



HAL
open science

DURABILITÉ 4.0 ET TRANSPORT ROUTIER DE CARGAISON : L'ÉTAT DE L'ART DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À LA LOGISTIQUE INVERSE AU BRÉSIL

Gisele Batista

► **To cite this version:**

Gisele Batista. DURABILITÉ 4.0 ET TRANSPORT ROUTIER DE CARGAISON : L'ÉTAT DE L'ART DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À LA LOGISTIQUE INVERSE AU BRÉSIL. 2022. hal-03558550

HAL Id: hal-03558550

<https://hal.science/hal-03558550>

Preprint submitted on 4 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DURABILITÉ 4.0 ET TRANSPORT ROUTIER DE CARGAISON : L'ÉTAT DE L'ART DE L'INTELLIGENCE

ARTIFICIELLE APPLIQUÉE À LA LOGISTIQUE INVERSE AU BRÉSIL.

BATISTA, Gisele Victor
Harpia Meio Ambiente, Florianópolis/SC - Brasil
giselevictorbatista@gmail.com

Résumé

Au Brésil, le secteur du transport routier de marchandises est le principal responsable de la manutention des marchandises sur le territoire national. Entre 2007 et 2017, l'immatriculation des véhicules de transport routier a augmenté de 78,9%, soit une augmentation par rapport à l'infrastructure routière et au volume de déchets générés. Actuellement, environ 450 000 tonnes de pneus sont jetées au Brésil et une bonne partie est inappropriée, qui pourrait être réutilisée grâce à un système automatisé de logistique inverse. Selon la loi 12.305 / 2010, la logistique inverse est un instrument qui permet la collecte et le retour des déchets solides vers le secteur des entreprises, que ce soit par réutilisation ou par une autre destination écologiquement appropriée. Dans ce contexte, cet article visait à analyser les études scientifiques et les applications numériques (App), liées à l'intelligence artificielle dans les processus de logistique inverse du secteur du transport routier de marchandises au Brésil, en vue d'identifier les technologies vertes disponibles sur le marché. Pour cela, des recherches exploratoires et descriptives ont été utilisées, dont la méthode qualitative choisie a été l'évaluation des systèmes automatisés (App), ainsi que des études scientifiques et des rapports techniques produits par les instituts de recherche du pays. Les résultats ont montré que le secteur du transport routier de marchandises et de la logistique dispose de systèmes automatisés, grâce à l'intelligence artificielle, avec optimisation des processus et analyse des données, qui rendent la gestion des stocks plus utile et plus efficace. Cependant, en matière de logistique inverse, l'intelligence artificielle est peu étudiée ou appliquée, aussi bien dans les phases post-vente que post-consommation. Les conclusions ont mis en évidence une lacune dans les opportunités commerciales et la recherche liée à l'application de l'intelligence artificielle dans la logistique inverse des résidus de transport routier de marchandises. En gérant les ressources et la chaîne d'approvisionnement, les entreprises pourraient réduire leurs coûts, encourager le recyclage et la réutilisation des matières premières afin de réduire la pression sur les ressources naturelles.

Mots-clés: innovation; logistique inverse, durabilité 4.0, transport routier de marchandises.

Abstract

In Brazil, the road cargo transportation sector is the main responsible for cargo handling in the national territory. Between 2007 and 2017, the licensing of road cargo vehicles increased by 78.9%, showing an increase over the road infrastructure and the volume of waste generated. Currently, around 450 thousand tons of tires are discarded in Brazil and a good part is inappropriately, which could be reused through an automated reverse logistics system. According to Law 12.305 / 2010, reverse logistics is an instrument that enables the collection and return of solid waste to the business sector, whether through reuse or another environmentally appropriate destination. In this context, this article aimed to analyze scientific studies and digital applications (App), related to artificial intelligence in the reverse logistics processes of the road freight transport sector in Brazil, with a view to the identification of green technologies available on the market. For this, exploratory and descriptive research was used, whose qualitative method chosen was the evaluation of automated systems (App), as well as scientific studies and technical reports produced by research institutions in the country. The results showed that the road freight transport and logistics sector has automated systems, through artificial intelligence, with process optimization and data analysis, which make inventory management more useful and efficient. However, when it comes to reverse logistics, artificial intelligence is little studied or applied, both in the post-sale and post-consumer phases. The conclusions pointed to a gap in business opportunities and research related to the application of artificial intelligence in the reverse logistics of road cargo transportation waste. By managing resources and the supply chain, companies could reduce their costs, encourage recycling and reuse raw materials as a way to reduce pressure on natural resources.

Keywords: innovation; reverse logistics, sustainability 4.0, road freight transport.

1. Introduction

La gestion des déchets solides s'est avérée extrêmement importante, car les défis et les impacts négatifs du modèle économique actuel sont immenses, cumulatifs et croissants parallèlement à l'économie mondiale, en particulier après la pandémie de COVID-19. Selon Mckinsey (2019), pour une meilleure gestion des déchets solides, de nouvelles technologies sont nécessaires qui incluent des processus plus larges et plus agiles, qui auront tendance à être exécutés par l'intelligence artificielle (IA).

L'IA est un sous-ensemble de technologies qui facilitent l'ère de la « quatrième révolution numérique, qui, selon Schwab (2016), est une période encore peu connue dans l'histoire de l'humanité, mais qui va profondément changer sa façon de vivre, de travailler. et mettre en relation - en termes d'échelle, de portée et de complexité, il sera davantage caractérisé comme un changement de paradigme et pas seulement comme une étape de développement technologique. La quatrième révolution industrielle (4RI), un environnement qui créera des technologies émergentes et des innovations de rupture qui se répandront très rapidement dans le monde, aura trois caractéristiques principales qui différencieront ce nouveau moment de l'histoire de la société.

Selon Schwab (2016), le premier sera la vitesse des choses qui évolueront à un rythme exponentiel et non linéaire, résultat d'un monde multiforme et profondément interconnecté, avec de nouvelles technologies générant d'autres nouvelles technologies, de plus en plus qualifiées et intelligentes. Le second sera l'ampleur et la profondeur des choses, car il combinera diverses technologies, conduisant à des changements de paradigme sans précédent dans l'économie, les entreprises, la société et les individus. Et en fin de compte, il s'agira d'un impact systémique, car 4RI impliquera la transformation de systèmes entiers dans et au sein des pays, ainsi qu'à travers la société.

Les technologies qui prennent en charge 4RI auront un impact important sur les relations entre les gouvernements, les industries, les entreprises et les consommateurs, en plus de changer les attentes en matière de produits intelligents, qui impliquent des chaînes plus collaboratives, humanisées et durables. Pour cette raison, la création de modèles de gestion de produits et de processus nécessitera des perturbations qui répondent à la demande de la société, obligeant les gouvernements et les entreprises à remettre en question les hypothèses traditionnelles et à trouver de nouvelles façons de

faire les choses, dans un processus d'innovation continue. C'est à ce stade que la durabilité devient un facteur clé et les organisations doivent rechercher une stratégie axée sur l'innovation comme outil pour repenser les valeurs et obtenir des résultats, en ayant comme ligne directrice le Triple Bottom Line (dimensions environnementales, sociales et économiques de la durabilité) (ELKINGTON, 1997).

Cette nouvelle révolution technologique, dont les piliers sont de rendre les machines plus efficaces et les processus plus allégés, en raccourcissant le temps et les ressources nécessaires pour produire avec qualité, aura de multiples influences sur la société, l'économie, les affaires, la géopolitique, la sécurité internationale, etc., avec les robots exécutant des fonctions de plus en plus complexes et interactives. Dans cet environnement de connectivité numérique, rendu possible par les technologies logicielles, il y aura un profond changement dans la société, dont l'échelle d'impact et la vitesse de transformation seront différentes des autres révolutions industrielles déjà vécues dans l'histoire humaine (SCHWAB, 2016).

En effet, les changements qui ont été favorisés par l'introduction de nouvelles technologies, dans d'autres révolutions industrielles, se sont produits progressivement et avec une croissance linéaire, permettant aux innovations d'être absorbées et traitées au niveau de la compréhension humaine. Cependant, dans la quatrième révolution industrielle, intensifiée à partir des années 2010, l'intelligence artificielle (IA) et l'Internet des objets (IoT) favorisent (et continueront de promouvoir) des changements à une échelle exponentielle, améliorant l'automatisation, améliorant l'hyperconnectivité et l'interopérabilité industrielle, systèmes commerciaux et sociaux. Les technologies les plus sophistiquées transformeront la société et l'économie, permettant de réduire la demande d'intrants, d'améliorer les processus et de réutiliser les matériaux et les déchets solides de certains secteurs.

Complétant cette idée, Mckinsey (2019) informe que l'intelligence artificielle peut contribuer à développer et à améliorer l'infrastructure de logistique inverse nécessaire pour fermer le cycle de vie des produits et des matériaux, grâce à l'automatisation et à l'amélioration des processus de classification et de démontage des produits, en vue de la remise à neuf composants et matériaux de recyclage. L'intelligence artificielle peut être appliquée à la tâche complexe de reconcevoir des systèmes et des réseaux entiers, comme la reconnexion des chaînes d'approvisionnement et l'optimisation de l'infrastructure mondiale de logistique inverse, dans n'importe quel secteur.

Compte tenu de ce qui précède, cet article visait à analyser des études scientifiques et l'apparition de systèmes automatisés (App), disponibles sur le marché brésilien, qui étaient liés à l'application de l'intelligence artificielle dans les processus de logistique inverse dans le secteur du transport routier de marchandises au Brésil, avec en vue d'identifier les technologies vertes qui favoriseraient la durabilité 4.0. Le choix du transport routier de marchandises et de la logistique pour cette étude de cas est dû au fait que le secteur détient une part de 61 % du transport de marchandises au Brésil, ce qui entraîne une génération de déchets par les pneus de l'ordre de 450 mille tonnes/an (SEST/SENAT) dont une grande partie est mal éliminée, qui pourrait servir de système de recyclage, en plus d'être, parmi les différents modes de transport de marchandises, le plus adapté à la logistique inverse.

En effet, la logistique inverse est devenue un outil important de gestion environnementale pour les entreprises, car elle est liée à la fois à des enjeux juridiques, environnementaux et économiques. L'utilisation de la technologie est cruciale pour réaliser cette vision à grande échelle et, selon (LOCK et all, 2017), en particulier dans les activités logistiques de collecte, de transport et de gestion, elle implique des décisions qui affectent l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement inverse, que ce soit en quantité et la qualité des produits, la disponibilité, les coûts et les impacts environnementaux.

Pour cette raison, enquêter sur l'existence d'un système automatisé qui permettrait l'automatisation efficace de la collecte, du transport et de la destination écologiquement correcte des pneus usagés du système de transport routier au Brésil permettrait de réaliser la vision de l'économie circulaire dans le secteur. Mckinsey (2019) souligne que les actifs intelligents et connectés peuvent permettre une maintenance prédictive pour prolonger la durée de vie des actifs ; la blockchain peut créer une traçabilité et une transparence dans les chaînes d'approvisionnement pour réduire les déchets ; et la réparation est facilitée par l'impression 3D de pièces détachées. L'intelligence artificielle en tant que technologie émergente de la « quatrième révolution industrielle », selon la même source, peut soutenir et accélérer le rythme de l'innovation humaine pour concevoir des produits, rassembler les aspects réussis des modèles commerciaux circulaires et optimiser l'infrastructure nécessaire à la fabrication de produits. des produits.

2. Matériels et Méthodes

Cet article a adopté la méthodologie exploratoire et descriptive, dont la méthode qualitative choisie était d'identifier l'occurrence de systèmes automatisés (App), disponibles sur le marché brésilien, ainsi que d'analyser des études universitaires et des rapports techniques produits par des instituts de recherche scientifique au Brésil, se référant au thème « l'intelligence artificielle appliquée à la logistique inverse du transport routier de marchandises », afin d'évaluer et de réfléchir sur la problématique du pays. C'est à travers une recherche qualitative que ce travail a évalué les caractéristiques méthodologiques et de contenu des articles académiques, des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat, produits par les institutions nationales de recherche scientifique et académique.

Selon Gil (2002), la recherche exploratoire cherche à développer, clarifier et modifier des concepts et des idées pour la formulation de nouvelles approches à un moment ultérieur et, selon Andrade (2009), la recherche descriptive s'occupe d'observer, d'enregistrer, d'analyser, de classer et interpréter les faits, sans intervenir. C'est à travers des recherches qualitatives, exploratoires et descriptives que cet article a analysé les caractéristiques méthodologiques et les contenus techniques et scientifiques produits au Brésil. À l'aide des mots-clés présentés dans cette étude (innovation ; logistique inverse, durabilité 4.0, transport routier de marchandises), la récupération de ces contenus s'est faite à la jonction des connaissances qui ont été produites de manière sectionnée (logistique inverse + intelligence artificielle + transport routier de charges), mais qui sont devenus pertinents pour la construction du texte et l'élucidation de la thèse de cet article, dans le contexte actuel.

Ce travail a mené une recherche dans la collection de publications sur la plate-forme numérique du gouvernement fédéral, appelée « domaine public » (<http://www.dominiopublico.gov.br>), chargée de stocker les dissertations et thèses Universités brésiliennes, institutions publiques et privées. Cette tâche, qui a été réalisée en février 2021, a utilisé les mots-clés suivants : « logistique inverse » + « transport routier de marchandises » + « intelligence artificielle ». Premièrement, des études ont été sélectionnées qui utilisaient chaque mot-clé, enregistré séparément, comme réponse. Par la suite, le croisement de mots-clés a été effectué, pour vérifier l'existence de recherches scientifiques qui se sont structurées à partir du croisement de ces connaissances :

- « logistique inverse » + « transport routier de marchandises » + « intelligence artificielle » ;

- « logistique inverse » + « intelligence artificielle » ;
- « logistique inverse » + « transport routier de marchandises » ;
- « transport routier de marchandises » + « intelligence artificielle ».

La recherche a été complétée par une étude de LOCH et al (2017), lorsqu'ils ont étudié les principaux systèmes d'exploitation des smartphones pour identifier les applications de logistique inverse. L'étude a identifié 150 applications liées au sujet, mais elles étaient centrées sur une utilisation par la population et non par les entreprises, notamment pour la logistique inverse du transport routier de marchandises.

3. Résultats et discussion

3.1 Transport routier de marchandises et logistique inverse

Le transport routier au Brésil, selon (CNT, 2018), a connu son apogée de développement entre les années 1960 et les années 1980, période au cours de laquelle l'extension du réseau routier fédéral asphalté est passée de 8 675 km à 47 487 km. Malgré la réduction de la croissance du réseau routier, ces dernières années, le transport routier a continué à être le modal prédominant dans la matrice de transport au Brésil, avec une part de 61,1% du transport de marchandises, ce qui signifie que l'économie brésilienne reste dépendante du transport routier, malgré l'utilisation d'autres modes (TEDESCO et al 2011).

Actuellement, il existe environ 1 050 000 entreprises dans le secteur du transport de marchandises, dont 230 000 coopératives et 820 000 transporteurs autonomes. Entre 2007 et 2017, il y a eu une augmentation de 78,9 % des autorisations de véhicules de transport routier de marchandises (camions, camions tracteurs, remorques et semi-remorques) (CNT, 2018), ce qui dénote une augmentation de la demande de services de transport routier et une augmentation conséquente des infrastructures routières et du volume de déchets générés.

Selon l'Association nationale de l'industrie du pneu (ANIP), en 2016, environ 17,5 millions de pneus ont été produits, un nombre expressif et qui, malgré tout, était inférieur de 1,1 % à la quantité produite en 2015. Ces données montrent l'ampleur du problème auquel le pays est confronté en ce qui concerne l'élimination des pneus usagés. Le SEST/SENAT ajoute qu'environ 450 000 tonnes de pneus

sont jetés au Brésil, des résidus qui pourraient être réutilisés intelligemment, grâce à un système automatisé de suivi des matériaux de logistique inverse.

A ce sujet, selon la loi fédérale n° 12.305/2010 (Brésil, 2010) qui a institué la Politique nationale des déchets solides (PNRS), la logistique inverse est un instrument qui permet la collecte et le retour des déchets solides vers le secteur des entreprises, soit par réutilisation ou autre destination respectueuse de l'environnement. Il s'agit d'un ensemble de procédures et de moyens pour collecter et transmettre « après-vente » ou « post-consommation » au secteur des entreprises, pour la réutilisation ou l'élimination correcte de certains déchets solides au Brésil.

La logistique inverse a été conçue comme une solution de gestion des déchets solides afin que la société, ainsi que les autres secteurs impliqués dans la chaîne de consommation des produits (gouvernements, entreprises, entités, citoyens, etc.) puissent éviter l'élimination inappropriée et inutile de certains déchets solides, considéré comme très polluant, mais avec le potentiel d'être réutilisé, soit dans son propre cycle, soit dans la génération d'un autre produit. Les déchets qui peuvent être réutilisés, recyclés ou réutilisés vont généralement dans des décharges, voire des décharges à ciel ouvert, qui existent encore au Brésil.

La mise en œuvre de la logistique inverse, conformément à la loi fédérale n° 12.305/2010, est obligatoire pour les fabricants, importateurs, distributeurs ou commerçants de certains produits spécifiques, dont les pneumatiques, à savoir: (i) pesticides (ses résidus et emballages), (ii) piles et batteries, (iii) pneumatiques, (iv) huiles lubrifiantes (ses résidus et emballages), (v) lampes fluorescentes (vapeur de sodium et de mercure et lumière mixte) et (vi) produits électroniques. Afin de se conformer à cette loi, des accords sectoriels doivent être signés entre les fabricants et le gouvernement pour mettre en œuvre un système de logistique inverse, en vue de la destination écologiquement appropriée de ces déchets solides et de mettre en pratique la responsabilité partagée du cycle de vie du des produits.

La logistique inverse dans le transport de marchandises est réalisée grâce à l'utilisation de biocarburants, le recyclage des pneus, l'élimination correcte ou le raffinage des huiles lubrifiantes, l'élimination des batteries automobiles, le recyclage des déchets communs tels que le papier, le plastique, le verre et le métal et, aussi, par des politiques de sensibilisation et de formation du personnel et des réglementations environnementales. Cependant, la pratique a montré de nombreux obstacles à une application efficace de ce système de management environnemental, notamment à

travers l'automatisation du stockage, de la collecte et de la destination des produits définis comme obligatoires pour la logistique inverse, notamment les pneumatiques issus du transport routier de marchandises et la logistique chez les parents..

Compte tenu de ces limites, il existe l'opinion selon laquelle l'investissement dans la logistique inverse au Brésil est coûteux et incertain, tandis que, dans certains cas, l'utilisation de matériaux de manière inappropriée sur le marché, à des prix réduits ou à un coût presque nul, qu'ils devraient avoir. Logistique inverse pour assurer une élimination et/ou une réutilisation appropriée rend une opération irréalisable, de sorte que les fabricants d'origine n'ont aucun intérêt à réutiliser. Un autre point soulevé concerne le transport et la structure adéquate pour recevoir les produits de logistique inverse, qui ne seront efficaces que si le fabricant d'origine fait réajuster son processus pour optimiser la réutilisation de ce matériel.

De plus, bien que la législation soit assez objective sur la nécessité et l'obligation de la logistique inverse, la situation brésilienne manque encore de connaissance du processus circulaire, que ce soit par une élimination correcte ou par la réutilisation et la réintroduction du produit dans cette nouvelle chaîne de production. Pour cette raison, la mise en place d'un système automatisé, interactif et intégré pour le cycle de logistique inverse des déchets du transport routier de marchandises, en particulier les pneus, permettrait une gestion environnementale intégrée, notamment en post-consommation, promue par des technologies vertes disruptives et favorisant la durabilité. 4.0 au Brésil.

3.2 Durabilité et innovation

La notion de durabilité, largement répandue dans notre société, est née dans les années 1950, suite à la perception d'une crise environnementale mondiale. Pour Nascimento (2012), le concept a pris corps et expression politique, associé au terme « développement », lorsqu'il a été constaté que les essais nucléaires provoquaient des pluies radioactives dans des régions du globe situées à des milliers de kilomètres. A partir de ce moment, la société s'est rendu compte que les problèmes environnementaux ne se limitaient pas à des territoires limités et, avec cela, la durabilité a reçu une nature scientifique, politique et médiatique..

Cependant, la question environnementale internationale a connu une étape importante dans les années 1960, lorsque la biologiste Rachel Carson a commencé la publication d'une série d'articles, qui dépeignaient l'utilisation aveugle des pesticides et ses conséquences possibles sur la santé humaine et la qualité de l'environnement. Ces articles ont ensuite été compilés et publiés dans un livre, en septembre 1962, intitulé « Silent Spring », une allusion à un printemps futur, dans lequel, si l'utilisation de pesticides n'était pas réduite, les oiseaux et les animaux sauvages disparaîtraient de l'environnement, dévasté par des poisons contre les ravageurs agricoles (CARSON, 1969).

En 1972, la question environnementale gagne en visibilité lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain, tenue à Stockholm, capitale de la Suède. La Conférence de Stockholm a réuni pays développés et pays en développement et placé l'environnement au centre des préoccupations internationales. Le résultat a été l'élaboration de la « Déclaration de Stockholm sur l'environnement humain », avec 26 principes et un plan d'action avec 109 recommandations, un ensemble de lois internationales, uniquement intentionnelles et sans application obligatoire, afin que les questions environnementales internationales puissent être mises en pratique.

Dans les décennies qui ont suivi, d'autres événements internationaux ont motivé un champ de forces qui a commencé à conditionner les positions et les mesures des gouvernements, des hommes d'affaires, des politiciens, des mouvements sociaux et des organisations multilatérales, aboutissant au terme « développement durable » modulé à travers trois dimensions (environnementale, sociale et économique), chacun formant un pilier important pour la préservation de la société et de ses activités économiques. Le terme « développement durable » a été formalisé pour la première fois en 1987 dans le document *Our Common Future* at Cmmad – World Commission on Environment and Development (WCED, 1987), étant défini comme la capacité de la société à répondre aux besoins de la génération actuelle, sans compromettre les besoins des générations futures. Selon Mebratu (1998), la contribution et la pertinence aux discussions modernes sur le concept de développement durable étaient fondamentales, car, selon Cristófalo et al (2016), le thème contient deux aspects principaux, d'une part, il y a le concept de les « besoins », en particulier les besoins essentiels des pauvres du monde, auxquels il faut accorder la priorité absolue ; et d'autre part, l'idée des limites imposées par l'état de la technologie et de l'organisation sociale et la capacité de l'environnement à répondre aux besoins présents et futurs.

Actuellement, la question de la durabilité est toujours une préoccupation, malgré le fait que des procédés industriels innovants permettent une réduction de l'utilisation des ressources naturelles, de sorte que la même unité de richesse nécessaire depuis près d'un siècle puisse être produite. Il y a une forte pression sur l'environnement, en raison de la croissance démographique, du mode de consommation et du modèle de développement économique, entraînant de graves problèmes environnementaux, en plus des inégalités économiques et sociales.

Pour que la durabilité soit définitivement mise en pratique, il est impératif, en plus d'un changement de culture et d'une prise de conscience environnementale, d'utiliser l'innovation comme un puissant outil de gestion de projet et d'entreprise. L'innovation orientée vers la durabilité (ABRAMOVAY, 2012), qu'elle soit technologique ou non, doit se concentrer sur le saut de valeur qui maintient les intérêts de la société, de la nature et de l'économie en ligne. L'innovation ne peut pas être confondue avec la créativité, car elle nécessite l'application d'une nouveauté, qu'elle soit technique, scientifique ou sans précédent, qui peut se produire au sein de la gestion, dans les processus de production ou dans l'amélioration de certains produits ou services.

Pour Pinsky et Kruglianskas (2017) l'innovation peut se présenter de différentes manières au sein d'une organisation, mais inévitablement, elle favorisera les changements et nécessitera des leaders capables de les mettre en œuvre à toutes les échelles de l'entreprise.. Pour ces auteurs, l'augmentation des parts de marché et la rentabilité des entreprises sont des facteurs clés pour l'adoption de projets innovants. Cependant, pour que le thème de la durabilité soit inclus dans ce processus, il est nécessaire de mettre en évidence les gains sociaux et environnementaux que ceux-ci peuvent générer, les rendant uniques et indispensables, du point de vue de leur viabilité.

La différenciation pour l'innovation durable tendra au développement de nouveaux produits, procédés et services, avec accès à de nouveaux marchés et efficacité dans la chaîne de valeur, réduction des coûts et des risques. Les changements technologiques orientés vers la durabilité sont motivés par plusieurs facteurs socio-économiques et institutionnels, et par la caractéristique même de l'innovation, tels que le degré de complexité de sa mise en œuvre, la compatibilité avec le système de production existant et la disponibilité du capital (DEL RIO GONZALEZ, 2009).

L'innovation en tant que moteur de la durabilité, souligne Kneipp et al., (2018), nécessite des changements dans le contexte commercial, étant liée à un modèle commercial qui envisage

stratégiquement la prospérité économique, le bien-être social et la préservation de l'environnement. Les entreprises doivent accepter le défi d'innover durablement pour le long terme, afin qu'elles puissent toujours avoir accès aux ressources naturelles. Ceci n'est pas seulement réalisé en réduisant la consommation de ces ressources dans sa production, mais en faisant en sorte que le produit continue à utiliser la plus petite quantité, voire en réduisant à zéro l'utilisation de ces ressources tout au long de son cycle de vie..

Par conséquent, l'innovation visant la durabilité est plus dynamique que l'innovation elle-même, car elle doit fournir des solutions basées sur les trois piliers du développement durable : environnemental, social et économique – Triple Bottom Line. L'innovation peut se produire au niveau incrémental, dans la création de nouveaux modèles économiques, mais au sein d'un système traditionnel, ou réinventer de nouveaux modèles considérés comme non durables par leur nature même.

Dans le monde de la 4ème révolution industrielle, il sera de plus en plus imprévisible de surmonter les difficultés et, pour cela, les entreprises doivent évaluer le coût réel de l'innovation pour la durabilité à chaque opportunité, nommer des managers avec une nouvelle mentalité de marché - leadership conscient / avec impact, tirer le meilleur parti de cette innovation, génératrice de valeurs et de résultats. Pour cela, des changements seront nécessaires dans les organisations, faisant et adaptant le rôle d'un nouveau leadership pour mener à bien des projets basés sur le développement durable, comme stratégie centrale de l'entreprise, créant un monde hyper-connecté et accéléré, mais aussi plus juste et harmonieux.

3.3 Innovation appliquée à la logistique inverse du transport routier de marchandises

Le secteur du transport de marchandises et de la logistique dispose de systèmes automatisés, grâce à l'intelligence artificielle, qui permettent d'optimiser les processus et l'analyse des données et rendent la gestion des stocks plus utile et efficace. Ces systèmes présentent plus d'efficacité dans la demande prédictive et réduisent les défaillances opérationnelles possibles, avec une optimisation logistique avec l'analyse des mégadonnées, une augmentation significative de la productivité et une amélioration de la standardisation des processus. Avec cela, il y a une réduction des dépenses et des

déchets, une amélioration des processus de stockage et de la satisfaction du client, car la robotique dans les opérations standardise les processus apporte de l'agilité dans le processus de libération et d'inspection.

Cependant, lorsqu'il s'agit de logistique inverse, bien que les entreprises du secteur du transport de marchandises et de la logistique cherchent à se conformer aux réglementations environnementales, l'intelligence artificielle est peu étudiée ou appliquée, aussi bien dans les phases post-vente que post-consommation, ce processus étant réalisé de manière segmentée et procédurale.

Afin de comprendre l'état de l'art concernant l'application de l'intelligence artificielle à la logistique dans le secteur du transport routier de marchandises au Brésil, nous avons eu recours à des recherches sur la plate-forme du domaine public, qui concentre les principales productions scientifiques (mémoires de maîtrise et de maîtrise et thèses de doctorat) des universités brésiliennes, publiques et privées. Cette activité, qui utilisait les mots-clés dans cet article, a eu le résultat suivant:

- « logistique inverse » = 9 occurrences ;
- « transport routier de marchandises » = 41 occurrences ;
- « intelligence artificielle » = 162 occurrences ;
- « transport routier de marchandises » + « logistique inverse » = 9 occurrences ;
- « transport routier de marchandises » + « intelligence artificielle » = 5 occurrences ;
- « logistique inverse » + « intelligence artificielle » = 162 occurrences ;
- "logistique inverse" + "intelligence artificielle" + "transport routier de marchandises" = 00 occurrences.

Les résultats de l'enquête ont montré qu'il existe un grand volume de recherche académique sur les thèmes « l'intelligence artificielle », suivis respectivement du « transport routier de marchandises » et de la « logistique inverse ». Cependant, lorsque les trois mots-clés étaient utilisés (« transport routier de marchandises » + « logistique inverse » + « intelligence artificielle »), le résultat n'indiquait aucune occurrence d'étude académique sur le sujet.

Pour compléter cette recherche, une analyse a été réalisée sur des sites Web spécialisés dans le secteur du transport routier de marchandises et de la logistique, afin d'identifier l'occurrence de systèmes automatisés (App), disponibles à la commercialisation sur le marché brésilien. Les résultats

obtenus ont montré que, comme cela s'est produit dans la recherche sur l'état de l'art, les applications destinées au secteur routier sont liées à l'automatisation du processus logistique et non à la gestion des déchets solides, notamment des pneus.

Pour une meilleure compréhension du sujet, un article publié par Lock et al (2018) a été utilisé, qui a identifié et classé 150 applications mobiles (principalement Android) en portugais et en anglais liées à la logistique inverse. Selon cette étude, une analyse quantitative et qualitative des applications susceptibles d'être utilisées dans la logistique inverse a été réalisée, en considérant et en testant les deux principaux magasins virtuels d'applications mobiles, le "Play Store" (système d'exploitation Android) et "App Store". (système d'exploitation iOS), en utilisant quelques mots-clés tels que : logistique, inverse, collecte, ordures, déchets et recyclage. L'application doit être un outil d'utilisation directe pour aider à la logistique inverse.

D'après ce qui a été trouvé par Lock et al (2018), la plupart des lieux indiqués sont pour le don de matériel et, par conséquent, il n'y a pas de retour financier pour l'utilisateur. Dans 95 des applications étudiées, celles-ci sont utilisées pour la gestion des produits et des stocks, dont la plupart s'adressent davantage au consommateur qu'aux producteurs, car 85 des applications totales visent à aider l'utilisateur dans la gestion du matériel.

Parmi les enquêtées, 10 applications visaient des entreprises en gestion de stocks, planification et informatisation de la gestion des déchets, gestion des décharges, traçabilité des véhicules, planification des tournées et enregistrement et contrôle des matières et collectes. Les applications étaient très axées sur l'utilisation par la population et non par les entreprises, ce qui peut être directement lié au faible nombre d'utilisateurs utilisant ce type d'outil.

4. Conclusion

Les considérations de cet article démontrent que, malgré l'importance du secteur du transport routier de marchandises et de la logistique pour le flux de distribution des produits au Brésil, étant le principal mode de fret dans le pays, il y a encore un manque d'opportunités d'affaires et de recherche, concernant le application de l'intelligence artificielle à la logistique inverse - réutilisation des biocarburants, collecte, stockage et recyclage des pneus, réutilisation des huiles lubrifiantes et

élimination des batteries automobiles, etc.. En gérant les ressources et la chaîne d'approvisionnement, les entreprises pourraient réduire leurs coûts, encourager le recyclage et la réutilisation des matières premières comme moyen de réduire la pression sur les ressources naturelles, ainsi que réajuster et créer de nouveaux processus pour la réutilisation des matériaux issus de la logistique inverse dans le pays.

Il est considéré que la mise en œuvre et le développement de modèles commerciaux axés sur la chaîne logistique inverse, pour être réussis et rentables, nécessitent une (ré)organisation des fonctions commerciales, telles que le marketing, la tarification et la vente, le service après-vente, la clientèle l'accompagnement et la logistique, sous-tendus par les principes de l'économie circulaire. Cependant, il est essentiel d'utiliser l'innovation et l'intelligence artificielle, en particulier pour la création de technologies vertes de rupture, car elles peuvent promouvoir la gestion de l'environnement, éliminer les déchets, générer de la croissance et des emplois et réduire les impacts environnementaux, tels que les émissions de carbone.

La durabilité 4.0 implique l'introduction de nouvelles propositions commerciales plus intelligentes et plus efficaces, permettant la génération de produits et de sous-produits, à leur plus haut niveau de valeur, faisant concurrencer avec succès les produits circulaires existants aux produits linéaires. Ainsi, la durabilité 4.0 serait centrée sur la valeur à générer pour les entreprises et les entreprises, en réduisant les déchets et en augmentant la productivité et la rentabilité.

5. Remerciements

Cette étude remercie l'équipe organisatrice du I CIAS - I Congrès international sur l'environnement et la durabilité, pour l'opportunité de discuter d'une question aussi pertinente pour la gestion durable des déchets solides et la logistique inverse au Brésil. Merci également au Dr Maria Eulaidia Araujo et Dr Pascale Naquin pour sa collaboration à la traduction de ce document en français.

6. Références

ABRAMOVAY, R. (2012). **Desigualdades e limites deveriam estar no centro da Rio+20**. Estudos Avançados, São Paulo, v.26, n.74, p.21-33. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100003&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

ANDRADE, Maria Margarida. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2009. Acesso em 20 de março de 2019.

BRASIL – Palácio do Planalto. **LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 16 de janeiro de 2021.

____ – CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Plano CNT de Transporte e Logística**. Brasília, DF, 2018. Disponível em <https://planotransporte.cnt.org.br/>. Acesso em 16 de janeiro de 2021.

CARSON, Rachel. **Primaveras Silenciosas**. (1969). 2ªed. Editora Melhoramentos. Disponível em: <https://biowit.files.wordpress.com/2010/11/primaverasilenciosa-rachelcarson-pt.pdf>. Acesso em 22 de agosto de 2019.

CRISTÓFALO, Renan Gazarini; AKAKI, Alexis Shinji; ABE, Tatiana Camasmie; MORANO, Rogério Scabim; e MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. (2016). **Sustentabilidade e o mercado financeiro: estudo do desempenho de empresas que compõem o índice de sustentabilidade empresarial (ISE)**. USP: REGE - Revista de Gestão 23, 286–297. Agosto de 2016.

DEL RIO GONZALEZ, P. (2009). **The empirical analysis of the determinants for environmental technological change: a research agenda**. Ecological Economics, v.68, p.861-78. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

ELKINGTON, John. (1997). **Cannibals with forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business**. pp. 1997. Oxford: Capstone Publishing. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006129603978>. Acesso em 25 de junho de 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: Acesso em 25 de fevereiro de 2019.

LOCH, Nogueira LOCH; CAMPOS, Lucila Maria de Souza; RODRIGUEZ, Carlos Manoel Taboada. **Aplicativos móveis desenvolvidos para Logística Reversa**. XIX ENGEMA, 2017. Disponível em <http://engemausp.submissao.com.br/19/anais/arquivos/211.pdf>. Acesso em 20 de janeiro de 2021.

MCKINSEY. 2019. **Inteligência artificial e economia circular: a IA como ferramenta para acelerar a transição**. Artigo. 23 de janeiro de 2019. Disponível em <https://www.mckinsey.com/business->

[functions/sustainability/our-insights/artificial-intelligence-and-the-circular-economy-ai-as-a-tool-to-accelerate-the-transition/pt-BR#](#). Acesso em Maio de 2021.

MEBRATU, D. (1998). **Sustainability and sustainable development. Historical and conceptual review.** Environmental Impact Assessment Review, 18, 493–520. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.8171&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 25 de junho de 2019

NASCIMENTO, E. P. (2012). **Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico.** 26,51–64 Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arText&pid=S0103-40142012000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em 24 de abril de 2019.

PINSKY, Vanessa I e KRUGLIANSKAS, Isak. (2017). **Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos.** Estudos Avançados: 10.1590/s0103-40142017.31900082017. Acesso em 04 de janeiro de 2021.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial.** (2016). Tradução Daniel Moreira Miranda. - São Paulo: Edipro.

SEST/SENAT - **O Serviço Social do Transporte e o Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte.** Disponível em: <https://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>. Acesso em 10 de janeiro de 2021.

TEDESCO, Giovanna Megumi Ishida; VILLELA, Thaís Maria de Andrade; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo; FORTES José Augusto Abreu Sá. **Mercado de Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil.** 2011. Disponível em http://appweb2.antt.gov.br/revistaantt/ed5/_asp/ArtigosCientificos-MercadoDeTransporte.asp#. Acesso em 22 de janeiro de 2021.

WCED. **Out common future.** (1987). London: Oxford University Press. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em 20 de Agosto de 2019.