabela 3

Observações por Cluster e ano

Cluster	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
1	12	12	18	16	17	18	6	11	110

2	13	14	6	9	7	8	3	4	64
3	3	3	5	5	6	3	1	4	30
4	0	0	0	0	1	1	0	1	3
Total	28	29	29	30	31	30	10	20	207

Fonte: Dados da pesquisa

É possível verificar que, com exceção do *Cluster 4* (Petrobrás), os demais sofreram modificações ao longo do tempo. O *Cluster 1* agrega inicialmente 12 observações em 2012 e conclui 2019 com 11. Em 2012, o *Cluster 2* agrega 13 observações e dentre os demais, é o que mais sofre modificações ao longo do tempo, chegando a 2019 com quatro observações apenas. O terceiro *cluster* manteve certo padrão de observações ao longo do tempo, com um média de 3,7 observações. Por fim, o *Cluster 4*, formado apenas pela Petrobrás, obteve observações apenas em 2016, 2017 e 2019, muito distintas dos demais. Esse resultado sugere que as empresas estão bem classificadas nos grupos. Porém, para maior compreensão da classificação das entidades em cada *cluster*, considerou-se a maior frequência de classificação das observações por ano. Na Tabela 4, evidencia-se essa frequência, por empresa.

Tabela 4
Classificação da amostra por frequência

Empresa	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Total
AES_BRASIL	6	0	0	0	6
BRASKEM	0	7	1	0	8
BRF_SA	6	0	2	0	8
CCR_SA	7	0	0	0	7
CEMIG	6	0	0	0	6
CESP	0	6	0	0	6
CPFL ENERGIA S.A.	7	0	0	0	7
CIA BRAS.DISTRIBUICAO	0	0	6	0	6
COSAN	3	5	0	0	8
EDP ENERGIAS DO BRASIL	6	0	0	0	6
ECORODOVIAS	7	0	0	0	7
ELETOBRAS	7	0	0	0	7
FIBRIA	0	6	0	0	6
GRUPO_FLEURY	5	2	0	0	7
HYPERA	0	5	0	0	5
JBS	0	2	6	0	8
KLABIN SA	4	2	0	0	6
LOJAS_AMERIC	0	7	0	0	7
LOJAS_RENNER	6	2	0	0	8
MRV	7	0	0	0	7
NATURA	5	2	0	0	7
OI	0	4	3	0	7
PETROBRAS	0	0	0	3	3
SUZANO PAPEL	1	7	0	0	8
SANEPAR	8	0	0	0	8
TELEF_BRASIL	2	2	2	0	6
TIM_PARTICIPACOES S.A	6	1	0	0	7

ULTRAPAR	0	1	5	0	6
VALE	0	0	5	0	5
VRG LINHAS AREAS	5	3	0	0	8
WHIRLPOOL	6	0	0	0	6
Total	110	64	30	3	207

Fonte: Dados da pesquisa

A classificação das empresas pela frequência de cada observação mostra que o *Cluster 1*, além de ser o maior com um total de 16 empresas, é também o de maior diversificação setorial. O *Cluster 2* abrange sete empresas, maiormente associadas aos setores da indústria química e de celulose (Braskem, Cesp, Fibria, Hypera, Lojas Americanas, Oi, Cosan e Suzano Papel). O *Cluster 3* é formado pela JBS, Ultrapar, Vale, Telefônica e Cia Brasileira de Distribuição.

Por fim, o *Cluster 4* é formado por apenas uma empresa, a Petrobrás, que apenas com três observações ao longo de oito anos, possui alto grau de dissimilaridade em relação às demais, a ponto de compor um único cluster. Para identificar o grau de dissimilaridade na classificação entre as empresas por *cluster*, parte-se a analisar os grupos por meio da estatística descritiva.

4.2 Estatística descritiva por *cluster*

Na Tabela 5, é possível identificar diferenças nas estatísticas descritivas entre os quatro grupos formados. Por meio da estatística descritiva, observa-se que o primeiro *cluster* contém a maior diversidade de empresas por setores. A comparação entre as médias das variáveis deste *cluster* com os demais sinaliza que ele compreende as menores empresas da amostra, com menor receita operacional líquida e que menos emitem GEE (em média 1,6 milhões de toneladas de GEE) e, nesse sentido, não é de se surpreender que também apresentem os menores investimentos potenciais em tecnologia, quando comparadas às demais entidades (5,6 milhões de reais).

Tabela 5

Estatística descritiva das variáveis quantitativas por cluster

<i>Painel 1: Cluster 1</i>							
Estatística	Obs	atot	Remtot	Carb	invteclp	esgscore	receita
média	110	29,1	3,4	1,651,937	5,6	66.8	12,6
desvio p	110	38,0	2,2	2,524,055	9,6	8.2	10,9
min	110	3,0	0,7	5,085	-	49.2	1,6
mediana	110	15,1	2,9	645,229	1,3	66.4	9,1
max	110	177,0	9,7	12,800,000	45,2	86.0	60,7
<i>Painel 1: Cluster 2</i>							
Estatística	Obs	atot	Remtot	Carb	invteclp	esgscore	receita
média	64	31,5	4,9	3,937,187	9,1	34.0	18,3
desvio p	64	24,2	2,6	8,630,450	11,7	17.4	20,1
min	64	2,7	0,549	4,806	-	0.0	1,5
mediana	64	27,8	4,9	631,073	4,7	38.9	10,1
max	64	103,0	12,5	40,800,000	52,0	58.1	92,9
<i>Painel 1: Cluster 3</i>							
Estatística	Obs	atot	Remtot	Carb	invteclp	esgscore	receita
média	30	104,0	10,6	44,100,000	24,9	62.6	80,0

desvio p	30	98,7	5,1	97,700,000	29,7	13.4	50,6
min	30	15,3	2,6	162,279	-	35.9	20,1
mediana	30	70,3	9,4	616,081	7,8	62.4	66,6
max	30	346,0	24,2	312,000,000	103,0	84.9	205,0

Painel 1: Cluster 4

Estatística	Obs	atot	Remtot	Carb	invteclp	esgscore	receita
média	3	854,0	2,9	355,000,000	309,0	78.7	290,0
desvio p	3	63,6	0,49	307,000,000	63,1	1.6	11,0
min	3	805,0	2,5	297,872	237,0	76.9	283,0
mediana	3	832,0	2,9	523,000,000	338,0	79.3	284,0
max	3	926,0	3,4	541,000,000	353,0	80.0	302,0

Nota. As variáveis estão definidas na Figura 2. Os dados da variável Carb estão em toneladas de emissão de GEE. Os dados de ativo total, remuneração total, invteclp e receitas estão em milhões de reais. A variável esgscore apresenta os pontos alcançados por cluster.

Fonte: Dados da pesquisa

Optou-se por apresentar a análise a partir do *Cluster 4*, considerando que ele é formado apenas pela Petrobrás e possui características muito distintas das demais empresas e *clusters*. Esse *cluster* possui a maior média de tamanho, sendo, portanto, a empresa de maior porte da amostra conforme mostra a Figura 2.

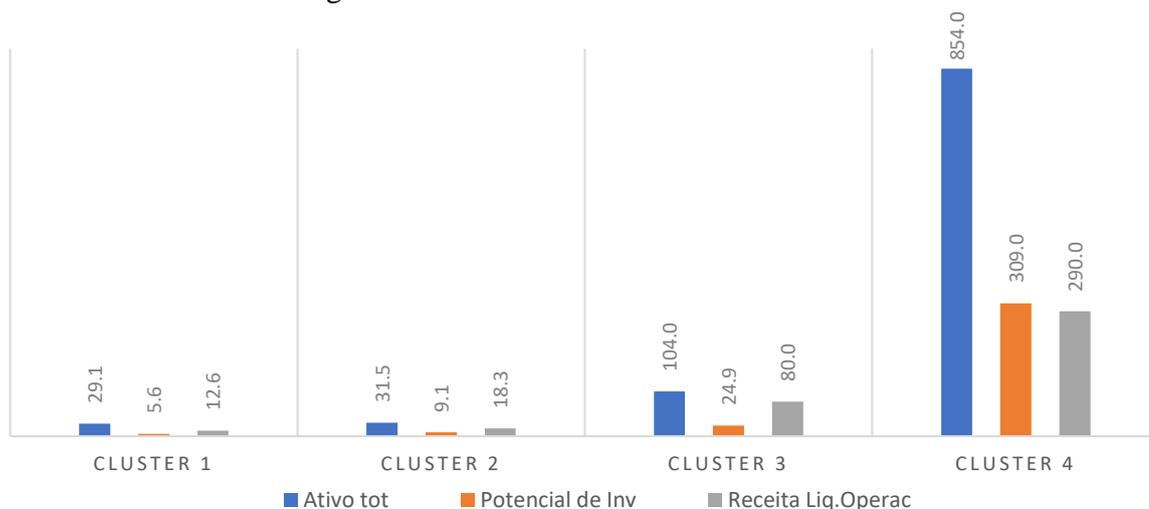


Figura 2. Média de Ativo total, potencial de investimento em tecnologias e Receita líquida operacional por *cluster* em milhões de reais

Fonte: Dados da pesquisa

Da mesma forma, a Petrobrás detém a maior receita líquida operacional (290 milhões de reais); assim como seus financiamentos, mensurados pelo passivo oneroso de longo prazo, é o maior, em média, com 309 milhões de reais, o que pode indicar o interesse da empresa em desenvolver novas tecnologias. Na Figura 3, evidencia-se a média de emissões de cada um dos grupos, com destaque para o *Cluster 4* (Petrobras), com média nos três anos observados de 355 milhões de toneladas, muito acima dos demais.

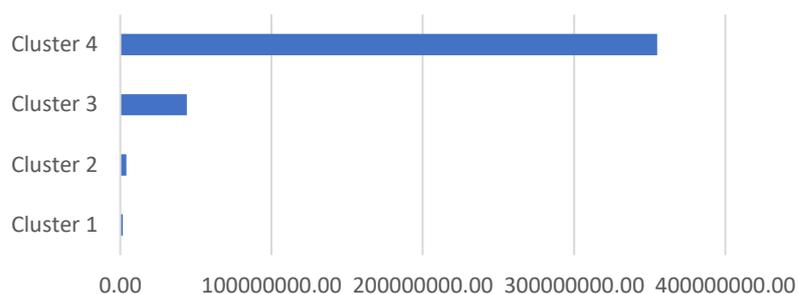


Figura 3. Média de emissões de GEE em toneladas/ano por cluster

Fonte: Dados da pesquisa

A comunicação e responsabilidade socioambiental medida pelo ESG *score* é reportado na Figura 4. A Petrobrás, novamente, apresenta a maior média, com 79 pontos e o *Cluster 2*, o menor, com 34 pontos.

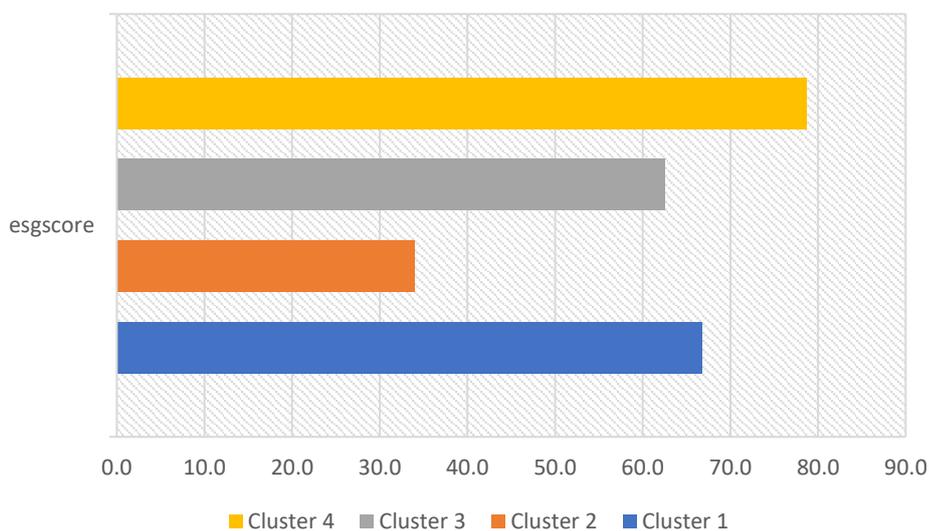


Figura 4. Pontuação média ESG por cluster

Fonte: Dados da pesquisa

Por outro lado, o *Cluster 4* apresenta a menor média de incentivos monetários aos executivos, em contraposição ao *Cluster 3*, com a maior média de incentivos (10,6 milhões de reais). Esse *cluster* é composto por empresas de grande porte, como: JBS, CBD, Vale e Ultrapar. Na Figura 5, detalha-se a média da remuneração da diretoria estatutária por ano.

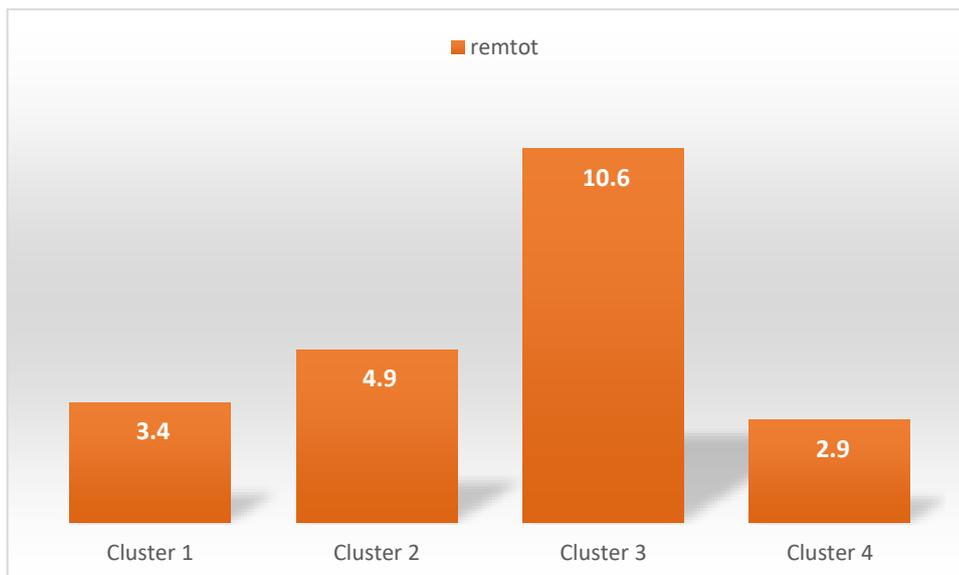


Figura 5. Remuneração média da diretoria estatutária por cluster (em milhões de reais)
Fonte: Dados da pesquisa

Em se tratando das emissões de GEE, o *Cluster 3* também se sobressai em relação aos *Clusters 1* e *2*, com média de 44,1 milhões de toneladas de emissões. As empresas que compõem esse agrupamento são bem maiores em relação aos dois primeiros *clusters*, apresentando uma média de ativos em torno de 104 milhões de reais, receita operacional líquida média de 80 milhões de reais e investimentos em torno de 24,9 milhões em média. No quesito comunicação e comprometimento socioambiental, o *Cluster 3* apresentou média de pontuação ESG em torno de 62,6 pontos e máxima de 85 pontos.

O *Cluster 2* é composto, dentre outras companhias, pela Braskem, Cesp, Fibria, Hypera, Oi, Suzano, Cosan e Lojas Americanas, empresas, majoritariamente, da indústria química e de celulose. Esse *cluster* apresentou, contudo, a menor média de pontuação ESG (33,98 pontos) entre os demais *clusters*, o que sinaliza menor preocupação ou uso desse mecanismo de comunicação e responsabilidade socioambiental.

E, por fim, o *Cluster 1* agrega, em geral, as menores empresas da amostra, com menor receita líquida operacional, menores emissões relativamente às demais empresas e menores investimentos de longo prazo. É composta pelas principais empresas de energia e apresentou a segunda maior pontuação ESG com uma média de 66,8 pontos, alcançando uma pontuação máxima de 86 pontos. Isso pode refletir uma maior preocupação dessas empresas com a comunicação com suas partes interessadas, bem como com imagem e reputação.

Considerando os instrumentos de política ambiental (comando e controle, instrumentos de mercado e de comunicação), pode-se identificar que a regulação tradicional pode exercer efeitos diferentes entre os *clusters*. Ao se considerar as emissões de GEE, o potencial de investimento em novas tecnologias, incentivos monetários aos gestores, além das demais variáveis incluídas na análise, verifica-se que as empresas mais poluentes são aquelas que mais se preocupam em internalizar os efeitos ou externalidades negativas ao divulgar o controle e a gestão de suas emissões, além de se engajarem em divulgações de cunho ESG (Marcovitch, 2014).

Os argumentos de Magalhães (2013) favorecem a ideia de que tais empresas são motivadas, primordialmente, por instrumentos de mercado ou econômicos em que elas voluntariamente escolham reduzir as emissões de GEE, já que os custos de o fazer são mínimos e permitem o alcance de determinado grau de controle da poluição a um custo menor do que a aplicação de uma regulamentação. Além disso, outro argumento que parece se encaixar na realidade das empresas analisadas é o fato de que os instrumentos de mercado proporcionam

um incentivo contínuo para o desenvolvimento de produtos, tecnologias e processos menos poluentes, em contraposição a políticas regulatórias que tendem a ser menos eficazes por incentivar apenas o cumprimento mínimo exigido. Nesse sentido, as motivações para redução de emissões entre os *clusters* investigados parecem ser bem diferentes de acordo como as características particulares de cada grupo e não se limitam a uma regulação comum. Outros fatores como pressões sociais e de mercado podem estar favorecendo motivações mais eficazes no engajamento socioambiental das empresas analisadas.

Para garantir a robustez dos resultados alcançados na análise de *clusters*, realizou-se a análise de variância de um fator (ANOVA). O intuito foi validar se os valores atribuídos a cada *cluster* são estatisticamente distintos entre si. A hipótese nula do teste é de existência de igualdade de variâncias. Os resultados culminaram na rejeição da hipótese nula para todas as variáveis analisadas (valor $p = 0,000$), o que implica a confirmação de variância distinta entre os *clusters* analisados e a dissimilaridade entre eles, conferindo robustez aos resultados encontrados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características de cada firma e setor são aspectos relevantes para toda e qualquer aplicação de instrumentos de políticas ambientais eficazes. Com o intuito de fornecer maior compreensão sobre as características de firmas engajadas ambientalmente, este artigo buscou explorar os dados de empresas brasileiras listadas na B3 que realizam o *disclosure* (evidenciação) de inventários de emissões de GEE, por meio do método multivariado de análise de cluster.

A segmentação das firmas em quatro clusters considerou características relacionadas à intensidade de emissão de GEE, ao tamanho da empresa, à receita operacional líquida, ao potencial de investimentos em novas tecnologias e, por fim, à comunicação e responsabilidade socioambiental via pontuação ESG. As empresas foram agrupadas por similaridade entre os indivíduos, e assim foi possível analisar aspectos que podem contribuir para maior compreensão de possíveis mecanismos a serem explorados como o intuito de reduzir as emissões de GEE.

Os resultados obtidos por meio da análise de *clusters* mostram que empresas como a Petrobrás (*Cluster 4*) e do *Cluster 3* (JBS, Vale, Ultrapar e CBD), além de emitirem mais GEE, são empresas de maior porte, com maior receita, mais preocupadas com a comunicação e responsabilidade socioambiental, além de incentivarem seus executivos por meio de maiores remunerações. Por apresentarem características tão distintas das demais, tais empresas ou setores poderiam eventualmente ser movidas por incentivos diferentes da regulação tradicional.

Em outras palavras, os resultados podem significar que a regulação não tenha um impacto tão importante nas decisões de implementação de sistemas de gestão ambiental, selos, padronizações e até vanguarda tecnológica, em função de que essas grandes empresas já incorporaram programas ambientais avançados dentro de suas estratégias de longo prazo que se antecipam à regulação. Adicionalmente, em certos casos essas iniciativas podem mover a regulação para um patamar mais elevado para o restante das firmas, que muitas vezes se movem juntamente com o marco regulatório. Nesse sentido, o estudo fornece evidências principalmente a reguladores e pesquisadores da área de que outros fatores como estratégias de competitividade e reputação, por exemplo, podem estar exercendo influência relevante para que grandes empresas se antecipem às regulações relativas à redução de emissões de GEE (Lustosa, 2003; Costa, 2005).

As principais limitações deste estudo estão relacionadas ao tamanho da amostra em consequência da pouca disponibilidade de empresas que fazem inventários de emissão de GEE. De forma complementar a estes resultados, pesquisas futuras podem explorar variáveis qualitativas na formação dos *clusters*, a despeito da metodologia que minimiza a variância preferida nesse estudo para a abordagem exploratória dos dados quantitativos.

REFERÊNCIAS

- Alvarez, I. G. (2012), Impact of CO2 emission variation on firm performance, *Business Strategy and the Environment*, 21(7), 435-454.
- Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1971). The use of standards and prices for protection of the environment. In *The economics of environment* (pp. 53-65). Palgrave Macmillan, London.
- B3 (2021), Brasil, Bolsa Balcão, Disponível em <http://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/negociacao/renda-variavel/acoes/consultas/classificacao-setorial/>, Acesso em 13 jul, 2021.
- Calinski, T., & Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics-theory and Methods*, 3(1), 1-27.
- Costa, S. S. T. (2005), Introdução à economia do meio ambiente, *Análise–Revista de Administração da PUCRS*, 16(2).
- Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2001). Pattern Classification. A Wiley-Interscience Publication. ed: *John Wiley & Sons, Inc.*
- Eccles, R. G., Ioannou, I., Li, S. X., & Serafeim, G. (2012). Pay for environmental performance: The effect of incentive provision on carbon emissions. *Harvard Business School working paper# 13-043*.
- FGV. Fundação Getulio Vargas (2021) - GHG Protocol Brasil - Registro Público de Emissões. Available at <http://www.registropublicodeemissoes.com.br/>
- Freire, R. D. S. (2014), Ensaios sobre derivativos de permissões para emissões de carbono (EUA), Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Gneezy, U., & Rustichini, A. (2000). A fine is a price. *The journal of legal studies*, 29(1), 1-17.
- Hopwood, A., & Unerman, J. (Eds.). (2010). *Accounting for sustainability: Practical insights*. Earthscan.
- Jung, J., Herbohn, K., & Clarkson, P. (2014). The impact of a firm's carbon risk profile on the cost of debt capital: Evidence from Australian firms. *University of Queensland*.
- Kemp, R., Smith, K., & Becher, G. (2000). How should we study the relationship between environmental regulation and innovation?. In *Innovation-oriented environmental regulation* (pp. 43-66). Physica, Heidelberg.
- Kim, Y. B., An, H. T., & Kim, J. D. (2015). The effect of carbon risk on the cost of equity capital. *Journal of Cleaner Production*, 93, 279-287.
- Lustosa, M. C. J. (2003) Industrialização, Meio Ambiente, Inovação e Competitividade. In: May, P. H. Lustosa, M. C. e Vinha, V. (orgs.) *Economia do Meio Ambiente*. Campus.
- Magalhaes, A. S. & Domingues, E. P. (2013), Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas, custos de redução de emissões de gases de efeito estufa e impactos sobre as famílias, *Encontro Nacional de Economia*, XLI.
- Marcovitch, J. As empresas e a legislação verde no Brasil, *A Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e a Legislação Brasileira*, 2.
- Matsumura, E. M., Prakash, R. & Vera-Munoz, S. C. (2014), Firm-value effects of carbon emissions and carbon disclosures, *The accounting review*, 89(2), 695-724.

- Meadows, D.H.; Meadows D.L.; Randers, J. Behrens III W. *The Limits to Growth*, Universe Books. New York, 1972.
- Mingoti, S. A. (2007). Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada. In *Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada* (pp. 295-295).
- Ohlendorf, N., Jakob, M., Minx, J. C., Schröder, C., & Steckel, J. C. (2021). Distributional impacts of carbon pricing: A meta-analysis. *Environmental and Resource Economics*, 78(1), 1-42.
- Porter, M. & Linde, C. (1995a) Toward a New Conception of The Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*. Volume 9, número 4.
- Porter, M. & Linde, C. (1995b) Green and Competitive: Ending the Stalemate. *Harvard Business Review*, 73 (5) September-October, pp 120-134
- Prates, J. C. R. (2019), Desempenho de carbono e remuneração de executivos: evidências sobre o mercado brasileiro, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Disponível em <[https://repositorio,ufpe,br/handle/123456789/33892](https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/33892)>
- Prates, T. M. (2006). Sistemas Regionais de Inovação em Tecnologias Ambientais: Um Estudo de Caso do Paraná. *Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico: UFPR (Tese de Doutorado)*, 136.
- Prates, T. M. (2010). O papel da regulação ambiental nos sistemas regionais de inovação. *Revista Economia Política Do Desenvolvimento*, 3(8), 31.
- Silva Freitas, L. F., Santana Ribeiro, L. C., Souza, K. B., & Hewings, G. J. D. (2016). The distributional effects of emissions taxation in Brazil and their implications for climate policy. *Energy Economics*, 59, 37-44.
- Uderman, S, (2010), Mercado de crédito de carbono: a construção de uma agenda de intervenção pública na Bahia, *Revista Econômica do Nordeste*, 41(2), 227-248.
- Valor Econômico. “Impulsionado pela agenda ESG, mercado de créditos de carbono pode crescer 100 vezes até 2050”, Acessado 23 de agosto de 2021, <https://valor.globo.com/patrocinado/projeto-especial-esg/noticia/2021/08/10/impulsionado-pela-agenda-esg-mercado-de-creditos-de-carbono-pode-crescer-100-vezes-ate-2050.ghtml>,
- Ward Jr, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, 58(301), 236-244.