



WESLEY RIBEIRO DE SOUZA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS
DE BLOCKCHAIN PARA A AUDITABILIDADE DE PROJETOS
DE CRÉDITO DE CARBONO.**

LAVRAS – MG

2022

WESLEY RIBEIRO DE SOUZA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BLOCKCHAIN
PARA A AUDITABILIDADE DE PROJETOS DE CRÉDITO DE CARBONO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Graduação, área de concentração em TCC, para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Prof. PhD. Hermes Pimenta de Moraes Junior

Orientador

Dr. Kalill Jose Viana Da Páscoa

Coorientador

LAVRAS – MG

2022

WESLEY RIBEIRO DE SOUZA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE BLOCKCHAIN
PARA A AUDITABILIDADE DE PROJETOS DE CRÉDITO DE CARBONO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Graduação, área de concentração em TCC, para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

>

APROVADA em 26 de maio de 2022.

Prof. PhD. Hermes Pimenta de Moraes Junior	UFLA
DrEng. Kalill Jose Viana Da Páscoa	UFLA
MEng. Thiago Magalhães Meireles	UFLA
Prof. PhD. Raphael Winckler de Bettio	UFLA
Prof. Dr. Jean Marcel Sousa Lira	UNIFAL

Prof. PhD. Hermes Pimenta de Moraes Junior
Orientador

Dr. Kalill Jose Viana Da Páscoa
Co-Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

Dedico este trabalho in memoriam de meu pai Eugenio Cláudio de Souza, ao qual foi minha referência ao longo dos meus anos de vida por optar e gostar de trabalhar com tecnologia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos do Alojamento Estudantil UFLA (Brejão) que fizeram parte da minha vida e do meu cotidiano ao longo destes 9 anos de graduação e aos meus familiares pelo apoio em todos os momentos.

*Ora, a vida não é senão um modo de experimentar à construção de metáforas ou de experimentar metáforas construídas?
(Autor Desconhecido)*

RESUMO

Em meio a crescentes alterações do clima em escala global, as propostas de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), originária do protocolo de Quioto, no ano de 1997, veio como alternativa de solução deste problema, juntamente à alteração comportamental em que a economia mundial se consolidou ao longo da sua formação, através de projetos de crédito de carbono. O crédito de carbono, tem o potencial de revolucionar as diretrizes que regem o mercado financeiro mundial, em especial ao Brasil, por se tratar de uma economia que não explora a extração de recursos naturais e incentiva a preservação ambiental, bem como a amenização dos danos já causados.

Há uma necessidade como critério para aprovação de um projeto de crédito de carbono a auditabilidade de todo projeto/processo. Nesse aspecto, o blockchain, pela sua estrutura, oferece o suporte para que as informações, bem como a integridade dos dados ali contidos, tenham a garantia de sua integridade e atende esta premissa.

Este trabalho tem como objetivo analisar um modelo funcional para o uso do *blockchain* em solucionar as demandas de transparência e confiabilidade, juntos com a segurança das informações contidas no projeto de redução de emissão de carbono (crédito de carbono), dando as partes envolvidas do projeto a auditabilidade necessárias, impostas pelas boas práticas de projeto, baseadas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Palavras-chave: blockchain. crédito de carbono. estoque de carbono. contrato inteligente

ABSTRACT

In the midst of global scale climate change, the Clean Development Mechanism (CDM) proposals, which originated from the Kyoto protocol in 1997, came as a solution to this issue, along with behavioural change in which the world economy consolidated throughout its formation, through carbon credit projects. The carbon credit has the potential to revolutionize guidelines that rule worldwide financial market, especially Brazil, as it is a form of economy that does not exploit the extraction of natural resources and encourages environmental preservation, as well as the mitigation of damages already caused.

The auditability of the entire process is a criteria that every carbon credit project or process must abide for approval. Regarding this matter, the Blockchain, due to its structure, as well as the integrity of the data contained therein, is able to guarantee the carbon credit integrity and meets its premise.

This undergraduate thesis aims to analyze a theoretical functional model of the use of blockchain as a tool in transparency, reliability and security of the information contained in the carbon emission reduction project (carbon credit), giving the parties involved the necessary auditability, imposed by good design practices, based on the Clean Development Mechanisms (CDM) as proposed by the Kyoto Treaty in 1997.

Keywords: blockchain. carbon credit. carbon stock. smart contract.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Transação proposta por Satoshi Nakamoto	37
Figura 2.2 – Servidor Timestamp proposta por Satoshi Nakamoto	37
Figura 2.3 – Prova de Trabalho proposta por Satoshi Nakamoto	38
Figura 3.1 – Fluxograma do processo de execução do Contrato Inteligente	52
Figura 3.2 – Diagrama de relacionamento entre atores do Contrato Inteligente	55
Figura 3.3 – Diagrama de relacionamento entre atores sem o setor público estar atuando diretamente do Contrato Inteligente	57
Figura 3.4 – Diagrama de relacionamento entre atores no Contrato Inteligente	60
Figura 4.1 – Fluxograma do caminho de decisão para aderir à <i>blockchain</i>	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Países classificados como Anexo I da Convenção de Protocolo de Quioto . . .	31
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contexto, Motivação e Desafios	19
1.2	Objetivos	21
1.3	Metodologia	21
1.4	Estrutura do texto	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Crédito de Carbono	23
2.2	Relevâncias do Florestamento e Reflorestamento para o Estoque de Carbono	29
2.3	Contexto Geral do Crédito de Carbono	31
2.3.1	Tempo de vida de um projeto para Florestamento e Reflorestamento	33
2.3.2	Recursos Financeiros para Viabilização de um Projeto de Florestamento e Reflorestamento	33
2.4	Blockchain	34
2.4.1	Conceitos iniciais: Estrutura do Blockchain	36
2.4.2	Node ou full Node (Nós de validação)	39
2.4.3	Carteira	39
2.4.4	Transações	40
2.4.5	Mecanismo de Consenso	40
2.4.6	Mineração dos Blocos	41
2.4.7	Algoritmos de consenso	42
2.5	Aplicações do Blockchain	45
3	PROPOSTA DE APLICAÇÃO	47
3.1	Estrutura de Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)	47
3.2	Projeto de quantificação de carbono - Modelo Fitogeográfico da Bacia do Rio Grande	48
3.2.1	Categoria 1 - Comprovação de Propriedade/posse	48
3.2.2	Categoria 2 - Acreditação da propriedade	49
3.2.3	Categoria 3 - Acreditação da floresta	49
3.2.4	Categoria 4 - Levantamento do Estoque de Carbono	50

3.3	Modelo do blockchain para projetos de crédito de carbono	51
3.3.1	Definição dos atores para o Smart Contract	53
3.4	Descrição das Transações dos Atores Modelada	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Avaliação da proposta	61
4.2	Especificação dos métodos de avaliação	61
4.2.1	Há necessidade de um banco de dados comum compartilhado?	62
4.2.2	Existe muitas partes envolvidas em torno do projeto?	63
4.2.3	As partes envolvidas têm interesses conflitantes e/ou problemas com confiança?	63
4.2.4	As partes podem e/ou querem evitar um terceiro agente confiável envolvido no projeto?	63
4.2.5	As regras que regem o acesso ao sistema diferem entre os participantes?	64
4.2.6	As regras de transação permanecem praticamente inalteradas?	64
4.2.7	Existe a necessidade de um registro objetivo e imutável?	64
4.2.8	O acesso aos dados deve ser de cunho público e obrigatório?	65
4.2.9	As transações são cunho público?	65
4.2.10	Onde o consenso para leitura e escrita de transações será determinado?	65
4.3	Resultados	65
5	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto, Motivação e Desafios

A percepção do ambiente e as alterações que este sofre e nos afeta está associado diretamente a nossa condição humana de sobrevivência, bem como todos os outros seres vivos conforme são observados nas teorias de seleção natural propostos por Charles Darwin e Alfred Wallace (THOMPSON, 2004). Nesta teoria, a seleção natural define qual organismo está mais apto ao meio e, em consequência, passa-se suas características aos descendentes, garantindo, portanto, que estas características vantajosas nesta população fixem-se ao passar do tempo. Esta seleção pode ser afetada pelo meio Ambiente ao qual este organismo está exposto, podendo decretar a sua extinção caso não se adaptar.

Estar preocupado com as alterações do meio ambiente é estar preocupado com a condição à sobrevivência, o que nos liga a um instinto primitivo semelhante a qualquer ser vivo. Preservar o meio ambiente é fundamental, afinal, é nele onde buscamos recursos naturais necessários para a nossa sobrevivência, pois todas as formas de vida do planeta dependem e interagem com esses recursos de forma direta.

Neste contexto de preservação do ambiente, bem como a manutenção dos nossos recursos naturais junto ao clima do planeta, a política do estoque de carbono vem fortalecer as propostas advindas do Protocolo de Quioto e os encontros que deram sequências as propostas criadas na Conferências das Partes, tornando-se mais viável as práticas de preservação e contenção das emissões de gases de efeitos estufa na atmosfera do nosso planeta.

O crédito de carbono, como ficou conhecido, pode revolucionar as diretrizes que regem o mercado financeiro mundial, em especial ao Brasil, onde encontramos base jurídica, com leis de regulamentação e manutenção do meio ambiente quanto a um incentivo fiscal, advindo da comercialização destes projetos que virão a ser construídos ao longo do tempo.

Tendo esta premissa de suprir a demanda no auxílio a preservação do meio ambiente, este trabalho tem como proposta contribuir com projetos de crédito de carbono na validação de suas informações e segurança dos mesmos com uso da tecnologia *blockchain* para a tramitação entre os participantes em torno deste projeto e também tem a proposta de se tornar um certificado de autenticação com a adesão à tecnologia.

Há uma necessidade, como critério para aprovação de um projeto de crédito de carbono baseado no mecanismo de desenvolvimento limpo, quanto a auditabilidade de todo projeto/processo (FILHO, 2017), ao qual o blockchain, pela sua estrutura, dá todo o suporte para que as informações, bem como a integridade dos dados ali contidos, tenham a garantia de sua integridade (MAGAZINE, 2020a).

Com a criação do protocolo de comunicação e de armazenamento de informações *blockchain*, a comunidade teve a oportunidade e a capacidade de ver uma evolução quanto aos requisitos de confiabilidade, rigidez, descentralização, persistência, anonimato e auditabilidade, sendo esse uma solução viável para um problema bem antigo, conhecido como *Problema dos Generais Bizantinos*. Neste problema, dois generais aliados estão em meio a guerra e em território inimigo desconhecido por eles, tendo o objetivo de coordenar um ataque conjunto, os dois generais precisam trocar mensagens de estratégias. Entretanto, como estão em um ambiente inseguro, as mensagens trocadas podem não chegar ao destino esperado ou ser alteradas no meio a trajetória, caso o mensageiro seja capturado pelo inimigo, por exemplo (LAMPORT LESLIE E SHOSTAK, 1982).

A solução do *blockchain* para esse problema foi utilizar a função *hash*, a qual produz resultado igual (chave) se, e somente se, as entradas originais e correspondentes a formação deste *hash* gerado pela transação entre as partes forem as iguais (NAKAMOTO, 2008). O *hash*, de forma simplificada, é um algoritmo matemático que transforma qualquer bloco de dados em uma série de caracteres de comprimento fixo. Seu tamanho varia com o protocolo de passos previamente definidos, comumente usando-se aritmética modular. A cadeia de blocos (*chain*) se define ao conjunto de transações aos quais são mineiradas e validadas por uma série de cálculos para conferir cada *hash* gerado, e assim garantir a veracidade de todas as transações. O *blockchain* pode ser definido como uma sequência de blocos, que contém uma lista completa de registros de transações semelhante a um livro razão convencional (CHUEN, 2015). Com a criação do *blockchain*, abriu-se novas demandas para o setor financeiro, segurança da informação, contratos e certificações e até um novo paradigma para a internet, conhecida como web3, tendo uma proposta para ser a terceira grande evolução da rede de computadores mundial (WACKEROW, 2021).

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise do uso da tecnologia *blockchain* para solucionar as demandas de transparência e confiabilidade, juntos com a segurança das informações contidas no projeto de redução de emissão de carbono (crédito de carbono), dando as partes envolvidas do projeto (*stakeholders*) a confiança e garantia de que se faz necessária para todos envolvidos no projeto como pré-requisito forte na validação do mesmo através do uso desta tecnologia.

Através dessa análise espera-se alcançar os objetivos específicos como:

1. Levantar os aspectos ambientais, produtivos e regulatórios que envolvam o crédito de carbono;
2. Levantar todo o processo do *blockchain* para elucidar o seu funcionamento e com ele, mostrar que a estrutura atende os requisitos de segurança e rastreabilidade.
3. Exemplificar possíveis maneiras de fluxos de contrato Inteligente e das transações em que o projeto de crédito de carbono se faz presente até o momento.
4. Através de toda análise, garantir que há oportunidade de uma aplicação e da possível utilização, em trabalhos futuros, da estrutura do *blockchain*;

1.3 Metodologia

Este trabalho tem como proposta desenvolver uma análise da aplicação em estrutura do *blockchain* como forma de promover a auditabilidade/rastreabilidade do escopo do projeto de crédito de carbono, bem como a segurança das informações onde com isto, busca-se demonstrar como o *blockchain* pode ser útil e/ou proporcionar uma alternativa viável para a solução deste caso.

Sobre a pesquisa, buscou-se analisar os dados coletados sobre o tema, porém de forma subjetivas, pois foram abordadas as motivações e comportamentos ao qual não podem ser quantificadas numericamente.

O método será de forma hipotético-dedutivo, pois irão ser propostas hipótese de soluções para os conflitos de aplicação do crédito de carbono.

1.4 Estrutura do texto

No tópico 2, será realizada uma revisão bibliográfica sobre crédito de carbono e de toda estrutura que abrange o *blockchain*. No tópico 3, será apresentado o modelo de projeto de quantificação do estoque de carbono e proposta de aplicação utilizando Contrato Inteligente no *blockchain*. No tópico 4, serão feitas as considerações técnicas sobre a adesão de projeto de crédito carbono a estrutura do *blockchain*. Por fim, no tópico 5 as considerações finais sobre os temas abordados

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Crédito de Carbono

Monitoramento e pesquisas com relação a mudança climática acontecem a muito tempo. Por exemplo, os gregos antigos já debatiam como o corte de florestas poderia trazer mais ou menos chuvas para uma região (WARMING, 2015). A descoberta em meados do século XIX de que houveram eras glaciais no passado provou que uma brusca mudança climática pode mudar radicalmente todo ecossistema da Terra, sendo essa uma mudança muito além de qualquer intervenção humana (WARMING, 2015).

Em 1896, o cientista sueco Svante Arrhenius percebeu que a queima de combustíveis fósseis adicionava CO_2 na atmosfera da Terra e como consequência, contribuía para o aumento da temperatura média do planeta. Essa consequência de efeito estufa, como mais tarde iria ser nomeada, seria apenas uma das muitas teorias sobre as contribuições na mudança climática (WARMING, 2015).

O início do debate internacional ocorreu em 1988, com a criação do Painel Intergovernamental para mudanças climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Em seguida, houve a entrada em vigor na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*) na década de 90 (1994) (RIBEIRO, 2007). Em 1995, iniciou-se as Conferências das Partes (*Conferences of the Parties - COP*) Órgão responsável pelas tomadas de decisão da CQNUMC, com reuniões anuais (RIBEIRO, 2007).

A COP 3 teve como destaque a aprovação do Protocolo de Quioto em 11 de dezembro de 1997, onde buscava-se que países signatários (nações que subscreveram a algum tipo de manifesto, contrato, acordo, carta ou outro documento que concordariam com o conteúdo apresentado) se comprometeram em reduzir as suas respectivas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, do qual tinha-se como meta à ratificações de 50% destinados aos 84 países signatários originais. O Protocolo tinha como base as premissas devidamente comprovadas pela ciência de que o aquecimento global é um fato real e que é causado com ação direta humana (OECD, 2015). Os países industrializados deveriam reduzir, em 5,2%, emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono, tendo como parâmetro de redução os níveis de emissão registrados

a partir de 1990. Para o Japão e a União Europeia, ficaram estabelecidas reduções de 7% a 8%, respectivamente. Os países em desenvolvimento, como China, Brasil e Índia, não receberam metas e obrigações para reduzir suas emissões, ficando como critério voluntário à adesão (OECD, 2015).

A partir do Protocolo de Quioto, criou-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL é uma flexibilização dentro do protocolo que prevê as reduções das emissões de gases de efeito estufa de forma certificada, onde veio a surgir o *Crédito de Carbono* (BREIDENICH et al., 1998).

O Créditos de carbono, refere-se a valores de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera que são captados e/ou evitados de irem para a atmosfera, e são negociados entre países classificados como anexo I pelo protocolo de Quioto, e podem vir a ser negociados com empresas/países que não conseguiram atingir suas metas de redução de GEE.

Existem na atmosfera vários gases de efeito estufa (GEE). O vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), o ozônio (O_3), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) que retêm a energia da mesma forma que os vidros de um carro fechado ou propriamente semelhante a uma estufa. Sem este efeito estufa natural, a temperatura média na superfície da Terra seria inferior ao ponto de congelamento da água. Assim, o efeito estufa de forma natural tem mantido e possibilitado a existência de vida no planeta. Porém, as atividades do homem com relação ao ambiente de forma antrópica estão acentuando as concentrações desses gases na atmosfera, ampliando assim, a capacidade que o planeta possui de absorver energia em consequência ao acúmulo de radiação (FILHO, 2017).

As emissões antrópicas de dióxido de carbono, o gás que mais contribui para a intensificação do efeito estufa, decorrem principalmente do uso de carvão, petróleo e gás natural, como também da destruição de florestas e reservatórios naturais que absorvem dióxido de carbono do ar (FILHO, 2017).

A mudança do clima é comumente chamada de aquecimento global porque é uma consequência direta do aumento das temperaturas médias. Entretanto, outros efeitos podem ser igualmente notados como, novos padrões de ventos, chuvas desreguladas e circulação dos oceanos, entre outros eventos extremos. Os cientistas continuam examinando estes e outros problema em busca de respostas mais definitivas e com melhor embasamento (FILHO, 2017).

Como não foi alcançada a estabilização projetada das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, houve-se a necessidade de ser tomadas novas ações. O Protocolo de Quioto

deveria ter sido encerrado em 31 de dezembro de 2012, mas durante a COP18 (18ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas) teve sua duração prorrogada. Realizada em Doha, Qatar, em 8 de dezembro de 2012, onde foi adotada uma emenda ao antigo protocolo de que os membros concordariam de se ter o segundo período de compromisso à redução de emissão de gases de efeito estufa, entre 2013 à 2020 (OECD, 2015).

Houve também nesse meio tempo, sendo mais preciso no dia 12 de dezembro de 2015, o Acordo de Paris, evento este que se consolidou um tratado mundial o qual tem por objetivo, mais uma vez, de reduzir o aquecimento global. O novo tratado, foi discutido entre 195 países durante a COP21 (21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas), tornando-se a nova proposta a substituir o Protocolo de Quioto.

No período de 31 de outubro à 12 de novembro de 2021 aconteceu a COP26 (26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas) trazendo consigo 4 questões importantíssimas para a resolução de um dos maiores desafios da humanidade atual (BRASIL, 2021):

1. Os países terão grandes cortes expressivos de emissões até 2030 e farão um acordo para manter viva a meta à redução de temperatura de 1,5°C?
2. Os países em desenvolvimento conseguirão o financiamento e o apoio que precisam?
3. Os negociadores concordarão com regras que mantêm a integridade e a ambição do Acordo de Paris?
4. Países e empresas se comprometerão com ações revolucionárias que impulsionem uma mudança sistêmica?

A geração de reduções certificadas de emissões (RCE), também usualmente chamadas de “créditos de carbono”, provém de atividades de projetos no âmbito do MDL e tem sido uma das principais maneiras pelo qual os países em desenvolvimento tem contribuído, de forma voluntária, para o esforço global de mitigação das emissões de gases de efeito estufa - GEE (FILHO, 2017).

O MDL teve origem na proposta brasileira pela criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, apresentada na ocasião do processo de negociação que resultou no Protocolo de Quioto. Durante o processo multilateral de negociação deste instrumento, a proposta inicial do fundo foi

modificada e tornou-se no que hoje a conhecemos. O Mecanismo permite que um país que tenha compromissos quantificados de redução de emissões (países classificados como Anexo I do Protocolo de Quioto) adquira Reduções Certificadas de Emissões - RCEs provenientes de projetos realizados em países em desenvolvimento (países não classificados no Anexo I) para o cumprimento de parte de seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de GEE no âmbito do Protocolo de Quioto (FILHO, 2017).

O MDL consiste na possibilidade de um país que tenha tais compromissos de redução financiar projetos de mitigação de GEE nos países em desenvolvimento. Tais projetos devem implicar reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima (FILHO, 2017).

Para que um projeto resulte em Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), as atividades de projeto do MDL devem, necessariamente, passar pelas etapas do ciclo do projeto, que são (FILHO, 2017):

1. Elaboração de documento de concepção de projeto (DCP), descrevendo a metodologia, linha de base que o projeto propõe e plano de monitoramento;
2. Verifica se o projeto está em conformidade com a regulamentação do Protocolo de Quioto;
3. Aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND). No Brasil é de responsabilidade da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC);
4. Submissão ao Conselho Executivo para registro;
5. Monitoramento;
6. Certificação;
7. Emissão de unidades segundo o acordo de projeto.

Entretanto, para que um país em desenvolvimento valide suas reduções é necessário a apresentação dos resultados bianualmente à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), sendo essa informação de inteira responsabilidade do país proponente (PÁSCOA, 2018).

No Brasil, os níveis de referência nacional de emissões florestais, vem sendo um dos principais instrumentos de integração e articulação de iniciativas de REDD+ (Redução de Emissões de gases de efeito estufa provenientes do Desmatamento e da Degradação florestal), são chamados de Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento nos biomas. Bioma é um conjunto de tipos de vegetação que são próximos e que podem ser identificados em nível regional e com condições de geologia e clima semelhantes (IBGE, 2022). Qualquer tipo de projeto de carbono ou de serviços ambientais engloba uma série de questões relacionadas ao cumprimento de toda a legislação aplicável à execução das atividades (VOIVODIC et al., 2009).

Os aspectos legais quanto ao projeto de crédito de carbono em que devemos nos atentar são: (VOIVODIC et al., 2009):

- **Situação fundiária e regularidade ambiental da área do projeto:** Descreve a área onde o projeto será executado, a qual pode corresponder a uma ou a várias propriedades. A área pode ser privada, comunitária, uma unidade de conservação, um assentamento. O projeto deve demonstrar que o proponente, ou alguma organização envolvida no projeto, possui, de forma inquestionável, a posse ou o direito de uso de longo prazo daquela área. Caso exista algum tipo de disputa pela posse ou pelo direito de uso da área do projeto, é importante que isso seja apresentado de forma bem clara, para, assim, poder-se avaliar devidamente o projeto, num processo de certificação. Deve-se também apresentar a situação de regularidade ambiental da propriedade junto aos órgãos governamentais competentes, incluindo informações de averbação da reserva legal, negativa de multas e infrações ambientais etc.
- **Licenças necessárias para a implementação do projeto:** Descreva as licenças ou as anuências de órgãos governamentais, imprescindíveis para a execução das atividades do projeto. Caso as licenças já tenham sido emitidas, apresente cópias ou referência a tais licenças. Caso contrário, descreva o processo para receber tais licenças e forneça uma previsão sobre o momento do projeto em que essas licenças serão necessárias.
- **Legislação trabalhista:** Descreva a gestão dos funcionários envolvidos nas atividades do projeto, sejam eles próprios ou empresas terceirizadas de prestação de serviços, de acordo com os requerimentos da legislação trabalhista, incluindo a descrição de como serão realizados os contratos (CLT ou temporários), quais as formas de pagamentos (salários mensais

ou pagamento por produção?) etc. Apresente, também, as medidas utilizadas, durante a execução das atividades, para o atendimento aos requerimentos legais de saúde e de segurança do trabalho, incluindo condições de moradia, transporte, alimentação, uso de produtos químicos, entre outros.

- **Situação tributária:** Apresente a situação de débitos tributários junto à Receita estadual e federal (anexar cópias das certidões). Em caso de pendências administrativas, é interessante apresentar, também, um plano de resolução/quitação das pendências.
- **Direito legal sobre os créditos gerados pelo serviço ambiental:** Projetos de carbono, ou de qualquer outro serviço ambiental, geralmente implicam algum mecanismo de pagamento pela prestação desses serviços. O pagamento pode ser feito através de créditos gerados pelo sequestro, pela redução das emissões de carbono, ou mesmo através de compensações diretas aos responsáveis pela manutenção desses serviços. Esse tema ainda carece de uma regulamentação específica no Brasil, o que o torna bastante sensível e delicado em um projeto de serviços ambientais.

A regulamentação no Brasil de crédito de carbono quanto a venda ao exterior tem amparo no Direito Internacional Privado, pois a transação se concretiza por intermédio de contrato internacional de compra e venda, acordo que gera direitos e obrigações para ambas as partes e está nos conformes do ART. 9º, da Lei de Introdução ao Código Civil.

Em território nacional, temos o amparo da lei 14.119 de 13 de janeiro de 2021, do qual se dispõe a definir conceitos, objetivos, diretrizes, ações e critérios de implantação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), institui o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), dispõe sobre os contratos de pagamento por serviços ambientais e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (UNIÃO, 2021).

Afim de regulamentar o mercado de compra e venda de crédito de carbono, temos em tramitação até o momento em que esta monografia está sendo escrita, o Projeto de Lei 528/21 institui o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), ao qual esta Apensado ao PL 290/2020. O

projeto será analisado, em caráter conclusivo, pelas comissões de Minas e Energia; Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; e Constituição e Justiça e de Cidadania (SOUZA, 2020).

2.2 Relevâncias do Florestamento e Reflorestamento para o Estoque de Carbono

Uma floresta jovem e que esteja crescendo de forma acelerada, sequestra maiores volumes de carbono quando comparada à floresta madura. Porém, a floresta madura atua como um reservatório, estocando carbono, mesmo que não esteja passando por um crescimento líquido e com isso guarda grandes volumes de carbono em sua biomassa ao longo de todo tempo de sua existência (SEDJO, 2001).

Além disso, existe o reconhecimento de que as florestas constituem o maior reservatório de carbono de todos os ecossistemas terrestres e funcionam, em muitos casos, como sumidouros de carbono, o que corrobora a sua inclusão em projetos de MDL (CAMPOS, 2001).

A quantificação do carbono pode ser realizada de diversas formas, uma delas é a partir do levantamento de dados de campo conhecido como Inventário Florestal, aonde parcelas amostrais são alocadas na floresta e utilizando medições de diâmetro, altura, métodos estatísticos que envolvem o princípio da amostragem e uso de equações matemáticas (alométricas), se torna possível realizar estimativas confiáveis da biomassa e/ou estoque de carbono contido na florestal. Esse levantamento pode estar ou não associado a coleta de amostras de madeira e solo para análises laboratoriais quanto ao teor de carbono contido na biomassa. florestal. (PÁSCOA, 2018). A metodologia dessa quantificação não segue um padrão único, o que dificulta a comparação entre as estimativas geradas por diferentes estudos.

Para a validação dos projetos de florestamento e reflorestamento deve-se ter por escrito as fontes de carbono consideradas nos cálculos de manutenção do estoque ou de sequestro de carbono. As opções a considerar são entre Biomassa Viva e Biomassa Morta:

Com relação à biomassa viva, temos:

- Biomassa arbórea acima do solo,
- Biomassa não-arbórea acima do solo e,
- Biomassa sob o solo.

Já referente à biomassa morta, encontramos:

- Serrapilheira,
- Madeira morta no solo (árvores caídas),
- Solos orgânicos e,
- Produtos madeireiros.

A densidade básica da madeira é uma característica universal para a comparação de madeiras, visto que é uma propriedade de fácil determinação e alta correlação com a resistência mecânica da madeira (SARTORI, 2018).

O cálculo se baseia em classificar as arvores contidas na área ao qual ira ser quantificado do projeto, geralmente adotando as espécies com diâmetro da Fuste (parte do tronco das árvores, entre o solo e as ramificações mais baixas) superiores a 5 centímetros. Geralmente a coleta do disco de amostra deriva da derrubada da arvore ao qual queira descobrir a quantidade de carbono para a sua espécie, seguindo a remoção dos discos nas posições percentuais 0, 25, 50, 75 e 100 da altura do Fuste.

No laboratório, verifica-se o peso da madeira saturada (peso úmido), o peso da madeira seca e se calcula a razão entre essas duas medidas. Após esta fase, tritura-se o material dos discos coletados separadamente, colocando para secagem até virar uma amostra composta e homogênea. Deste último processo, coleta-se amostras entre 5 a 10 gramas para análise. A análise dessas amostras se dá após estas serem incineradas em forno a 950°C.

Os principais métodos empregados na cubagem são o de Smalian, Huber e Newton (BENTO; WOJCIECHOWSKI; EVANGELISTA,)

As equações alométricas são as mais usadas quanto a quantificação por estimativa de carbono, como é relatado por (RIBEIRO et al., 2010).

Geralmente se quantifica a estimativa de biomassa acima do nível do solo para se fazer o cálculo.

O estoque de carbono nas plantas se da por meio da remoção e fixação do CO_2 da atmosfera na biomassa. O carbono é removido na atmosfera por meio da fotossíntese das plantas e se associa

com os compartimentos do indivíduo arbóreo, em decorrência com o crescimento da vegetação ao longo da vida da planta (CORDEIRO, 2019).

2.3 Contexto Geral do Crédito de Carbono

Para se ter o aval de crédito de carbono, o projeto deve seguir os protocolos do Mecanismo de Desenvolvimento limpo (MDL) descrito pelo protocolo de Quioto. No contexto do MDL, pode se ter projetos tanto na redução de emissões quanto na remoção de emissões, onde este se insere às atividades como florestamento e reflorestamento. (RIBEIRO, 2007).

Em um projeto MDL, governos e entidades privadas classificadas como Anexo I, tem permissão para implementar projetos para a redução de emissão nos países que não estão classificados como Anexo I da Convenção de Protocolo de Quioto, formalizado pela COP 9, em Milão (2003), conseguindo assim a certificação para o abatimento das reduções de emissão de gases de efeito estufa, conhecido como Redução Certificada de Emissões - RCEs (*Certified Emission Reductions - CER*) (RIBEIRO, 2007).

A Tabela 3.1 mostra os países classificados como Anexo I da Convenção de Protocolo de Quioto.

Tabela 2.1 – Países classificados como Anexo I da Convenção de Protocolo de Quioto

Classificação	Países
Países Europeus Ocidentais	<i>Alemanha, Áustria, Bélgica, Croácia, Dinamarca, Eslovênia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Itália, Liechtenstein, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, Suécia e Suíça</i>
Países industrializados do leste europeu	Bulgária, Eslováquia, Hungria, Polônia, República Checa e Romênia
Países industrializados da ex-União Soviética	Rússia, Ucrânia, Estônia, Letônia e Lituânia
Demais países industrializados	Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia e Japão

Fonte: (OECD, 2015)

As atividades do projeto MDL devem seguir, assim descrito no Artigo 12 do Protocolo de Quioto: (FILHO, 2017)

- (i) Assistir às Partes não classificados como Anexo I da Convenção de Protocolo de Quioto para que contribuam com o objetivo final da convenção e para que atinjam o desenvolvimento sustentável por meio da implementação de atividades de projeto.
- (ii) às Partes incluídas como Anexo I da Convenção de Protocolo de Quioto para que cumpram suas obrigações quantificadas de limitação e redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Outro requisito do MDL é que o projeto deva se enquadrar dentro de um ou mais dos 15 escopos setoriais, que são:

1. Indústria energética, sendo elas de fonte renovável ou não;
2. Distribuição energética;
3. Demanda de energia;
4. Indústria manufatureira;
5. Indústria química;
6. Construção;
7. Transporte;
8. Produção mineral;
9. Produção de metais;
10. Emissões fugitivas de combustíveis;
11. Emissões fugitivas da produção e consumo de halocarbonetos e hexafluoreto de enxofre;
12. Uso de solventes
13. Manejo e disposição de resíduos;
14. Florestamento e reflorestamento;
15. Agricultura.

O termo vazamento em projetos de carbono é utilizado para qualquer aumento na emissão de gases do efeito estufa fora da área do projeto, que possa ser mensurado e identificado como efeito direto das ações do projeto. O projeto deve descrever como são definidos os potenciais fontes de vazamento e como são calculadas e consideradas na estimativa final da quantidade de carbono sequestrada ou deixada de emitir em decorrência das atividades do projeto (inclui, também, uma descrição das medidas adotadas para mitigar os potenciais vazamentos advindos do projeto) (VOIVODIC et al., 2009).

2.3.1 Tempo de vida de um projeto para Florestamento e Reflorestamento

O conceito de permanência está associado ao período pelo qual o projeto assegura os benefícios gerados. Após esse período, as árvores podem vir a ser cortadas e utilizadas para gerar energia. Nesse caso, o projeto que não tem permanência, é chamado temporário, já que os benefícios ao clima durarão apenas um período pré-estabelecido. O projeto deve demonstrar o horizonte de tempo pelo qual os benefícios esperados estão assegurados, e utilizar esse período em seus cálculos da quantidade de créditos de carbono gerada pelo projeto (VOIVODIC et al., 2009). A permanência de um projeto pode também ser avaliada através de uma análise que estime os riscos de algum acidente impedir que os benefícios esperados ocorram. Por exemplo, o risco de que um reflorestamento seja atacado por uma infestação de formigas, ou de um período severo de seca; ou o risco de um incêndio regional queimar a floresta em um projeto de REDD+. A existência desse tipo de risco deve ser considerada na avaliação da permanência em um projeto (VOIVODIC et al., 2009).

Projetos de serviços ambientais são sempre de longo prazo. Logo, é importante demonstrar que existe um sistema para identificar riscos que podem comprometer a execução das atividades e, conseqüentemente, os objetivos esperados (VOIVODIC et al., 2009).

2.3.2 Recursos Financeiros para Viabilização de um Projeto de Florestamento e Reflorestamento

As formas para a implementação e execução quanto a recurso financeiro para o projeto de crédito de carbono pode se dá pelas seguintes formas:

- Formas de financiamento e de investimento (fontes de recursos para o desenvolvimento/implementação do projeto). Caso o recurso não esteja assegurado, deve-se descrever à proposta a estratégia de captação de recursos e os potenciais doadores (FILHO, 2017);
- Orçamento operacional (em linhas gerais) por atividade, ao ano: previsões durante o período de duração do projeto. Esse orçamento poderá ser apresentado de forma resumida, deixando as informações detalhadas em planilhas anexas;
- Mecanismos de venda dos créditos gerados, estimativa do valor a alcançar e taxa de retorno;
- Formas de registro dos demonstrativos financeiros;
- Existência, ou não, de auditoria contábil, necessária, em especial, para projetos de grande escala com investidores externos.

2.4 Blockchain

Ideias de moedas digitais descentralizadas, bem como de aplicativos alternativos em que hoje o *blockchain* atuam, existem há mais ou menos 40 anos. Os protocolos de *e-cash anônimos* das décadas de 1980 e 1990 por exemplo, que são baseados em *Chaumian Blinding*, já forneciam uma moeda com privacidade, mas os protocolos não conseguiram ganhar forças por causa de sua dependência de um intermediário centralizador (BUTERIN, 2013).

De uma perspectiva histórica, a tecnologia tem suas raízes nas elaborações de Ralph C. Merkle, que propôs a *Árvore Merkle*. A *arvore Merkle* nada mais é do que o uso de *hashes* concatenados em uma estrutura de dados para assinaturas digitais, tendo seu surgimento na década de 1970. O *Hashing* tem sido usado desde a década de 1950 para criptografia, sendo usado na segurança da informação, assinaturas digitais e verificação de integridade de mensagens. (TASCA; TESSONE, 2017).

Chaumian Blinding é uma técnica para realizar uma transação sem revelar quem estão presentes em ambos os lados, sem mencionar o momento e/ou o conteúdo da transação até mesmo para a figura intermediária centralizada que o aprovará (CHAUM, 1983).

Em novembro de 1998, Wei Dai lança a primeira proposta da criação de dinheiro por meio da solução de transações anunciadas publicamente como *b-money*, mas a proposta era escassa de detalhes sobre como o consenso descentralizado deveria ser implementado (DAI, 1998).

Adam Back em agosto de 2002 ajuda a maturar a ideia *blockchain* com seu trabalho *Hashcash - A Denial of Service Counter-Measure*, do qual trata ser uma proposta para a solução de um mecanismo para limitar o abuso sistemático de recursos da Internet não medidos como e-mail e repostadores anônimos (BACK et al., 2002).

No ano de 2005, Hal Finney introduziu um conceito referente à mecanismo de Consenso chamado *provas de trabalho reutilizáveis*. A prova de trabalho reutilizáveis RPOW (*Reusable Proofs of Work*) junta as ideias do *b-money*, criptografia quebra cabeças *Hashcash* de Adam Back e um antigo conceito de um artigo publicado por Cynthia Dwork e Moni Naor em 1993 de um mecanismo para combater *spam* de email (FINNEY, 2004).

A pesquisa de Cynthia Dwork e Moni Naor veio com a proposta de criar uma função de precificação para envio de e-mail que funcionaria como um alçapão. Com algumas informações adicionais, o cálculo desta função seria o preço para ser aceito como moeda de troca de envio e recebimento de e-mails (DWORK; NAOR, 1992). O preço proposto foi de tempo de CPU. A função para o tempo de CPU possui uma mensagem, um endereço de destinatário e alguns outros parâmetros.

Em 2009, a moeda descentralizada que conhecemos hoje como bitcoin foi implementada pela primeira vez na prática pelo pseudônimo *Satoshi Nakamoto*, combinando todos esses conceitos anteriores e estabelecendo o gerenciamento de propriedade por criptografia de chave pública com um algoritmo de consenso para rastrear quem possui moedas, conhecido como *prova de trabalho*. O mecanismo por trás da prova de trabalho foi um avanço pois forneceu um algoritmo de consenso simples e moderadamente eficaz, permitindo que os nós na rede concordassem coletivamente sobre um conjunto de atualizações canônicas para o estado do livro-razão Bitcoin, e também, fornecendo um mecanismo para permitir a entrada no processo de consenso, extinguindo o problema político do que venha a ser e como decidir o consenso e, ao mesmo tempo, evitando os *Ataques Sybil* (BUTERIN, 2013).

O *ataque sybil* afeta diretamente as redes *peer to peer* (P2P). Redes P2P requer uma grande cooperação entre seus elementos para fornecer o máximo de desempenho, apesar de que os ele-

mentos se comportem muitas vezes de forma egoísta (ou seja, buscam melhores resultados para si, desconsiderando o bem global) (ALMEIDA, 2006). Para evitar esse tipo de comportamento, utiliza-se os mecanismos de reputação (ROCHA; ALMEIDA; GUEDES, 2006). O mecanismo de reputação consiste em um nó *Y* decidir se fornece ou não serviços a outro nó *Z* baseando-se em suas experiências anteriores com ele, além da opinião geral dos outros nós participantes da rede em relação a reputação de *Z*. A fim de burlar a má reputação, o *Ataques Sybil* consiste de que um elemento participante da rede se utilizar de várias identidades falsas. Dessa forma, cada uma das identidades *Sybil* (como são chamadas as identidades falsas) pode informar à rede que as outras são justas, mesmo não sendo, confundindo assim o sistema de reputações e prejudicando a rede (P2P).

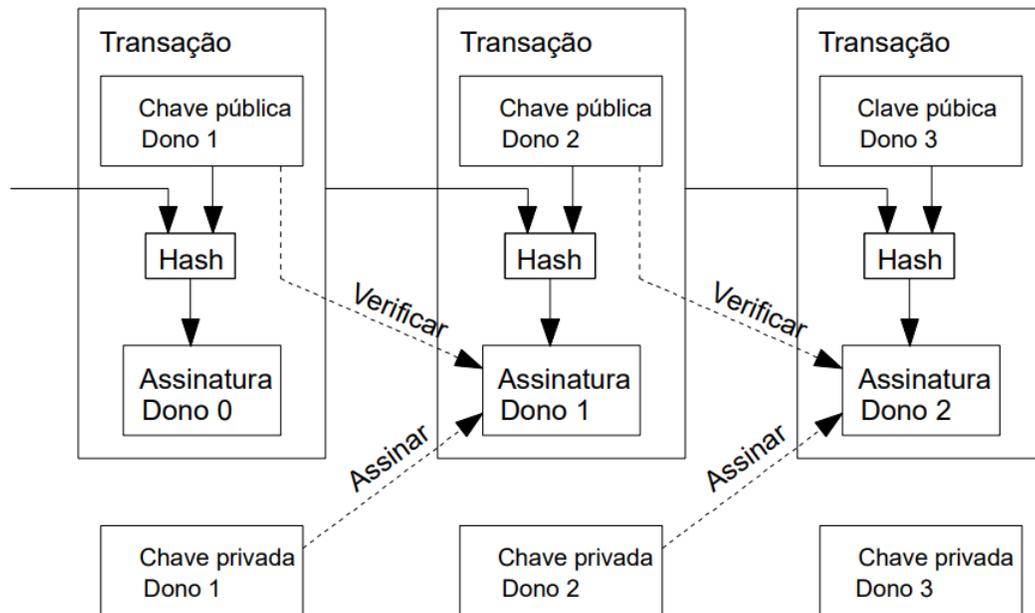
O termo *blockchain* (também conhecido como “o protocolo da confiança”) foi consolidado depois do lançamento da moeda *bitcoin*. Em seu artigo original, Satoshi Nakamoto não nomeia toda cadeia de protocolo de transação e mineração como *blockchain*.

2.4.1 Conceitos iniciais: Estrutura do Blockchain

O protocolo *blockchain*, bem como seu funcionamento proposto por Satoshi Nakamoto consiste em (NAKAMOTO, 2008):

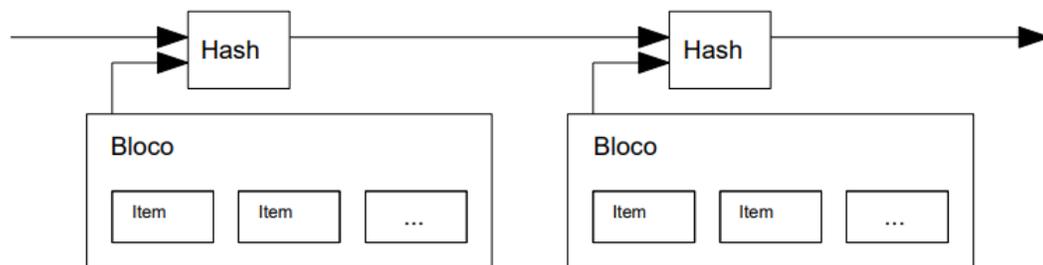
1. **Transações:** Cada proprietário transfere a moeda (ou NFT, Contrato Inteligente, etc. O corpo da mensagem de transação é o que define do que se trata o objeto na *blockchain*) para outro proprietário com uma assinatura digital *hash* da operação, tendo este vínculo com a uma possível transição anterior e a chave pública do novo dono, adicionando-os tanto esse *hash* da transação quanto a chave pública do novo dono ao fim do objeto negociado, gerando um novo *hash* para futuras transações e montando assim uma grande cadeia. A Figura 2.1 relata o processo de transação proposta por Satoshi Nakamoto.
2. **Servidor Timestamp:** *Timestamp* é uma cadeia de caracteres denotando a hora ou data que certo evento ocorreu. Um servidor *timestamp* trabalha gerando um *hash* de um bloco de itens e publicando amplamente o *hash*. O *timestamp* prova que os dados devem ter existido na época, a fim de entrar no *hash*. Cada *timestamp* inclui o anterior em seu *hash*, formando uma cadeia, com cada *timestamp* adicional reforçando os que vieram antes dele. A Figura 2.3 relata o processo de transação proposta por Satoshi Nakamoto.

Figura 2.1 – Transação proposta por Satoshi Nakamoto



Fonte: (NAKAMOTO, 2008)

Figura 2.2 – Servidor Timestamp proposta por Satoshi Nakamoto

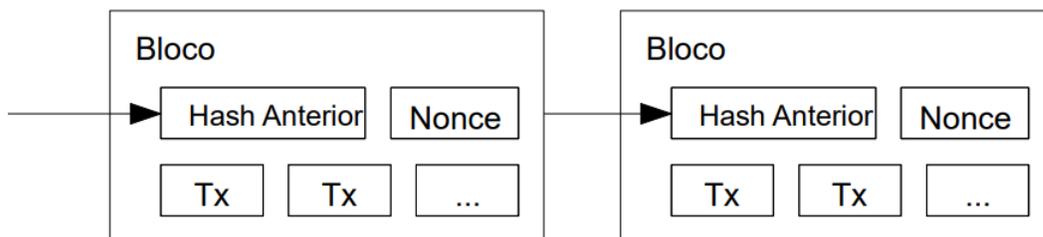


Fonte: (NAKAMOTO, 2008)

3. **Prova de Trabalho:** Para implementar um servidor *timestamp* distribuído em uma base *peer-to-peer*, usa-se um sistema de prova de trabalho semelhante ao *Hashcash* de Adam Back. A prova de trabalho envolve a procura por um valor que quando calculado o *hash*, tal como utilizando o SHA-256, o mesmo comece com um número de *bits* zero. A média do trabalho requerida é exponencial ao número de *bits* zero requeridos e pode ser verificada por meio da execução de um único *hash*. Para isso ocorrer, implementa-se à prova de trabalho um *nonce* no bloco até que seja encontrado um valor que dê ao *hash* do bloco a quantidade necessária de *bits* zero. Uma vez que o esforço da CPU tem sido dispendido para satisfazer

a prova de trabalho, o bloco não pode ser alterado sem refazer o trabalho. Como outros blocos são encadeados posteriormente, o trabalho para mudar um bloco incluiria refazer todos os outros blocos da cadeia após ele, sendo um trabalho muito custoso caso não tenha sucesso. Figura 2.3 relata o processo de prova de trabalho proposta por Satoshi Nakamoto.

Figura 2.3 – Prova de Trabalho proposta por Satoshi Nakamoto



Fonte: (NAKAMOTO, 2008)

4. **Rede:** Os passos para executar a rede são

- (a) Novas transações são transmitidas para todos os nós.
- (b) Cada nó coleta novas transações em um bloco.
- (c) Cada nó trabalha para encontrar uma difícil prova-de-trabalho para o seu bloco.
- (d) Quando um nó encontra uma prova-de-trabalho, ele transmite o bloco para todos os nós.
- (e) Os nós aceitam o bloco somente se todas as suas transações são válidas e já não foram gastas (verificadas por outros).
- (f) Os nós expressam sua aceitação do bloco, trabalhando na criação do próximo bloco na cadeia, usando o *hash* do bloco aceito como o *hash* anterior.

Quando uma nova rede de *blockchain* é desenvolvida, damos o nome a este novo block de *Gênese* ou *Bloco Zero*. Pelo fato de ser o primeiro bloco da cadeia, ele não possui *hash* anterior. (MIERS et al., 2019).

2.4.2 Node ou full Node (Nós de validação)

A rede em funcionamento do *blockchain* se baseia na P2P (*peer-to-peer*) do qual se trata de uma relação direta entre seus pares, de um emissor para um remetente, sem a intermediação de um terceiro agente entre ambos. Todos os computadores conectados a esse tipo de rede são chamados de nó (FIGUEIREDO, 2020).

A exemplo da rede bitcoin, todos os nós que contenham uma cópia completa da *blockchain* é classificado como um nó completo (*full-node*). Nós completos são responsáveis por validar todas as regras independente dos demais nós. São essenciais para a manutenção da rede descentralizada do *blockchain* (FIGUEIREDO, 2020).

Há também nós leves (*lightweight nodes* ou SPV – *Simplified Payment Verification*), que são nós que possuem apenas cópia parcial da *blockchain*. Não conseguem validar todas as regras de consenso, somente transações. Por ser mais leves que um nó completo, são comumente usados como carteira em diversos dispositivos, inclusive dispositivos móveis, computadores pessoais, entre outros. Para se comunicarem com a rede, é necessário se conectar a um nó completo (*full node*) (FIGUEIREDO, 2020).

2.4.3 Carteira

A carteira é um item indispensável para se realizar as transações de criptomoedas, contratos inteligentes e NFT's onde nada mais é que *software* gerenciador contendo endereços e suas chaves secretas (FIGUEIREDO, 2020).

Carteira é representada por um endereço ou chave pública correspondente a um conjunto único de caracteres alfanuméricos, que deve ser informado nas transações. As transações devem ser assinadas com a chave privada correspondente, para se provar a posse da carteira ou endereço (FIGUEIREDO, 2020).

Na carteira, cada proprietário transfere, por exemplo uma moeda, e em seguida, assina digitalmente o *hash* da transação anterior e a chave pública do próximo proprietário, se incrementando ao final da cadeia, oferecendo uma rastreabilidade em que uma moeda física convencional não possui, pois necessita de um banco central para conferir toda sua trajetória.

2.4.4 Transações

Após gerar uma mensagem correspondente a uma transação válida, em geral com auxílio de uma carteira, o emissor transmite a transação à rede utilizando seu nó completo ou um nó leve conectado a um nó completo. (FIGUEIREDO, 2020).

2.4.5 Mecanismo de Consenso

As transações transmitidas na rede são coletadas por mineradores nos nós completos, podendo ser incluídas em blocos e gravadas permanentemente na *blockchain* através da mineração. Com isso, há o mecanismo de consenso entre a rede *blockchain* para que todos os nós convertam à um acordo coletivo diante ao bloco que foi gravado, e sendo este, referência a futuras novas transações.

Em qualquer cenário, incluindo no *blockchain*, o consenso tem como função a aplicação/-verificação de um conjunto de regras estabelecidas por um conjunto de participantes atuando de forma organizada (MIERS et al., 2019).

Os *blockchains* também são sistemas de armazenamento redundantes e descentralizados. Esta redundância torna difícil sequestrar/roubar as informações armazenadas neles (MIERS et al., 2019).

Sempre que um novo bloco é adicionado à versão local do *blockchain* de um nó, este nó passa o bloco para outros em sua lista de nós por meio de protocolos de propagação de mensagens via *broadcast*, como é o caso de mecanismos de fofoca (*gossip*). Já em redes nas quais os nós são conhecidos, pode-se estabelecer um conjunto de nós que ficam responsáveis exatamente pelo repasse de mensagens, como acontece em soluções como a empresa Ripple (MIERS et al., 2019).

Há dois formatos de trocas de mensagens: (TASCA; TESSONE, 2017)

1. **Local:** A troca de mensagens ocorre primeiro entre nós vizinhos, através de um processo de validação local, e posteriormente se propaga pela rede até que o consenso global seja alcançado. Esse tipo de mecanismo também é chamado de “consenso federado”.
2. **Global:** Esse é o tipo mais comum na maioria das implementações de *blockchain*. Neste caso, a comunicação ocorre em uma lista de nós selecionados, conhecidos na rede Bitcoin como nós de *fallback*, os quais são responsáveis por manter uma lista de todos os nós na

rede. Na conexão de um novo nó, os nós de *fallback* enviam uma lista de nós escolhidos aleatoriamente para o participante. A topologia de rede resultante carece de um conceito de proximidade ou vizinhança local.

2.4.6 Mineração dos Blocos

A mineração, de forma simplificada, nada mais é do que uma resolução de um problema matemático, onde o objetivo é descobrir o número do valor do nonce correspondente do bloco de transação, e conseqüentemente, saber qual é chave *hash* pertence a mesma, sendo a ***Prova de Trabalho*** o mecanismo ao qual é utilizado para a descoberta de ambos desafios matemáticos. O processo consiste em pegar as transações pendentes, verificar se são criptograficamente precisas e empacotar em blocos para serem armazenados no *blockchain*.

Para novas transações serem confirmadas, elas precisam ser incluídas em uma cadeia de blocos (*chain*), juntamente com uma ***Prova de Trabalho*** pelo minerador. Há uma dificuldade quanto a ***Prova de Trabalho*** pois existem vários métodos de cálculos e com o aumento de complexidade tende-se a ter uma necessidade de se trabalhar com um volume muito alto de contas, pois caso haja concorrência pela mineração do mesmo bloco, a recompensa vem para quem terminar antes (BITCOIN.ORG, 2021). À medida que mais pessoas começam a minerar, a dificuldade de encontrar novos blocos válidos é aumentada. Como resultado, a mineração é um negócio altamente competitivo onde nenhum indivíduo minerador pode controlar o que é incluído na *blockchain*.

Qualquer pessoa pode se tornar um mineiro e entrar e sair do ramo a hora que bem entender. Como existem milhares de aplicações do *blockchain*, cada segmento determina como será recompensado a sua prova de trabalho bem como seus valores de recompensa pelo pelos serviços prestados.

A geração de um bloco requer trabalho computacional intensivo (ou poder de *hash*) devido à dificuldade definida pelo protocolo. Este nível de dificuldade é proporcional à quantidade total de poder computacional (também conhecido como *hashrate* total da rede) (ETHHUB.IO, 2021).

Como as chances de processamento e sucesso quanto a mineração se reduzem a medida em que seu poder computacional é baixo, surgiu em novembro de 2010 as chamadas *Pool de mineração* pelo grupo Slush (SLUSH, 2021). O motivo alegado foi que quando as pessoas começaram a usar computadores com GPU (*Graphics Processing Unit*), a mineração se tornou muito difícil para

outras pessoas que utilizavam somente CPU (*Central Processing Unit*), fazendo com que levasse semanas para achar um bloco válido para minerar (GUIADOBITCOIN.COM.BR, 2021).

A *Pool* de mineração nada mais é que a associação de alguns mineradores em combinar seus poderes de *hash* (*hashrate*) e assim dividir entre os seus pares as recompensas oriundas desta coletividade.

2.4.7 Algoritmos de consenso

Em 2011 foi introduzido no fórum *Bitcointalk* para resolver os problemas gerados pelo *Proof of Work* - Pow (prova de trabalho) O algoritmo de consenso de *Proof of Stake* - PoS ou prova de participação em português (BASTIANI, 2019).

O algoritmo de *Proof of Stake* usa um processo de eleição pseudoaleatória para selecionar um nó (*node*) para ser o validador do próximo bloco, com base em uma combinação de fatores que podem incluir a idade da participação, a randomização e a riqueza do nó (BASTIANI, 2019).

No sistema de prova de participação, os blocos são “construídos” e não minerados. os blocos que usam o *Proof of Stake* geralmente começam de blocos já existentes ou são iniciadas com o algoritmo de *Proof of Work* e depois passam para a prova de participação - PoS (BASTIANI, 2019).

Nos sistemas baseados em *Proof of Work*, muitas criptomoedas são criadas como recompensas para os mineradores, já no sistema de *Proof of Stake*, geralmente usam-se taxas de transação como recompensa. *Nonce* é definido um número aleatório usado apenas uma vez. No caso do Bitcoin, esse número é um número inteiro; portanto, pode haver qualquer número entre 0 e 4294967296 (BASTIANI, 2022). *Hash* é um algoritmo o que converte qualquer sequência de caracteres em uma sequência de 64 caracteres ou números (BASTIANI, 2022).

Segundo Amanda Bastiani (BASTIANI, 2019) os usuários que desejam participar do processo de construção de blocos precisam bloquear uma certa quantidade de moedas na rede como sua participação (*stake*). O tamanho da participação determina as chances de um nó ser selecionado como o próximo validador a construir o próximo bloco – quanto maior a participação, maiores as chances. Para que o processo não privilegie apenas os nós mais ricos da rede, métodos mais exclusivos são adicionados ao processo de seleção. Os dois métodos mais comumente usados são “seleção aleatória de blocos” e “seleção de idade da moeda”.

No método de seleção aleatória de blocos, os validadores são selecionados procurando nós com uma combinação do menor valor de *hash* e da maior participação e, como o tamanho das participações é público, o próximo construtor geralmente pode ser previsto por outros nós (BASTIANI, 2019).

O método de seleção de idade da moeda escolhe nós com base em quanto tempo seus tokens foram usados como participação. A idade da moeda é calculada multiplicando o número de dias em que as moedas foram mantidas como participação pelo número de moedas participando. Depois que um nó constrói um bloco, sua idade da moeda é redefinida para zero e eles devem esperar um certo período de tempo para poderem construir outro bloco, fazendo com que impeça o surgimento de grandes nós de participação dominarem a mineração, como é o caso do *Proof of Work* (BASTIANI, 2019).

Existem outros algoritmos de prova que são (EKLUND; BECK, 2019):

1. **prova de tempo decorrido (PoET):** A Hyperledger é um consórcio *blockchain* da Linux Foundation e usa como mecanismo de consenso a Prova de Tempo Decorrido (PoET). No Hyperledger Fabric, o consenso é alcançado pela eleição de um nó líder que coordena a transmissão dos blocos a serem atualizados para todos os nós participantes de consenso da rede. Em seguida, eles respondem com um *hashcode* ao líder, que precisa garantir que mais de 2/3 dos nós de consenso concordem com o mesmo *hashcode* antes que a atualização do *blockchain* seja confirmada. Este é um mecanismo de consenso para redes de *blockchain* permitidas, onde qualquer participante em potencial deve se identificar antes de ingressar na rede. No PoET, cada nó tem a mesma probabilidade de ser um validador e o PoET distribui a validação de forma justa entre os participantes da rede. Cada validador deve esperar um período de tempo escolhido aleatoriamente, e o primeiro a completar o tempo de espera designado ganha direitos de validação. O conceito PoET foi inventado no início de 2016 e faz parte das Extensões Secure Guard da Intel. A dependência da plataforma Intel para os validadores limita sua relevância aos sistemas DLT permitidos.
2. **Tolerância prática a falhas bizantinas (PBFT):** *Multichain* usa uma variante do *Practical Byzantine Fault Tolerance* (PBFT) semelhante ao *Hyperledger Fabric*, exceto que apenas um único nó é selecionado para computar a atualização do *blockchain* e esses nós são seleti-

onados de forma *round-robin* ou *polled*, dependendo da participação histórica do validador na criação de blocos no *blockchain*. O objetivo é manter a 'validação da diversidade'. Um validador é selecionado de forma determinística, mas com base na sequência de blocos historicamente criados por eles no *blockchain*, o que, em termos práticos, torna impossível para qualquer um dos mineiros antecipar a seleção e, ao fazer isso, torna-se impossível enganar o sistema ao tomar preventivamente o controle de um mineiro aleatório.

3. **Protocolos de votação baseados em tempo:** *Quorem* ainda usa outra variação de consenso para seu sistema DLT (acrônimo para *Digital Line Tape*). No *QuoremChain*, um protocolo de votação baseado em tempo é implementado. Os nós na rede deixam de ser exclusivamente eleitores ou criadores. Os eleitores elegem o bloco principal por maioria e uma vez que haja consenso sobre o bloco, os nós fabricantes assinam o bloco. O particionamento dos nós de consenso em funções não sobrepostas e a alocação variável no tempo das funções de eleitor / criador significam que seria necessária uma coordenação massiva na rede entre os nós de consenso a fim de enganar ou adulterar a rede. O *Tendermint* é composto por dois protocolos, um protocolo de rede ponto a ponto que garante que apenas os nós ativos serão obrigados a participar do consenso e um algoritmo de consenso que atribui um voto ou uma aposta. *Tendermint* pesquisa por meio de proponentes de bloco ou validadores de bloco. Os validadores com mais participação têm maior probabilidade de serem eleitos como líderes. Uma vez que um validador é escolhido, o protocolo procede de maneira semelhante ao PBFT descrito anteriormente.
4. **Protocolos de Consenso de Líderes:** O *blockchain Red Belly* usa um protocolo de consenso baseado em líder, na noção de épocas em que os líderes são selecionados para propor valores de bloqueio e o consenso é limitado no tempo. Isso é chamado de Tolerante a Falhas Bizantinas Democráticas (DBFT), em que um líder propõe um valor v que é *multicast* para todos os nós funcionais da rede. O líder então participa do consenso binário com cada nó respondente até que haja uma maioria de acordo ou, se não houver, o tempo do processo se esgota e um novo líder e época são selecionados. O efeito é uma ênfase geográfica no consenso, já que o consenso é feito entre os nós com latência mais baixa que podem ser alcançados primeiro, o consenso é efetivamente assíncrono neste modelo.

No NEO, o consenso funciona da seguinte maneira. Qualquer um que possua NEO pode votar em um delegado (os delegados são chamados de nós contábeis). A maioria dos detentores de NEO são nós comuns que apenas transferem ou trocam ativos. Delegados representam nós de validação. Eles verificam cada bloco - gerado pelos nós comuns - escrito no *blockchain*. Para se tornar um delegado, certos requisitos devem ser atendidos, equipamentos especiais, conexões dedicadas à Internet e uma certa quantidade de GAS (o token NEO) são esperados. Quando chega a hora de validar um bloco, ele é atribuído aleatoriamente a um delegado do pool de delegados. O delegado selecionado propõe um bloco e sua chave hash. Os delegados não selecionados decidem se o bloco e sua chave hash correspondem aos seus e conferem com os outros delegados para verificar a exatidão. Se 66 por cento dos delegados concordarem que o bloco proposto e a chave de *hash* estão corretos, o bloco será adicionado.

2.5 Aplicações do Blockchain

O *blockchain* é o mecanismo central das criptomoedas, contratos inteligentes (*smart contract*), aplicativos descentralizados (dApp) e registro autenticados (NFT) (MAGAZINE, 2020b).

Uma desvantagem significativa de um *blockchain* em comparação com outros tipos de Estruturas de Dados é que essa configuração distribuída requer potencial computação constante de várias fontes diferentes para se manter atualizada (MAGAZINE, 2020a). Esta mesma desvantagem é que movimenta a mineração para manter em ordem todo o sistema, pois o custo computacional é tamanho para atualizar toda a rede de dados distribuídas que é mais vantajoso e mais rentável trabalhar para preservar e acrescentar blocos validados no blockchain do que trabalhar em pro da alteração todos os pontos na vasta rede de *blockchain* com sequenciais de transações e valores falsos.

A popularização do *blockchain* se deu no uso da moeda eletrônica (criptomoedas). A definição de uma moeda eletrônica como o bitcoin, ether, entre outros, se dá a uma cadeia de assinaturas digitais.

O dos maiores exemplar desse ramo é o Bitcoin, que pode ser considerado como a primeira grande criptomoeda que desfrutou de uma enorme relevância ao passar dos anos de sua existência.

O protocolo *blockchain* fez com que surgisse outros derivados, como o protocolo *Ethereum*. O *Ethereum* é um projeto de código aberto que foi desenvolvido em dezembro de 2013 pelo Russo-Canadense Vitalik Buterin, sendo implementações nas linguagens Go (linguagem da plataforma do Google) e C++, onde fevereiro de 2014 foi liberada para o público.

Além do uso para criptomoedas, *Ethereum* se destaca nos contratos inteligentes (smart contract), e como é de código aberto, outras funcionalidades vêm surgindo como as aplicações descentralizadas (dApps), e o NFT- *Non-fungible Token* (Token não-fungível) e também há projetos para transformar a internet da qual conhecemos hoje para uma nova versão Web3 (WACKEROW, 2021). A Web3 se daria com a utilização das dApp (aplicativos descentralizados) do qual seria executado no *blockchain*. As vantagens seriam mais liberdade e rigidez, uma vez que não teria um servidor para cada tipo de serviço, já que seria descentralizado. A desvantagem desse sistema seria a transações mais lentas na web3, como um pagamento, precisaria ser processada por um minerador e propagada por toda a rede, causando lentidão.

Outro setor que o protocolo *Ethereum* vem contribuindo é a descentralização financeira ("DeFi" ou "Finanças abertas") que vai muito além da tradicional carteira para transações de criptomoedas. A proposta é de empréstimos ponto a ponto, sem intermédio de bancos e a juros negociados pelas duas partes envolvidas (SCHOOL, 2021). DeFi se propõe a transformar antigos produtos financeiros em protocolos transparentes e sem intermediários. Também há a possibilidade de criar contratos para usos como votação, crowdfunding (financiamento coletivo), leilões cegos e carteiras com as mais variadas assinaturas.

3 PROPOSTA DE APLICAÇÃO

3.1 Estrutura de Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

O projeto MDL deve ser claro quanto a mensuração, a quantificação e a manutenção da redução de emissões durante todo seu período de tempo de execução (RIBEIRO, 2007). As etapas para a elaboração e aprovação são:

- **Elaboração do documento de Concepção do Projeto - DCP (*Project Design Document* - *PDD*):** Compreende esse requisito as descrições da metodologia da linha de base e as metodologias para os cálculos da proposta em reduzir as emissões de gases de efeito estufa, estabelecimento quanto aos limites das atividades de projeto e para o cálculo das fugas, devidamente escrito as atividades de projeto e dos respectivos participantes. Deve-se também definir a linha base (*Baseline*) do projeto do qual refere-se a descrição do cenários das emissões sem o projeto e o cenário após implementação.
- **Validação:** Processo de avaliação independente de uma atividade de MDL por uma Entidade Operacional Designada (EOD).
- **Registro:** Aceitação formal por parte do Comitê Executivo do projeto validado como um projeto MDL, servindo como pré-requisito para a verificação, certificação e promulgação dos certificados deste projeto.
- **Monitoramento:** Esboço do projeto contendo o plano de monitoramento, seguido de um plano estabelecendo os relatos que serão submetidos à EOD.
- **Verificação:** Revisão independente, periódica e posterior de um projeto de MDL pela EOD. Serão avaliadas as reduções monitoradas das emissões antrópicas de gases de efeito estufa.
- **Certificação:** Emitido pelo EOD por escrito ao qual o projeto atendeu todos os requisitos anterior de verificação.
- **Emissão de certificado:** Emitido pelo EOD, sob autorização do comitê Executivo. Ocorre quando o projeto deve ser verificado e certificado e está afirmado que a atividade de MDL estão dentro dos conformes certificados e seguiu corretamente o procedimento e monitoração, acordado entre o EOD e as partes interessadas.

3.2 Projeto de quantificação de carbono - Modelo Fitogeográfico da Bacia do Rio Grande

A estrutura do projeto de crédito de carbono desta monografia se baseia no Projeto Modelo Fitogeográfico da Bacia do Rio Grande. Neste projeto, encontramos boas práticas quanto a estrutura (escopo) do qual serão adotadas ao longo do desenvolvimento da modelagem do *blockchain*. Foram divididos em 4 categorias distintas entre si.

O modelo do projeto de estocagem de carbono está classificado no **Sistemas Voluntario**, onde a negociação entre os pares pela busca da compensação dos Gases de Efeito Estufa (GEE) não é de obrigação de políticas públicas e não entra na contagem de redução de gases de efeito estufa.

O objetivo desse projeto é a emissão de certificação através das seguintes cadeias de validação de dados para quantificação de estoque de carbono. A cadeia se dá pelas transações de documento descritas nas 4 categorias à seguir:

3.2.1 Categoria 1 - Comprovação de Propriedade/posse

Neste escopo da certificação, referente aos documentos que possam ser utilizados para validar que a propriedade de fato se encontra registrada sob posse ou domínio do cliente (No caso a pessoa que solicita a certificação). Além disso possibilita a verificação da legalidade da propriedade enquanto à recolhimento de impostos e/ou questões jurídicas diversas.

Os documentos solicitados são:

- **Título de Propriedade:** Emitido pelo cartório de Registro de Imóveis, definido por Lei n.º 6.015/73. Título de propriedade é o nome dado a um tipo específico de título, cuja finalidade central é certificar investimentos que criam uma obrigação entre investidor e emitente, de modo que o primeiro se torna proprietário de parte do empreendimento do segundo (RETORNO, 2020).
- **Certidão de Matrícula:** Emitido pelo cartório de Registro de Imóveis. É uma cópia atualizada das informações do imóvel, utilizada para fins de comprovação dos dados e da propriedade do imóvel e solicitada, por exemplo para realizar contratos de financiamento e elaborar escrituras (RI3, 2022).

- **Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR):** O CCIR constitui a prova do cadastro do imóvel rural no Sistema nacional de Cadastro Rural (SNCR). É indispensável para desmembrar, arrendar, hipotecar, vender ou prometer em venda o imóvel rural e para a homologação de partilha amigável ou judicial (CEFIS, 2022).
- **Declaração de Imposto Territorial Rural:** Esse documento é a comprovação do pagamento de impostos sobre a propriedade que virá a ser feito o trabalho. Através da Instrução Normativa RFB nº 1.715, de 06 de Julho de 2017, a Secretaria da Receita Federal dispôs o prazo, a forma e o procedimento para entrega da DITR (Declaração do Imposto sobre a Propriedade Rural) do exercício 2017, requisito obrigatório para manter devidamente regularizada a propriedade rural (BORTOLOTTI, 2022).

3.2.2 Categoria 2 - Acreditação da propriedade

Nesta segunda parte do escopo da certificação, trata-se dos documentos que comprovem que a propriedade onde está sendo feito o levantamento realmente exista.

Os documentos solicitados são:

- **Cadastro Ambiental Rural (CAR):** Emitido pelo Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural, definido por Lei n.º 6.015/73. É um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais referentes às Áreas de Preservação Permanente - APP, de uso restrito, de Reserva Legal, de remanescentes de florestas e demais formas de vegetação nativa, e das áreas consolidadas, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (CAR, 2022).
- **Arquivos comprobatórios geospaciais:** Shapes com os limites da **Área do Imóvel, Área de Preservação Permanente e Reserva Legal.**

3.2.3 Categoria 3 - Acreditação da floresta

Os documentos solicitados são:

- **Arquivos comprobatórios geoespaciais:** Shapes com os **limites da Cobertura do solo** e os **limites da floresta**. Importante salientar que dentro do shape de cobertura do solo estão os limites é área das diferentes classes de uso do solo que são a) Remanescente de vegetação nativa (passivas de gerarem créditos pela conservação/pagamentos por serviços ambientais), b) Área antrópica consolidada;
- **ART do profissional responsável**

Para os casos em que a área do crédito de carbono for uma Unidade de Conservação, temos o acréscimo dos seguintes documentos:

- **Decreto de Criação da Unidade de Conservação:** Atualmente, a criação de unidades de conservação (UC) no Brasil é pautada nas metas da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), que estabelece que 10% da área de cada bioma brasileiro deverá ser protegido até o ano de 2010.
- **Plano de Manejo da Área:** É o principal instrumento de gestão das Unidades de Conservação, no qual constam a caracterização da unidade, o zoneamento com as respectivas normas e os programas de gestão. Também está contido no plano.

ART do profissional responsável pela elaboração do Plano de Manejo para UC: A ART de Obra e Serviço específica para o documento Plano de Manejo deve ser emitida na existência de contrato escrito ou verbal de prestação de serviço, assim, se a empresa contratar uma terceira para elaborar ou para monitorar a execução do Plano de Manejo.

Limite das unidades de conservação (UC): Para UC, o projeto pode ser feito tanto para áreas remanescentes que não sejam unidades de conservação (qualquer remanescente florestal não protegido por lei específica), quanto para UC desde que privadas.

3.2.4 Categoria 4 - Levantamento do Estoque de Carbono

Refere-se aos documentos que são necessários para comprovar que o levantamento do estoque de carbono realmente foi realizado no qual está acreditando.

Os documentos solicitados são:

- **Planilhas de campo contendo os dados coletados na fase de Inventário Floresta.**

- **Planilhas contendo os cálculos para estimativa do estoque de carbono.**
- **Relatório detalhado do Inventário para quantificação de Carbono.**
- **ART do profissional responsável pelo inventário.**
- **Resultados laboratoriais de quantificação de carbono.**
- **Arquivo com dados de localização geográfica das parcelas amostrais.**

3.3 Modelo do blockchain para projetos de crédito de carbono

A análise do uso do *blockchain* tem como objetivo solucionar as demandas de transparência, rastreabilidade das informações e confiabilidade em um projeto de crédito de carbono descritivo no decorrer do texto. Essa proposta é um modelo que utiliza *Smart Contracts* (Contrato Inteligente) na *blockchain* como uma ferramenta que permite o fornecimento rastreabilidade através de sua estrutura de formação ao qual o *blockchain* foi projetada.

No Modelo Fitogeográfico da Bacia do Rio Grande, o projeto de crédito de carbono tem uma uniformidade quanto aos documentos necessários para sua comprovação/execução, sendo essas certidões, declarações impressas à arquivos digitalizados.

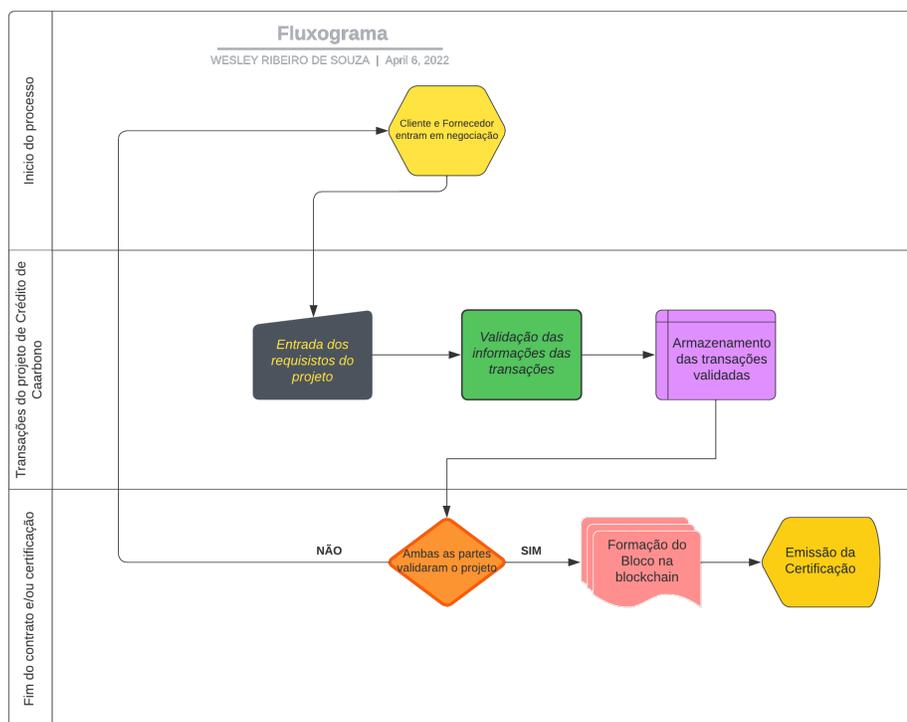
Propor que o projeto seja aderido ao *blockchain*, mais precisamente ao Contrato Inteligente, é padronizar digitalmente todo lastro do que diz respeito aos processos e a garantia de que seus dados não serão alterados.

Nesta análise, o uso do Contrato Inteligente com um algoritmos específico, deverá garantir a responsabilidade pela elaboração e desenvolvimento do documento de concepção do projeto, monitoramento de que os requisitos serão incrementados, monitoramento das transações entre os autores, dos quais orbitam entre o Contratante e o Fornecedor do serviço e garantir o cumprimento da execução de todo o projeto. Os atores farão parte do sistema sendo responsáveis pelas transações dos documentos em que cada entidades tem como responsabilidade, criando o ambiente descentralizado que permite as validações e tomadas de decisão dentro da *blockchain*. A validação das informações prestadas deverá ser de total responsabilidades do Contratante, uma vez que o escopo do projeto se refere a vários documentos.

Como exemplo de um modelo pela Figura 3.1 não tem o objetivo de especificar uma plataforma de *blockchain* a ser utilizada, mas é importante ressaltar que, para uma implementação eficiente da proposta, deve ser utilizada uma plataforma que permita a equalidades das cargas de dados de nós completos para ambos atores, através da construção de DApps (*Decentralized Apps* ou Aplicativos Descentralizados) específicos para cada caso.

Ao fim de toda análise, o modelo deverá servir como certificação de todo tramite, veracidade e ter rastreabilidade fornecida pela estrutura *blockchain* aos quais o projeto de crédito de carbono necessita como pré requisito. A seguir na Figura 3.1, ilustramos o fluxograma do processo de execução do Contrato Inteligente.

Figura 3.1 – Fluxograma do processo de execução do Contrato Inteligente



Fonte: do Autor

No decorrer do texto, na Figura 3.2 será detalhado como os atores poderiam realizar as interações com a rede de *blockchain* proposta e qual o papel e as funções do contrato inteligente.

3.3.1 Definição dos atores para o Smart Contract

Tendo em mente como base para modelagem a rede descentralizada dos sistemas de *blockchain*, é possível observar uma tendência à aplicação da tecnologia no contexto no projeto de crédito de carbono. Os atores que orbitam o projeto podem se relacionar diretamente, aplicando às arquiteturas descentralizadas, transferindo o poder de decisão e validação para todos os envolvidos, assim conferindo transparência e confiabilidade no processo, apesar do agente público ter papel fundamental na validação de todas as informações, por deter o poder da ordem. A adesão do *blockchain* no setor público não só é atraente a esta aplicação como se faz necessário para a auditabilidade e segurança das informações públicas. Nesse modelo, são definidos como atores projeto de crédito de carbono:

- **Cliente:** Responsável por formalizar os parâmetros e diretrizes em que o contrato devem seguir. Este ator interage com o contrato inteligente transacionando com o **Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono**, através do envio dos Shapes com os limites de **Área do Imóvel, Área de Preservação Permanente e Reserva Legal**.
- **Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono:** Este ator interage com o contrato inteligente transacionando com o **Cliente, Cartório de Registro, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - (INCRA), Cadastro Ambiental Rural (CAR), Receita Federal** e sendo responsável pela emissão dos documentos e escritura do projeto que compõe o escopo do crédito de carbono, que são:

Shapes com os limites: Área do Imóvel, Área de Preservação Permanente, Reserva Legal, Cobertura do solo, limites da floresta;

Plano de Manejo da Área;

Planilhas de campo contendo os dados coletados na fase de Inventário Florestal;

Cálculos para estimativa do estoque de carbono;

Relatório detalhado do Inventário para quantificação de Carbono;

Declarar o número do ART do profissional responsável pelo inventário;

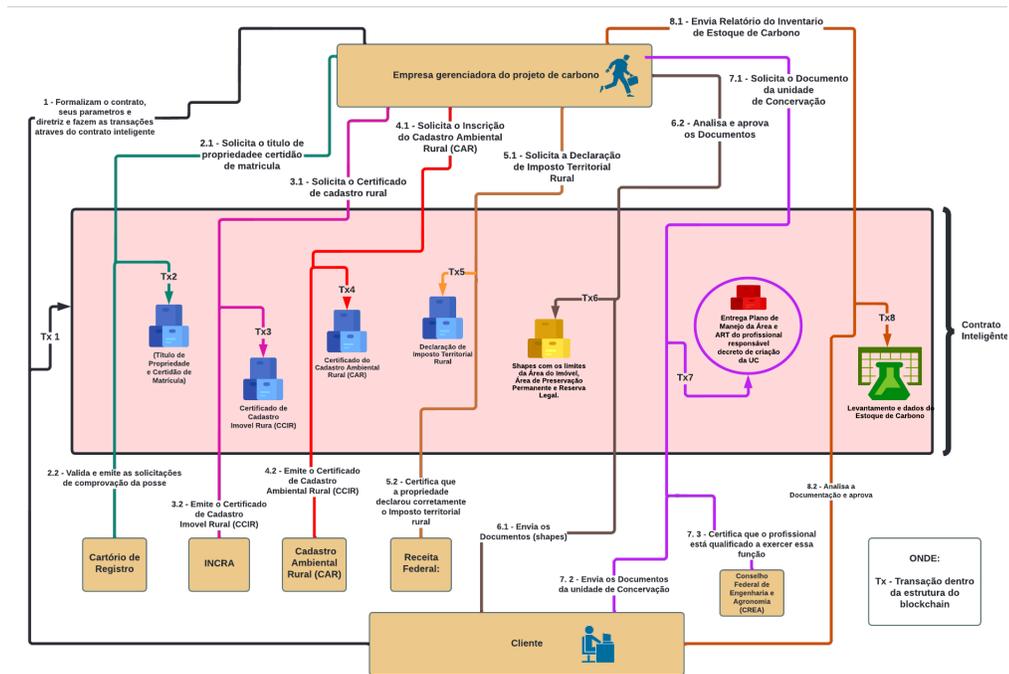
Cópia dos resultados laboratoriais de quantificação de carbono;

Arquivo com dados de localização geográfica das parcelas amostrais;

- **Cartório de Registro** Responsável pela emissão do **Título de Propriedade e Certidão de Matrícula**. Este ator interage com o Contrato Inteligente através do cadastro em seu sistema particular e da emissão do título nomeado pelo requerente **Equipe de gerenciamento do projeto de crédito de carbono**.
- **Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - (INCRA)** Responsável pela emissão do **Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR)**. Este ator interage com o Contrato Inteligente através do cadastro em seu sistema particular e da emissão do certificado nomeado pelo requerente **Equipe de gerenciamento do projeto de crédito de carbono**. É indispensável para desmembrar, arrendar, hipotecar, vender ou prometer em venda o imóvel rural e para a homologação de partilha amigável ou judicial entre **Cliente e Equipe de gerenciamento do projeto de crédito de carbono**.
- **Receita Federal:** Responsável pela emissão da **Declaração de Imposto Territorial Rural (DITR)**. Este ator interage com o Contrato Inteligente **Contratante do projeto de crédito de carbono** através do cadastro em seu sistema particular e da emissão de declaração nomeado pelo **Equipe contratante do projeto de crédito de carbono**.
- **Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar):** Responsável pela emissão da **Declaração do Cadastro Ambiental Rural**. Este ator interage com o **Equipe contratante do projeto de crédito de carbono** através do cadastro em seu sistema particular e da emissão de declaração nomeado pelo requerente.
- **Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CREA):** Responsável pela emissão da **Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)** dos profissionais responsáveis. Este ator interage com o Contrato Inteligente através do cadastro em seu sistema particular e da emissão da identificação da Anotação de Responsabilidade Técnica do profissional responsável e qualificado a exercer a função referente a projetos de florestamento e reflorestamento, bem como os estudos da quantificação de carbono da **Equipe de gerenciamento do projeto de crédito de carbono**.

A seguir na Figura 3.2, temos o relacionamento de atuação e interação de todo projeto de crédito de carbono na estrutura de um contrato inteligente, usando-se as técnicas de blockchain:

Figura 3.2 – Diagrama de relacionamento entre atores do Contrato Inteligente



Fonte: do Autor

Os atores que fazem parte do sistema devem ser registrados individualmente na *blockchain* através do Contrato inteligente.

A partir das estruturas convencionais das redes de *blockchain*, podem existir nós leves e nós completos. No modelo proposto, os atores Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono e Contratante do projeto de crédito de carbono devem ser nós completos, contendo uma cópia completa do banco de registros da *blockchain* e a capacidade de participar da rede como um nó minerador. Os demais atores, apesar de terem permissão de escrita e leitura, cabe a eles um nó leve, contendo apenas um subconjunto do banco completo e atualizando respectivamente com a informação ao qual é de sua responsabilidade.

Neste modelo proposto da Figura 3.2, não tem o objetivo de especificar uma plataforma de *blockchain* a ser utilizada, mas é importante ressaltar que, para uma implementação eficiente da proposta, deve ser utilizada uma plataforma que permita o balanceamento das cargas de dados

de nós leves e completos através da construção de DApps (*Decentralized Apps* ou Aplicativos Descentralizados) específicos para cada caso.

No modelo da Figura 3.2, cada órgão público é responsável pela regulamentação legal de emissões comprobatórias através de Declarações, Certidões e Títulos, sendo atores independente neste sistema, proporcionando assim o aumentando a transparência a confiabilidade das informações prestadas. Entretanto, não há indícios de que tais órgãos estejam dispostos a aderir a tecnologia e a prestação desse serviço voluntariamente, nos levando adotar um segundo modelo de atores, que representa o que já é exercido pela **Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono**, sendo este:

- **Cliente** Responsável por formalizar os parâmetros e diretrizes em que o contrato deve seguir. Este ator interagem com o contrato inteligente transacionando com o **Equipe de gerenciamento do projeto de crédito de carbono** através do envio dos Shapes com os limites de **Área do Imóvel, Área de Preservação Permanente e Reserva Legal**.
- **Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono:** Este ator interage com o contrato inteligente transacionando com o **Cliente** e sendo responsável pelo envio e emissão de documentos que compõe o crédito de carbono, que são:

Shapes com os limites: Área do Imóvel, Área de Preservação Permanente, Reserva Legal, Cobertura do solo, limites da floresta:

Envio do Título de Propriedade e Certidão de Matrícula.

Envio do Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR)

Envio do Declaração de Imposto Territorial Rural (DITR).

Envio da Declaração do Cadastro Ambiental Rural.

Contratar profissional com ART com Responsabilidade Técnica de profissional responsável e qualificado à exercer a função do qual referente a projetos de florestamento e reflorestamento.

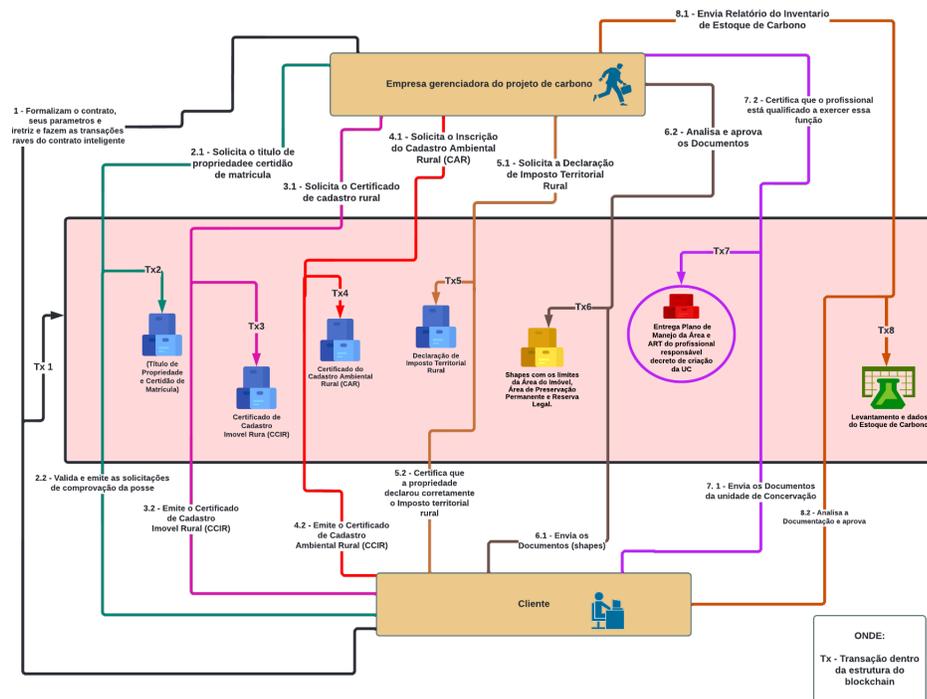
Plano de Manejo da Área;

Planilhas de campo contendo os dados coletados na fase de Inventário Florestal;

- Cálculos para estimativa do estoque de carbono;
- Relatório detalhado do Inventário para quantificação de Carbono;
- Declarar o número do ART do profissional responsável pelo inventário;
- Cópia dos resultados laboratoriais de quantificação de carbono;
- Arquivo com dados de localização geográfica das parcelas amostrais;

A seguir na Figura 3.3, temos o relacionamento de atuação e interação de todo projeto de crédito de carbono na estrutura de um contrato inteligente, usando-se as técnicas de *blockchain*:

Figura 3.3 – Diagrama de relacionamento entre atores sem o setor público estar atuando diretamente do Contrato Inteligente



Fonte: do Autor

Os atores que fazem parte do sistema devem ser registrados individualmente na *blockchain* através do Contrato inteligente.

3.4 Descrição das Transações dos Atores Modelada

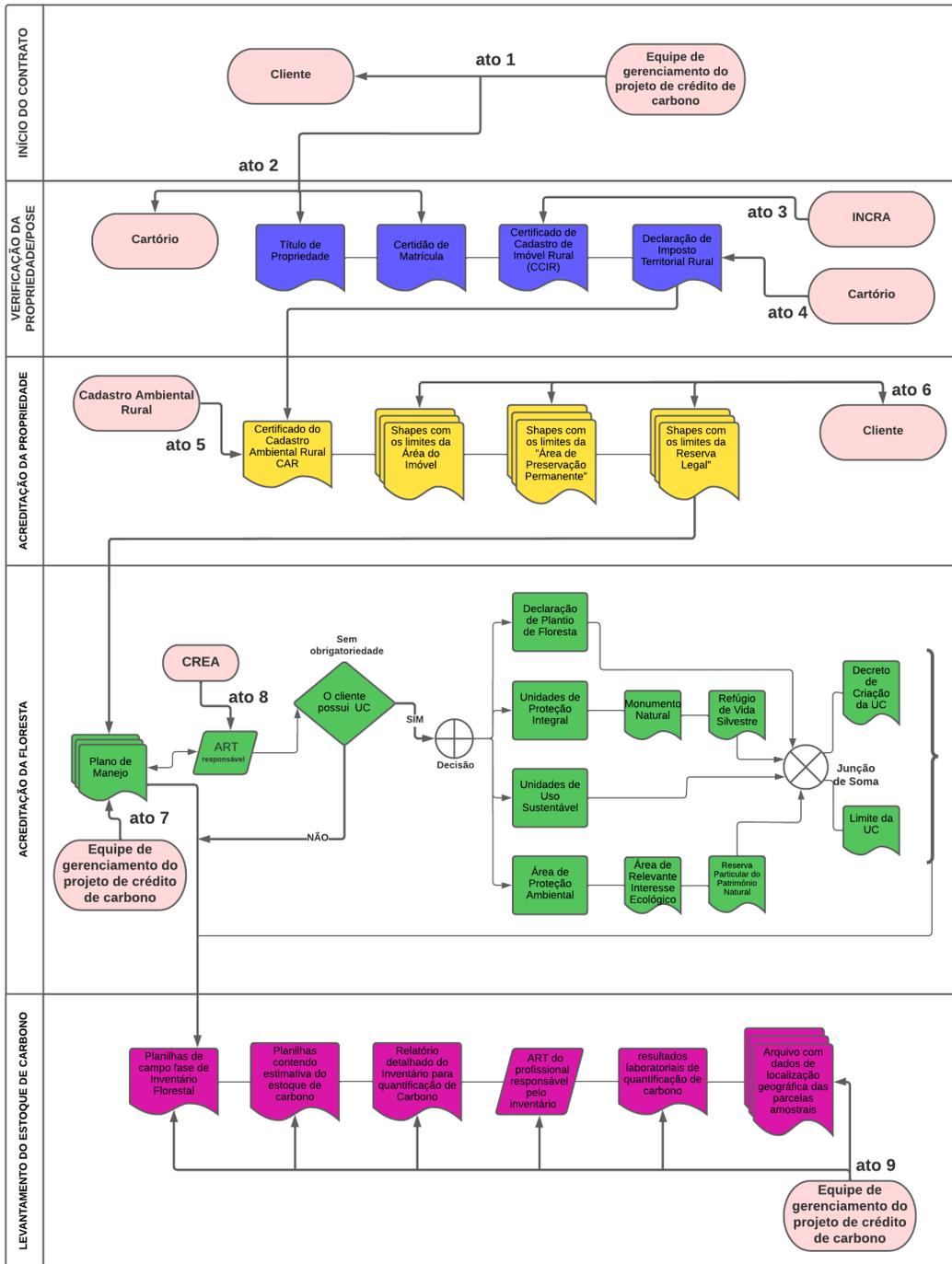
O cenário corresponde a uma Transação entre Atores onde o produto final é o projeto de crédito de carbono. No primeiro nível, denominado como 'Início do Contrato' existe os atores 'Cli-

ente' e a 'Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono', que formalizam o contrato inteligente, denominado a ação como (*ato 1*) com a elaboração de documento de concepção de projeto. O contrato inteligente pelo (*ato 1*) é estabelecido os parâmetros e diretrizes pelos dois atores e disso, damos sequência as demais transações. Por exemplo, cliente e equipe acertam o tamanho da área que será aplicado o projeto de crédito de carbono, se há unidade de conservação e/ou se pretende ter, etc. A transação segue para o segundo nível da imagem, nomeado por 'verificação da propriedade' e marcado como (*ato 2*), onde o 'Cliente' tem o papel de enviar os 'títulos de Propriedade', 'Certidão de Matrícula'. Em sequência, temos o ator 'INCRA' do qual tem o papel de emitir certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR) para que este documento seja inserido na transação do contrato Inteligente no (*ato 3*). O (*ato 4*), temos a atuação de 'Cartório', sendo este responsável por validar e emitir a 'Declaração de Imposto Territorial Rural' para que este documento seja inserido na transação do contrato Inteligente. A transação segue para o terceiro nível da imagem, nomeado por 'Acreditação da Propriedade' e neste se encontra o (*ato 5*), onde o ator 'Cadastro Ambiental Rural' tem o papel de enviar os documentos 'Certificado do Cadastro Ambiental rural'. Em sequência, temos o (*ato 6*) onde o ator 'Cliente' tem o dever de apresentar os documentos 'Shape com os limites de Área do imóvel', 'Shape com os limites da Área de Preservação Permanente' e 'Shape com os limites da Reserva Legal'. A transação segue para o quarto nível da imagem, nomeado por 'Acreditação da Floresta', onde a 'Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono' tem o papel de enviar os 'Plano de Manejo', demonstrado no (*ato 7*), tendo em sequência, (*ato 8*), a certificação que o profissional responsável e qualificado atende as exigências da função, atribuídas a ele do 'Plano de Manejo' no (*ato 8*). Há uma transação ao qual pode ou não vir a fazer parte do projeto de crédito de carbono, do qual chamamos de 'O cliente tem UC' se verifica a existência ou o desejo do 'Cliente' em ter ou possuir uma **Unidade de Conservação**, do qual se subdivide em quatro categorias distintas e somadas a dois documentos no final dessa classificação. A transação segue para o quarto nível da imagem, nomeado por 'Levantamento do Sequestro de Carbono', onde temos o (*ato 8*), do qual o ator 'Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono' tem o dever de emitir os documentos 'Planilha de Campo Fase de Inventário', 'Planilha contendo estimativa de Estoque de Carbono', 'Relatório detalhado do Inventário para quantificação de carbono', 'ART do profissional responsável pelo Inventário', 'Resultados laboratoriais de

Quantificação de carbono' e 'Arquivo com localização geográfica das parcelas amostrais', dando fim a todo processo.

Para facilitar o entendimento da descrição dos atores e dos atos por estes cometidos, a Figura 3.4 apresenta o cenário ilustrado, no qual retângulos com bordas arredondadas representam os atores, losango representam tomada de decisão, retângulos com borda de base onduladas os arquivos contidos no contrato inteligente, círculo com cruz é a representação da ação decisão e círculo com "X "representa ação de soma.

Figura 3.4 – Diagrama de relacionamento entre atores no Contrato Inteligente



Fonte: do Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da proposta

Como base de avaliação e/ou validação em analisar ao uso do *blockchain* em projetos de estocagem de carbono de florestamento e reflorestamento, traremos o artigo (PEDERSEN; RISIUS; BECK, 2019), onde estes debatem e descrevem os passos de 10 perguntas, sendo esse 3 de requisito fraco (não necessariamente deve se atender) e 7 de requisito forte (para que o *blockchain* deva ser usado, se faz necessário o atendimento ao requisito proposto). Como esses caminhos de decisão descritas nesse artigo, podemos e temos condições de desenvolver um modelo base para implementações futuras em uma *blockchain*.

4.2 Especificação dos métodos de avaliação

O artigo *A Ten-Step Decision Path to Determine When to Use Blockchain Technologies* (PEDERSEN; RISIUS; BECK, 2019) traz às seguintes propostas como avaliação/validação quanto ao uso do *blockchain*, que são:

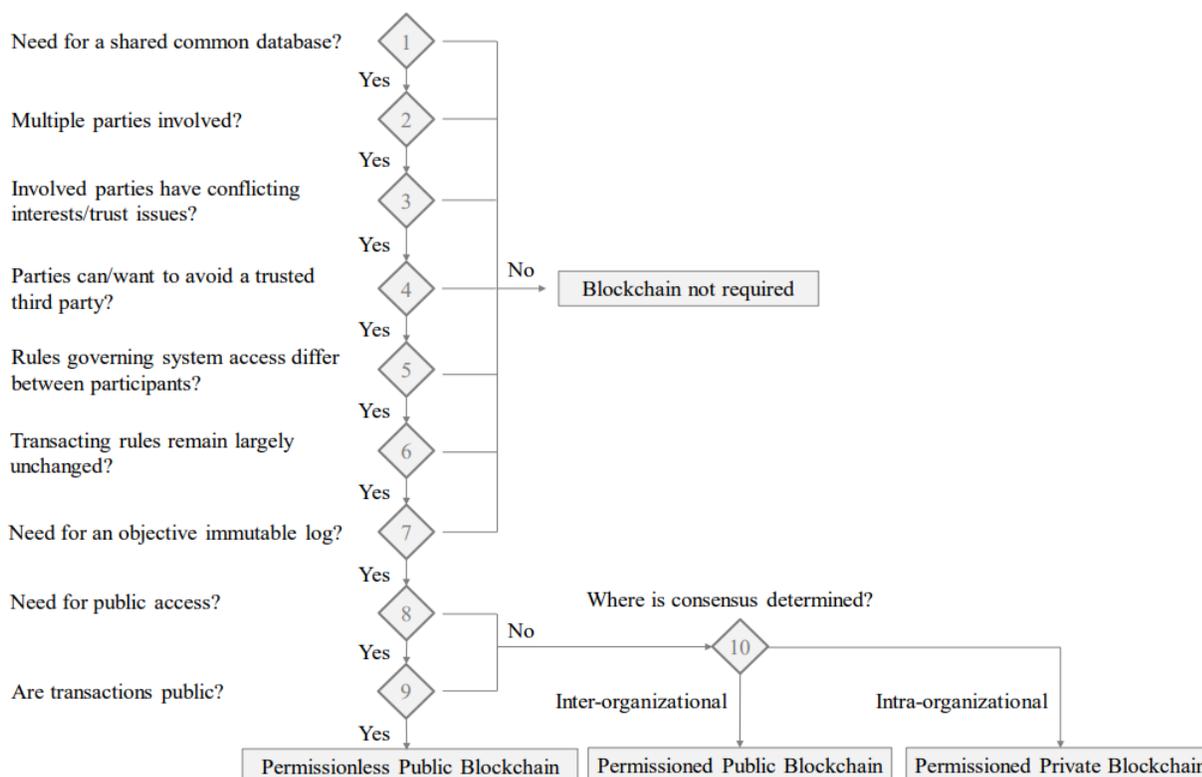
1. Há necessidade de um banco de dados comum e compartilhado?
2. Existe muitas partes envolvidas em torno do projeto?
3. As partes envolvidas têm interesses conflitantes e/ou problemas com confiança?
4. As partes podem e/ou querem evitar um terceiro agente confiável envolvido no projeto?
5. As regras que regem o acesso ao sistema diferem entre os participantes?
6. As regras de transação permanecem praticamente inalteradas?
7. Existe a necessidade de um registro objetivo e imutável?
8. O acesso aos dados deve ser de cunho público e obrigatório?
9. As transações são de cunho público?
10. Onde o consenso para leitura e escrita de transações será determinado?

Tendo listados todos os 10 pontos, vamos debate-los um a um a fim de defender o uso do *blockchain* para o uso em projetos de estoque de carbono de florestamento e reflorestamento.

Do 1º ao 7º, todos os pontos são de requisito forte, ou seja, deve se ter aprovação para o uso do *blockchain*. A partir do 8º ao 10 é requisito fraco, tendo a sua validação ou não atribuído a três mecanismos de consenso que o *blockchain* fara uso (*blockchain* público, híbrido e privado).

A seguir na Figura 4.1, temos o Fluxograma do caminho de decisão para aderir projetos à *blockchain*.

Figura 4.1 – Fluxograma do caminho de decisão para aderir à *blockchain*



Fonte: (PEDERSEN; RISIUS; BECK, 2019)

4.2.1 Há necessidade de um banco de dados comum compartilhado?

Partindo da premissa em que um dos requisitos do projeto de crédito de carbono é a auditabilidade, os dados neles contido podem e devem ser compartilhado entre as partes envolvidas (*stakeholders*) (FILHO, 2017). Portanto, o *blockchain* atende este requisito tanto na transparência

quanto à segurança das informações devido a sua estrutura de funcionamento, assim, atendendo a este requisito de avaliação.

4.2.2 Existe muitas partes envolvidas em torno do projeto?

Além das duas partes que hoje faz parte do projeto de crédito de carbono, sendo essas a Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono e os Cliente do estoque para compensação de emissão, há diferentes órgãos públicos indiretamente envolvidos na criação de projeto de estoque de carbono. A fim de integralizar todas as partes envolvidas em um só sistemas de estrutura de comunicação, julgo ser necessário para a auditabilidade de todos os órgãos o uso do *blockchain* como ponto confiável de todos, mantendo a integridade e autonomia de cada órgão e assim, atendendo a este requisito de avaliação.

4.2.3 As partes envolvidas têm interesses conflitantes e/ou problemas com confiança?

O conflito se dá na veracidade e confiança entre todos os órgãos envolvidos por manter a ordem e a integridade em que informações contidas no projeto necessitam. Estas informações devem ser de cunho verídico e que não haja alterações futuras, a fim de qualquer que seja os atores, usar de benefício o método de alterar e/ou remover dados, sendo esses atos uma trapaça que comprometa todo projeto de estoque de carbono e assim, atendendo a este requisito de avaliação.

Tendo como base a segurança do *blockchain* e seu histórico de agir em meio a ambiente hostil de desconfiança, o uso da estrutura de dados quanto ao projeto de crédito de carbono se faz, além de válido, necessário.

4.2.4 As partes podem e/ou querem evitar um terceiro agente confiável envolvido no projeto?

Partindo do pressuposto de que a criação de um órgão regulatório de frente pública está longe de se concretizar, devido a todos os tramites legais, a confiança ao qual o *blockchain* oferece as duas partes envolvidas no atual cenário onde ocorre o projeto de estoque de carbono, mesmo que nesse caso há necessidade de outros órgãos como peça chave para o parecer legal, o uso do *blockchain* se faz útil como parte regulatória e confiável, e ao mesmo tempo, é uma estrutura au-

ditável e de difícil alteração por qualquer parte envolvida. Sendo assim, atendendo a este requisito de avaliação.

4.2.5 As regras que regem o acesso ao sistema diferem entre os participantes?

Segundo o texto no artigo (PEDERSEN; RISIUS; BECK, 2019) este tema trata-se de se todos os participantes têm ou não os mesmos direitos de acesso ao banco de dados quanto a leitura e escrita. Como a maior parte de quem oferece o projeto de crédito de carbono é destinado a Equipe do gerenciamento do projeto de crédito de carbono) acaba sendo soberana quanto à escrita, cabendo a outra parte envolvida do projeto (Cliente) a função de leitura como majoritária. Pode-se afirmar que as regras não são igualitárias e portanto, há a necessidade do uso do *blockchain*. Sendo assim, atende a este requisito de avaliação.

4.2.6 As regras de transação permanecem praticamente inalteradas?

Os parâmetros e práticas em que hoje são seguidos para a execução do projeto de crédito de carbono são baseados nas boas práticas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Como não há regularização jurídica específica para o crédito de carbono até o momento em que esta monografia está sendo escrita, por motivos de tramitação no congresso nacional, pelo Projeto de Lei PL 290/2020. Portanto, há um vácuo quanto ao padrão em que os projetos de natureza voluntária devam seguir, porém, haverá num futuro próximo a regulamentação ao fim desta tramitação, vindo a ter uma prática inalterada por lei até que exista uma necessidade advinda pelo Congresso Nacional. Sendo assim, este requisito da avaliação será atendido.

4.2.7 Existe a necessidade de um registro objetivo e imutável?

Com a adesão do *blockchain* ao projeto de crédito de carbono, além da segurança da informação estar garantida, a auditabilidade das informações ali presentes terá rastro devido como a estrutura do *blockchain* foi projetada, sendo assim, a alteração destas informações está assegurada quanto a fraudes de ambos atores, uma vez que estas informações estarão gravadas e registrada todo seu tramite na *blockchain*. Sendo assim, atende os requisitos desta avaliação

4.2.8 O acesso aos dados deve ser de cunho público e obrigatório?

Por se tratar de uma busca por certificação, o acesso aos dados deve ter resguardo técnico e sua comprovação se dá aos documentos e sua rastreabilidade quanto a verificações de autenticidade. Portanto, entende-se que deva ser de acesso público à todos que assim o desejar.

4.2.9 As transações são cunho público?

Entende-se por transação nesta monografia os vários documentos aos quais devem ser vinculados para comprovação do crédito de carbono, portanto, deve ser de cunho privado somente esses órgãos fazer esta transição afim de terceiros maliciosos não produzir falsos dados e os mesmos entrarem na cadeia de blocos (*blockchain*).

4.2.10 Onde o consenso para leitura e escrita de transações será determinado?

Entende-se que deva ser de âmbito público a validação das transações afim de garantir a auditabilidade da certificação dos projetos de crédito de carbono perante a estrutura do *blockchain*.

4.3 Resultados

Observamos que a aplicação do *blockchain*, tanto pelo artigo (PEDERSEN; RISIUS; BECK, 2019) quanto pela modelagem demonstradas nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 mostram-se evidenciados o atendimento a demandas de transparência e segurança com a adesão das técnicas de *blockchain*, através uma arquitetura de aplicação descentralizada (DApps), sendo no caso do nosso modelo, um Contrato Inteligente.

As Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 ilustram que as transações de documentos podem ser gravadas na estrutura do *blockchain* para registrar todo o processo da coleta de documentos comprobatórios, não somente para a quantificação do carbono, como também a comprovação da existência do local da aplicação do projeto e dos estudos nele feito, bem como a regulamentação perante aos órgãos públicos.

Usando da estrutura *blockchain* como método de registro, e tendo como premissa que seu funcionamento é orientado à uma cadeia mapeada, podemos usar desta cadeia como rastreamento

dos documentos ali presentes a fim de comprovar a sua autenticidade através dos *hash* gerados pelos documentos apresentados, dando a garantia de que não foram alterados em uma futura apuração.

O resultado da análise mostra-se a favor do uso da estrutura do *blockchain* ao crédito de carbono devido às respostas positivas às sete primeiras perguntas do artigo e a classificação final resultou como **uso de blockchain público inter-organizacional**, pelos motivos citados entre a 8ª e 10ª pergunta.

Pode-se, futuramente, implementar uma automatização quanto a análise dos documentos para verificação de conteúdo a fim de ser verificar e validar as transações dentro do contrato inteligente, uma vez que se tenha adotado um padrão referente a quantificação dos estudos levantados ao crédito de carbono, e a adesão do setor público quanto a adequação ao *blockchain*. Até o presente momento ao qual escrevo, não se tem um consenso quanto a estes requisitos, e por este motivo, não foi adotado para este trabalho, bem como este dificulta a adesão à estrutura.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso da estrutura *blockchian* analisada por esta monografia é viável para a implementação e certificação de projetos de Crédito de Carbono baseado em todo estudo apresentado ao longo desta monografia e demais trabalhos usados como referência.

O trabalho teve como meta propor a análise de usar o *blockchian* à projetos de crédito de carbono a fim de este ser tanto um contrato em uma aplicação descentralizada (DApps), sendo proposto pela modelagem nas Figura 3.2 e 3.3 um *Smart Contract*, e conseqüentemente, vindo a valer como uma certificação das informações ali prestadas, sendo de cunho imutável e auditável.

A proposta do uso do da tecnologia *blockchian* se mostra promissora para as finalidades que se propõe e tem escalabilidade para demais processos em que se faz necessário o uso de técnicas de *blockchian* para certificação quanto a cadeia de produção ou registro de transações de processos.

É importante ressaltar para futuras aplicações deste trabalho a escolha criteriosa ao qual estrutura *blockchian* será implementado, uma vez que o consumo da estrutura tenha elevados índices de consumo energético para a manutenção da sua rede e processos de validação das transações, bem como a formação de seus blocos (mineração).

Contratos inteligentes são códigos de software com regras autoexecutáveis, que podem ou não, traduzir um contrato legal tradicional. Ainda que um contrato inteligente seja usado para representar um contrato “legal”, não se é possível abolir os contratos tradicionais, porque nem todas as disposições de lei podem ser expressas com lógica computacional e porque é impossível a substituição dos contratos tradicionais em que o componente subjetivo é um componente-chave (NADA, a).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. M. P. de. Um modelo baseado em reputação e protocolo de rumores para evitar ataques sybil em redes par-a-par. Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- BACK, A. et al. Hashcash-a denial of service counter-measure. 2002.
- BASTIANI, A. **O que é e como funciona o Proof of Stake?** 2019. Disponível em: <<https://www.criptofacil.com/o-que-e-e-como-funciona-o-proof-of-stake/>>.
- BASTIANI, A. **O que é e como funciona o Proof of Work?** 2022. Disponível em: <<https://www.criptofacil.com/o-que-e-e-como-funciona-o-proof-of-work/>>.
- BENTO, A. P. S.; WOJCIECHOWSKI, J. C.; EVANGELISTA, W. V. Comparação entre métodos analíticos para cubagem de árvores individuais.
- BITCOIN.ORG. **O que é mineração de Bitcoin?** 2021. Disponível em: <https://bitcoin.org/pt_BR/faq#mineracao>.
- BORTOLOTTI, J. **DITR - Declaração do Imposto Sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR).** 2022.
- BRASIL, W. **4 questões essenciais definirão o sucesso da COP26 em Glasgow.** 2021. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/4-questoes-essenciais-definirao-o-sucesso-da-cop26-em-glasgow>>.
- BREIDENICH, C. et al. The kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change. **American Journal of International Law**, Cambridge University Press, v. 92, n. 2, p. 315–331, 1998.
- BUTERIN, V. **Ethereum Whitepaper.** 2013. Disponível em: <<https://ethereum.org/pt-br/whitepaper/>>.
- CAMPOS, C. P. de. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- CAR, C. A. R. O que é o CAR? 2022. Disponível em: <<https://www.car.gov.br/#/sobre>>.
- CEFIS. **CCIR: Certificado de Cadastro do Imóvel Rural?** 2022.
- CHAUM, D. Blind assinaturas para pagamentos não rastreáveis. In: . [S.l.: s.n.], 1983. p. 199–203.
- CHUEN, D. L. K. **Handbook of digital currency.** [S.l.], 2015.
- CORDEIRO, N. G. **ESTOQUE DE CARBONO E O INVENTÁRIO FLORESTAL.** 2019. Disponível em: <<https://www.matanativa.com.br/estoque-de-carbono/>>.
- DAI, W. **b-money.** 1998. Disponível em: <<http://www.weidai.com/bmoney.txt>>.

DWORK, C.; NAOR, M. Pricing via processing or combatting junk mail. In: SPRINGER. **Annual international cryptology conference**. [S.l.], 1992. p. 139–147.

EKLUND, P. W.; BECK, R. Factors that impact blockchain scalability. In: **Proceedings of the 11th international conference on management of digital ecosystems**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 126–133.

ETHHUB.IO. **Mining**. 2021. Disponível em: <<https://docs.ethhub.io/using-ethereum/mining/>>.

FIGUEIREDO, D. D. Fundamentos em blockchain. 2020.

FILHO, H. M. "GUIA SOBRE “MECANISMOS VOLUNTÁRIOS DE COMPENSAÇÃO INDIVIDUAL DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA”". 1. ed. Rio de Janeiro: Agência Duo Design, 2017.

FINNEY, H. **RPOW - Reusable Proofs of Work**. 2004. Disponível em: <<https://nakamotoinstitute.org/finney/rpow/>>.

GUIADOBITCOIN.COM.BR. **A primeira pool de mineração de Bitcoin – A História do Bitcoin parte 13**. 2021. Disponível em: <<https://guiadobitcoin.com.br/primeira-pool-mineracao-bitcoin-historia-bitcoin/>>.

IBGE. **Biomás**. 2022. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/en/component/content/94-7a12/7a12-vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/1465-ecossistemas.html?Itemid=101>>.

LAMPORT LESLIE E SHOSTAK, R. e. P. M. O problema dos generais bizantinos. In: **Concurrency: the Works of Leslie Lamport**. [S.l.: s.n.], 1982. p. 382–401.

MAGAZINE, B. **WHAT IS THE BITCOIN BLOCK SIZE LIMIT?** 2020. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/guides/what-is-the-bitcoin-block-size-limit>>.

MAGAZINE, B. **WHO CREATED BITCOIN?** 2020. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/guides/who-created-bitcoin>>.

MIERS, C. et al. Análise de mecanismos para consenso distribuído aplicados a blockchain. SBC, 2019.

NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. **Decentralized Business Review**, 2008.

OECO. **O que é o Protocolo de Quioto**. 2015. Disponível em: <<https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/28947-o-que-e-o-protocolo-de-quioto>>.

PEDERSEN, A. B.; RISIUS, M.; BECK, R. A ten-step decision path to determine when to use blockchain technologies. **MIS Quarterly Executive**, Indiana University, v. 18, n. 2, p. 99–115, 2019.

PÁSCOA, K. J. V. D. **MODELOS PARA EXPRESSAR A DENSIDADE DA MADEIRA, BIOMASSA E CARBONO DE FLORESTAS NATIVAS EM MINAS GERAIS**. Tese (Doutorado), 2018.

RETORNO, E. M. **Título de Propriedade?** 2020. Disponível em: <<https://maisretorno.com/portal/termos/t/titulo-de-propriedade>>.

RI3, R. de I. **Dúvidas Sobre o Registro de Imóveis?** 2022.

RIBEIRO, G. H. P. d. M. et al. Desenvolvimento de modelos alométricos para estimar biomassa e carbono de mudas de espécies arbóreas, em áreas atingidas por tempestades de vento em manaus (am). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2010.

RIBEIRO, S. C. Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária. Universidade Federal de Viçosa, 2007.

ROCHA, B. G.; ALMEIDA, V.; GUEDES, D. Increasing qos in selfish overlay networks. **IEEE Internet computing**, IEEE, v. 10, n. 3, p. 24–31, 2006.

SARTORI, G. M. P. R. B. S. da Cruz Queiroz; Frederico Dias Pascoal; Luis Carlos da S. S. M. L. M. C. J. Obtenção da densidade básica da madeira de pinus sp. **Seminário de Iniciação científica**, Seminário de Iniciação científica, v. 1, n. 1, p. 1–2, 2018.

SCHOOL, T. **O que é o Ethereum? – Introdução e análise.** 2021. Disponível em: <https://tc.com.br/tc-school/criptomoedas/ethereum-eth?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=6791878774&hsa_cam=14070853808&hsa_grp=&hsa_ad=&hsa_src=x&hsa_tgt=&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQjwjo2JBhCRARIsAFG667XRyL1Cr3B2NKBGkNgFF11rlvQuONzIMm_jXSaXGrB1Of5xF7drY-YaAiI6EALw_wcB>.

SEDJO, R. A. **Forest carbon sequestration: some issues for forest investments.** [S.l.], 2001.

SLUSH. [4+ EH] **Slush Pool (slushpool.com); Overt AsicBoost; World First Mining Pool.** 2021. Disponível em: <<https://bitcointalk.org/index.php?topic=1976.0>>.

SOUZA, M. **Projeto define metas para reduzir emissão de CO2 por termelétricas.** 2020.

TASCA, P.; TESSONE, C. J. Taxonomy of blockchain technologies. principles of identification and classification. **arXiv preprint arXiv:1708.04872**, 2017.

THOMPSON, N. **Alfred Russell Wallace Contributions to the theory of Natural Selection, 1870, and Charles Darwin and Alfred Wallace,'On the Tendency of Species to form Varieties'(Papers presented to the Linnean Society 30th June 1858).** [S.l.]: Routledge, 2004.

UNIÃO, D. O. D. **LEI Nº 14.119, DE 13 DE JANEIRO DE 2021.** 2021.

VOIVODIC, M. de A. et al. **"Guia para a elaboração de projetos de carbono e de serviços ambientais"**. 1. ed. Piracicaba - SP: Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola, Biofílica Investimentos Ambientais, 2009.

WACKEROW, P. **WEB2 VS WEB3.** 2021. Disponível em: <<https://ethereum.org/pt-br/developers/docs/web2-vs-web>>.

WARMING, T. D. of G. **Introduction and Summary: A Hyperlinked History of Climate Change Science**. 2015. Disponível em: <<https://history.aip.org/climate/summary.htm>>.