

# Blockchain aplicado à rastreabilidade da cadeia produtiva do cacau da Amazônia

Rodrigo Augusto Girani Tejos <sup>1</sup>, Tereza Cristina Melo de Brito Carvalho <sup>1</sup>,  
Marcos Antonio Simplicio Júnior <sup>1</sup>, Bruno Justen Santos<sup>2</sup>, Ismael Nobre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais - Escola Politécnica –  
Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 380, travessa 4, 2o  
andar, Butantã, São Paulo - SP, 05508-020.

<sup>2</sup>Instituto Amazônia 4.0, Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos  
– SP, 12244-000

{rtejos, terezacarvalho, marcosimplicio} @usp.br; {bruno, nobreismael}  
@amazonia4.org

**Resumo.** *Muitos produtos amazônicos são transportados para grandes metrópoles brasileiras ou exportados, sendo comercializados in natura ou beneficiados, transformando-se em produtos com alto valor agregado. Entretanto não se tem a comprovação de que esses produtos sejam realmente originários da Amazônia ou se são produzidos segundo processos certificados. Esse artigo propõe uma solução que torna a cadeia produtiva do cacau rastreável, fazendo uso de tecnologias como Blockchain e IoT. O resultado deste trabalho é uma PoC (Proof of Concept), que demonstra a viabilidade técnica de se implementar a rastreabilidade digital na cadeia produtiva do cacau com possibilidade de extensão para outras cadeias da Amazônia.*

**Abstract.** *Many Amazonian products are transported to large Brazilian metropolises or exported, being marketed in natura or processed, turning into products with high added value. However, there is no proof that these products actually originate from the Amazon or that they are produced according to certified processes. This paper proposes a solution that made the cocoa production chain traceable, making use of technologies such as Blockchain and IoT. The result of this work is a PoC (Proof of Concept), which demonstrated the technical feasibility of implementing digital traceability in the cocoa to be extended to other productive chain in Amazon.*

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preservação e o desenvolvimento da Amazônia brasileira foram implementadas empregando-se duas políticas básicas. A primeira teve como foco a conservação da floresta, por meio da delimitação de áreas de proteção, incluindo unidades de conservação, bem como terras indígenas. Atualmente, 46% da Amazônia Legal está sob essa política de gestão, entretanto, eventos climáticos extremos, produção agrícola extensiva, e ações ilegais representam uma ameaça significativa a essas localidades. A segunda baseia-se no modelo de desenvolvimento extrativo com uso intensivo de recursos naturais, permitindo atividades como monoculturas e pecuária extensiva, mineração, extração de madeira e grandes hidroelétricas.

Até o momento, a busca de compatibilização entre essas duas estratégias para o desenvolvimento sustentável da Amazônia apresenta poucos resultados, em termos de redução das altas taxas de desmatamento. Compreendendo a complexidade atrelada à meta de desenvolvimento sustentável, propõe-se uma terceira via com a introdução do

conceito Amazônia 4.0, que busca alternativas e transformações socioeconômicas via utilização de tecnologias digitais vinculadas às atividades das comunidades da floresta, incluindo indígenas e população ribeirinha, com aumento de oportunidades econômicas por meio da criação de cadeias produtivas com valor agregado baseadas nos conceitos de indústria 4.0, com geração de negócios e renda de forma inclusiva e redução de desmatamento decorrente da valorização das espécies nativas para as comunidades da Amazônia brasileira. O aumento da renda das populações, que dependem da floresta, fortalece sua conexão com o território, ampliando a conservação da biodiversidade e reduzindo sua suscetibilidade ao desmatamento.

No contexto do projeto Amazônia 4.0, os produtos gerados nas cadeias produtivas amazônicas podem ser comercializados em outros estados brasileiros e fora do Brasil com origem garantida. Para se garantir a origem, faz-se, então necessário, realizar a rastreabilidade dos frutos Amazônicos até os produtos finais gerados em suas cadeias produtivas. Dentre as cadeias produtivas em desenvolvimento, destaca-se neste artigo a cadeia produtiva do cacau.

O objetivo deste artigo é apresentar a solução de rastreabilidade desenvolvida para cadeia produtiva de cacau da Amazônia e discutir os desafios de se garantir a origem de produtos, empregando-se para isso tecnologias digitais, com destaque ao *blockchain*.

Este artigo está organizado em 6 seções. Na primeira seção, é contextualizado o escopo do projeto, cujos resultados são mostrados neste artigo. São apresentados a motivação e o objetivo principal. Na segunda seção, são descritos os processos que constituem a cadeia produtiva do cacau. Na terceira seção, são apresentados trabalhos relacionados que empregam *blockchain* e IoT (Internet das Coisas) como tecnologias de base para rastreabilidade de cadeias produtivas. Na quarta seção, é descrita a arquitetura da solução proposta para a rastreabilidade da cadeia de cacau e mostrados aspectos de implementação, incluindo os módulos do sistema e suas interações. A quinta seção contém a descrição do cenário de teste utilizado e os resultados obtidos. Por último, a sexta seção traz as considerações finais, contendo uma análise dos principais resultados e proposta de trabalhos futuros.

## 2 CADEIA PRODUTIVA DO CACAU

A cadeia produtiva do agronegócio pode ser definida como todos os processos que ocorrem desde os insumos básicos, ou seja, a coleta da matéria prima até a transformação no produto final (por exemplo, barra de chocolate). Em outras palavras, são as etapas pela qual a matéria prima transita para se tornar o produto final [Totvs,2020].

De modo amplo, o processo produtivo do cacau possui as seguintes etapas de pré-processamento tendo início na colheita seletiva dos frutos maduros, seguindo para a separação dos frutos, quebra e retirada da polpa para seleção das amêndoas. [NOBRE et al.2019]

O pré-processamento envolve, então, as seguintes etapas:

- **Quebra da casca:** inclui a separação da parte interna do cacau da casca, normalmente feita no próprio local de colheita
- **Fermentação:** Para dar aroma e sabor ao cacau, e, também, eliminar parte dos germes e microorganismos indesejáveis, as amêndoas de cacau precisam passar por um processo de fermentação natural antes de serem secas. Normalmente, a fermentação é feita em tonéis próximos aos locais de colheita, pois o processo

precisa ser iniciado rapidamente após a quebra das cascas. Esse processo pode durar até 7 dias no caso de fermentação comum.

- **Secagem das amêndoas:** Após a fermentação, as amêndoas precisam ser secas. Isso pode ser feito sob o sol ou em estufas. Deve ser realizado quando as amêndoas apresentam umidade variando entre 40% e 50%. Depois da secagem, as amêndoas devem ter da ordem de 6% de umidade.

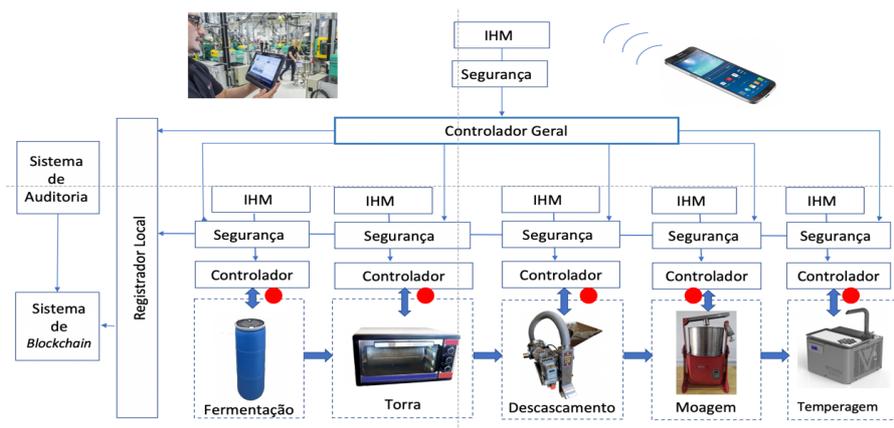
Após o pré-processamento, seguem-se as seguintes etapas de processamento:

- **Torrefação:** Esta etapa é muito parecida com a torra de café, sendo uma parte importante das receitas de chocolate. Tipos diferentes de chocolate são feitos utilizando curvas de torra diferentes. O tempo máximo de torra é da ordem de 1h. A curva de temperatura ao longo do tempo de torra normalmente não passa de 110°C para um cacau fino. Ao final do processo, a umidade das amêndoas deve estar abaixo de 2%, de preferência 0,5% a 0,8%
- **Descascamento:** Cada amêndoa tem a casca e a parte interna, que se chama *nibs*. Para fazer o chocolate, é necessário separar o *nibs* da casca. Os *nibs* são encaminhados para moagem e vão ser utilizados para produzir o chocolate, enquanto a casca pode ser empregada para outros fins, como a produção de chás.
- **Moagem:** Os *nibs* que saem do descascamento podem ser muito grandes para irem direto para o *mélanger*<sup>1</sup>, então é preciso que sejam moídos em um processador ou liquidificador. Depois disso, vão para *Mélanger*, onde são passados por um processo de refinamento, que dura entre 18h e 72h. Durante esse processo, podem ser acrescentados manteiga de cacau, leite em pó, açúcar entre outros insumos. Obtém-se a massa de cacau.
- **Temperagem:** visa uniformizar a cristalização da manteiga de cacau presente no chocolate. Finalizada a temperagem, o chocolate vai direto para as formas.

Cada um desses processos (fermentação, torrefação, descascamento, moagem e temperagem) tem parâmetros próprios de operação. Informações relevantes desses processos são coletadas e armazenadas na *blockchain*. A Figura 1 mostra a visão geral sobre o Sistema de Automação da Cadeia Produtiva do Cacau, incluindo fermentação (pré-processamento) e demais processos da etapa de processamento. Vale observar que cada processo tem um controlador, que exerce a função de coleta de dados e de atuação sobre o processo. Parte desses dados são passados para o módulo do “sistema de *blockchain*” via gerenciador local. O operador do sistema pode atuar em cada processo individualmente ou no sistema como um todo via IHM (Interface Homem Máquina). Para tanto, o operador deve ter as credenciais adequadas, o que é verificado pelo módulo de segurança. Para auxiliar na identificação de cada material pelo operador, os materiais vêm com um QR code na embalagem que contém a identificação desse material.

---

<sup>1</sup> *mélanger*: tem função de moer os *nibs* triturados



Legenda - Pontos em vermelho representam pontos de coleta de dados

**Figura 1. Visão geral sobre Sistema de Automação da Cadeia Produtiva do Cacau**

### 3 RASTREABILIDADE E TRABALHOS RELACIONADOS

Nos últimos anos, a rastreabilidade de alimentos têm se tornado consideravelmente importante, mas não há um consenso sobre o significado de "rastreabilidade", existindo várias definições conflitantes. Na virada do século, houveram vários problemas e escândalos envolvendo os alimentos, tais como: Bovine Spongiform Encephalopathy (BSE, ou Doença da vaca louca) [Wales, Harvey, & Warde, 2006], o recall massivo de comidas em Hudson Estado Unidos em 1997 [USDA, 1997], e a contaminação por Dioxina na alimentação das galinhas na Bélgica em 1999 [Bernard et al., 2002], para mencionar alguns [OLSEN, 2013].

#### 3.1 CONCEITUAÇÃO SOBRE RASTREABILIDADE

Uma definição de rastreabilidade dentre as várias existentes vem do International Standardization Organization (ISO) 8402 (ISO, 1994), onde rastreabilidade é definida como: “A capacidade de rastrear o histórico, a aplicação ou a localização de uma entidade por meio de identificações registradas.”

Logo, a rastreabilidade traz alguns benefícios, como por exemplo, o acesso a informações mais precisas e rápidas, pois a cada estágio os dados são enviados para o sistema de rastreabilidade e também há redução dos custos e troca de informações entre os parceiros de negócios. [OLSEN,2013]

Disponibilizar um mecanismo pelo qual o consumidor final possa rastrear informações do produto, como por exemplo, local de origem do cacau, umidade pré-secagem (interfere na qualidade do produto final), e outros dados da cadeia produtiva do chocolate, faz com que ele tenha maior segurança e certeza de que o produto que está consumindo tem origem em locais confiáveis, e que o processo de fabricação condiz com o que ele está comprando (sabor, valor econômico etc.).

Muitas das características do chocolate, como sabor e valor econômico, dependem da sua origem [D.Bertoldi, ET AL., 2016]. Assim, comprovar sua origem e também as informações do processo produtivo do chocolate é tido como importante para os consumidores que se preocupam com a segurança dos alimentos e valorizam sua origem [A.Zhang,ET AL.,2020].

Um sistema de rastreabilidade permite, então, ao consumidor final avaliar e se certificar de que o que está comprando é confiável, apresentando-se como uma solução viável e desejada pelos clientes.

### 3.2 ESTADO DA ARTE E TRABALHO RELACIONADOS

J.Sunny et al. (2020) tiveram como principal objetivo apresentar uma visão geral de vários sistemas de rastreabilidade baseados na tecnologia da *blockchain* encontrados na literatura. Inicialmente, o trabalho fornece visões das possibilidades de um sistema de rastreabilidade com *blockchain* ser transparente para cadeias de suprimentos. Foi, também, analisado se soluções de rastreabilidade baseadas na *blockchain* afetam a visibilidade de vários projetos nas redes de distribuição da cadeia de suprimentos, e mostrado como a IoT e *smart contracts* aumentam as oportunidades da aplicação do *blockchain*. Para mostrar como a *blockchain* aumenta a transparência da cadeia de suprimentos, os autores desenvolveram uma PoC (Prova de Conceito).

Os autores [F.Tian, et al, 2016] fazem uso da *blockchain* e do RFID para auxiliar o mercado chinês na segurança e qualidade dos alimentos após os episódios de adulterações nos alimentos, conhecidos como “Sudan red”, “clenbuterol”, “Sanlu toxic milk powder” e “trench oil” [J. Xiao et al, 2012].

Os autores(MENDONÇA, et al, 2020) propuseram uma arquitetura modular baseada em *blockchain* para a rastreabilidade da cadeia produtiva do leite. Foi utilizado a *blockchain* como elo de ligação entre os módulos do sistema, o que segundo os autores se torna uma simples adição de novos componentes dentro da arquitetura proposta, minimizando, assim, impactos no serviço.

O trabalho de MONTEIRO, et al, 2021, apresenta um modelo MRPA (Modelo de Rastreabilidade Pervasiva de Agroquímicos) para a rastreabilidade de defensivos agrícolas juntamente com sensores da IoT, aprendizado de máquina, redes de névoa (fog), identificação por RFID e *blockchain*. Segundo eles, o diferencial do trabalho é que o modelo foi desenvolvido modularmente, dando segurança e confiabilidade aos processos e contribuindo para oferecer uma solução que envolve questões de preservação ambiental e da saúde das pessoas.

Os trabalhos apresentados utilizam a *blockchain* para implementar um sistema de rastreabilidade das cadeias tanto do leite ou de alimentos em geral como também de ativos agrícolas. Utilizam dispositivos de IoT para complementar esse sistema, pois a modularização da *blockchain* permite que ele seja mais simples de se acoplar a cadeias existentes. Tais trabalhos suportam mecanismos de segurança e confiabilidade, que os tornam mais robustos.

## 4 Descrição do Sistema de Rastreabilidade

Esta seção descreve o sistema de rastreabilidade desenvolvido para a cadeia produtiva do cacau no contexto do projeto Amazônia 4.0. Para definir a arquitetura de implementação considerou-se a especificação dos requisitos e a visão geral do Sistema de Automação da Cadeia Produtiva do Cacau.

### 4.1 Especificação de Requisitos

Os principais requisitos do Sistema de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Cacau:

- **Rastreabilidade:** Ao final do processo de fabricação do chocolate, o usuário do sistema deve estar apto a verificar a origem do cacau e obter os principais dados sobre a produção do chocolate de forma clara e intuitiva.

	Objetivo principal	Semelhança entre os trabalhos	diferenças entre os trabalhos
J.Sunny et al. (2020)	Teve o objetivo de fazer a comparação entre tecnologias de <i>blockchain</i> .	O trabalho do J.Sunny fez o uso do <i>HyperLedger Fabric</i> o mesmo utilizado pelo presente trabalho.	O presente trabalho não tem o objetivo de fazer uma comparação entre tecnologias de <i>blockchain</i> .
F.Tian, et al, 2016	Fez o uso do <i>blockchain</i> juntamente do RFID para melhorar a segurança e qualidade dos alimentos.	Tanto o trabalho de F. Tian como o presente trabalho fazem com que os processos pelo qual o produto final passou sejam de livre conhecimento e auditável.	O presente trabalho não fez a utilização de RFID.
MENDONÇA, et al, 2020	Utilizou a tecnologia <i>blockchain</i> para prover a rastreabilidade da cadeia produtiva do leite.	Ambos os trabalhos fazem o uso do <i>blockchain</i> para promover a rastreabilidade de cadeias produtivas.	O objetivo do presente trabalho é a auditabilidade da cadeia produtiva mas não um requisito principal a sua modularização.
MONTEIRO, et al, 2021	Foi utilizado sensores da IoT, aprendizado de máquina, redes de névoa (fog), identificação por RFID e <i>blockchain</i> . Para trazer a segurança e confiabilidade aos processos para rastreabilidade de defensivos agrícolas.	O presente trabalho como o de Monteiro fazem o uso dos dispositivos de IoT para a obtenção de dados dos processos de forma autônoma e assim diminuindo o erro humano.	O presente trabalho não faz o uso de tecnologias como o RFID e Aprendizado de máquina (ML) mas o ml pode ser cogitado para o uso em trabalhos futuros.

**Tabela 01 - Comparativo entre os trabalhos relacionados e este trabalho**

- **Coleta de dados:** O sistema deve estar apto a coletar as principais informações de pré-processamento e processamento do cacau.
- **Auditabilidade:** As informações sobre a produção de chocolate já realizada parcialmente ou totalmente não podem ser alteradas. Caso ocorra alguma alteração, isso deve ser passível de auditoria.
- **Inconsistência de dados:** Caso algum dado coletado para ser incorporado pelo sistema de rastreabilidade esteja fora dos padrões, o sistema deve sinalizar essa inconsistência.
- **Disponibilidade:** Os dados da rastreabilidade quando solicitados devem estar prontamente disponíveis.
- **Continuidade do serviço de rastreabilidade:** Na região da Amazônia, existem restrições de conectividade. Assim, o serviço de rastreabilidade deve ser garantido mesmo com a falta de conectividade.

## 4.2 Arquitetura da Implementação

Nessa seção será mostrada a arquitetura que foi implementada para o sistema e que deve satisfazer os requisitos funcionais deste projeto.

### 4.2.1 Descrição da Arquitetura

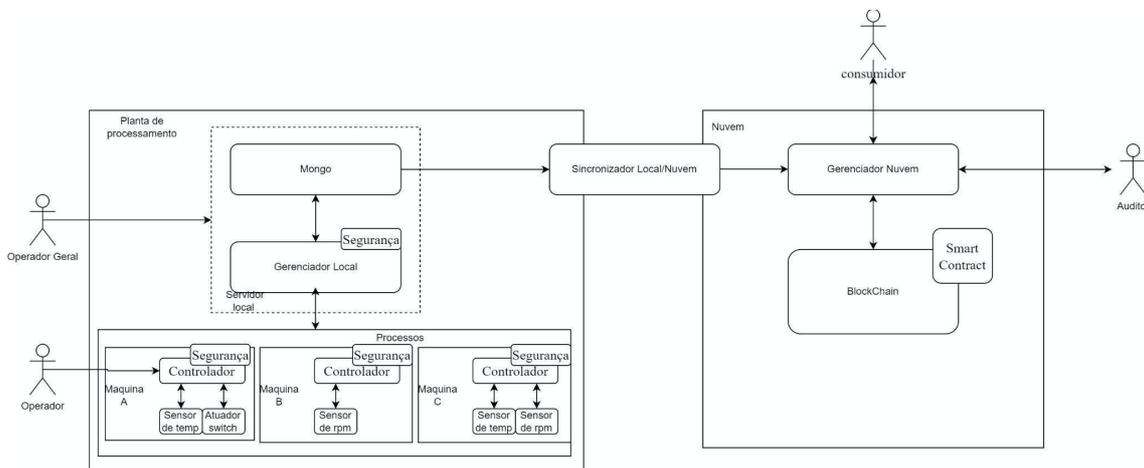
A arquitetura proposta é dividida em dois subsistemas. O primeiro é denominado de Planta local e o segundo de Sistema de Nuvem. O primeiro corresponde ao local de processamento do cacau e sua cadeia produtiva. O segundo está localizado em algum serviço de nuvem pública e armazena a cadeia de *blockchain* referente à produção de chocolate realizada na planta local. O acesso aos dados da *blockchain* pode ser feito por pessoas autorizadas, como o usuário que queira obter informações sobre uma produção de chocolate ou um auditor que queira certificar a origem de produtos dessa cadeia.

A Figura 2 mostra a Arquitetura de Implementação do Sistema de Rastreabilidade para cadeia produtiva do cacau. Esta arquitetura é composta dos seguintes sistemas:

- **Sistema de Nuvem:** No serviço de Nuvem, ficam residentes:
  - Sistema de *Blockchain - HyperLedger Fabric*: armazena os dados que vieram do sincronizador após a finalização de cada processo. Antes de entrar na *blockchain* os dados são verificados pelo o *smart contract*.

- **Smart Contract:** O *smart contract* faz parte da *blockchain* e permite que dados “corretos” entrem na cadeia da *blockchain*, ou seja, verifica se a regra de negócio definida no sistema está sendo seguida. Como exemplo, pode-se citar: um subproduto da descascadora é a *nibs* (amêndoa do cacau descascada) e a máquina que fez o processo tem uma relação de saída/entrada igual 95% de *nibs* e 5% de casca. Caso o *smart contract* verifique que o resultado está fora deste valor, considerando um desvio padrão, ele sinaliza como um possível dado adulterado.
- **Gerenciador da nuvem:** O gerenciador tem o papel de obter os dados da cadeia, tanto para o usuário final consultar todo o processo, como para um auditor que deseja verificar se os processos estão em conformidade com as regras vigentes.
- **Planta Local:** compreende a obtenção dos dados de cada processo que compõem a cadeia produtiva do cacau da Amazônia. Esses dados de cada processo finalizado são enviados para o Sistema de *Blockchain*.
  - **Servidor local:** é composto pelo *software* de gerenciamento (gerenciador local) e pelo banco de dados (Mongo). Vale observar que, como não existe disponibilidade de conexão permanente entre a Planta local e o Sistema de Nuvem (restrições de conectividade da região Amazônica), é necessário ter um serviço de armazenamento temporário.
    - **Mongoddb:** banco de dados para uso do gerenciador local
    - **Gerenciador local:** O gerenciador local tem o objetivo de preparar os dados que serão enviados para a nuvem, bem como permitir que os usuários interajam com o sistema.
    - **Segurança:** Cada usuário deve ser autenticado para que assim se possa acessar o sistema. O servidor local utiliza a autenticação M2M (Machine to Machine) para se comunicar com outros sistemas como o sincronizador local.
- **Processos:** corresponde a cada um dos processos da cadeia produtiva do cacau, incluindo: fermentação, torrefação, descascamento, moagem e temperagem, conforme mostrado na Figura 1. Essa cadeia tem como entrada as amêndoas de cacau úmidas retiradas do fruto e como saída as barras de chocolate.
- **Máquina:** Cada processo envolve uma ou mais máquinas. Assim, por exemplo, o processo de descascamento inclui uma balança para pesagem das amêndoas secas, uma descascadora, uma balança para pesagem dos *nibs* e das cascas separadamente. Cada máquina está associada a um controlador e um conjunto de sensores e atuadores:
  - **Segurança:** Cada usuário deve ser autenticado para que possa iniciar o processo. Alguns dados dos usuários, como seu nome e número de identificação, são enviados também para o sistema de rastreabilidade. As máquinas são autenticadas com o sistema por M2M, para que somente máquinas válidas possam realizar ações no sistema, tais como, iniciar processos, enviar e ler dados.
  - **Controlador:** recebe os dados gerados pelos sensores e envia comandos para os atuadores. Como exemplo, envia um comando de acionamento da descascadeira e obtém os dados de operação da máquina (temperatura, duração do descascamento). Após a finalização da operação da máquina, os dados são enviados para o Gerenciador local.

- **Sensores e Atuadores:** Para o envio de comandos e a obtenção de dados de cada máquina do processo produtivo da cadeia do cacau, de forma semi autônoma, são utilizados dispositivos de IoT. No caso, por exemplo, da máquina descascadora, é enviado um comando de acionamento da máquina e são coletados dados referentes ao horário de início do processo de descascamento das amêndoas de cacau, a temperatura da máquina durante o processo de descascamento, a identificação do lote de amêndoas de entrada, dentre outros.
- **Sincronizador:** O sincronizador tem como função ler os dados que estão na tabela temporária do mongo e enviá-los para o sistema de *Blockchain*, residente no Sistema de Nuvem. Caso tenha sucesso, esses dados são apagados da base de dados local (mongo), e, em caso negativo, esses dados são mantidos na tabela e ficam à espera de uma nova tentativa de envio. O processo repete-se até que o processamento seja executado com sucesso e os dados sejam apagados. Isso faz-se necessário pelo ambiente com pouca conectividade da Amazônia.



**Figura 2 - Arquitetura de Implementação do Sistema de Rastreabilidade**

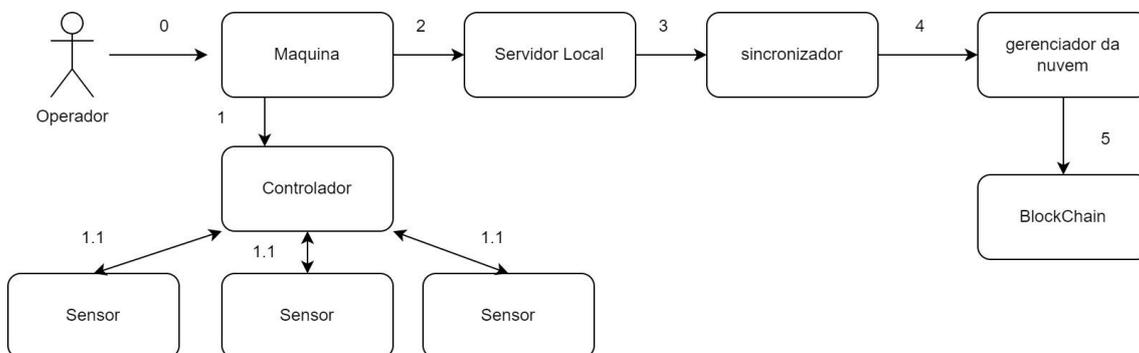
#### 4.2.2 Inserção dos Dados da Cadeia Produtiva na *Blockchain*

A Figura 3 contém o diagrama da coleta dos dados da cadeia produtiva do cacau e sua inserção no Sistema de *Blockchain*.

O operador inicia o processo via interface homem máquina (IHM) da máquina que será utilizada:

1. Ao iniciar o processo, o controlador aciona a máquina e inicia a obtenção dos dados dos seus sensores.
  - 1.1 Os sensores começam a obter os dados, tais como horário de início da operação e temperatura da máquina.
2. Quando a máquina finaliza a operação, o controlador envia uma mensagem de "fim do processo" para o operador via a IHM e envia os dados coletados para o servidor local.
3. O servidor local recebe esses dados e os armazena localmente. Feito isso, envia os dados ao sincronizador.
4. O sincronizador tenta fazer o envio até conseguir para o gerenciador da nuvem.

Os dados ao chegarem no gerenciador da nuvem são avaliados, verificando-se se estão no padrão do processo, pelo smart contract. Havendo algum dado, que não esteja de acordo com os valores padrões, é então inserida uma informação sobre tais dados no sistema de rastreabilidade. Os dados que não estão fora do padrão são inseridos automaticamente sem alteração.



**Figura 3 - Diagrama de inserção dos dados**

### 4.2.3 Rastreabilidade da Cadeia

A figura 4 mostra como o sistema de rastreabilidade é usado para certificar a origem do chocolate e obter informações sobre a sua produção.

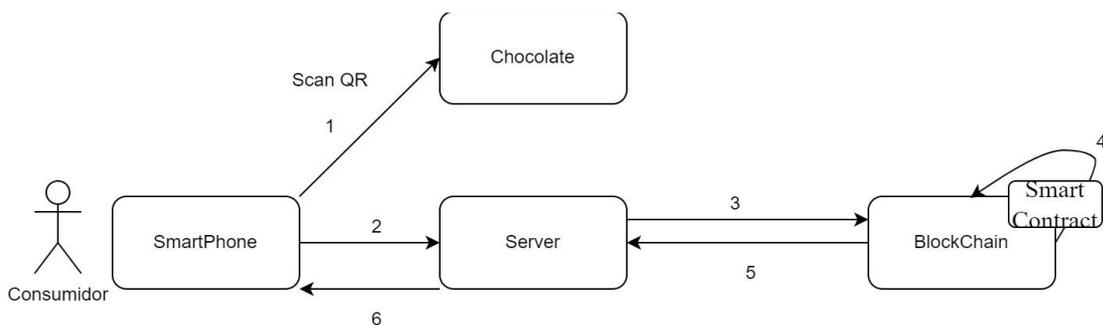
1. O consumidor que deseja verificar o processo pelo qual o produto que deseja adquirir passou, aponta a câmera do seu *smartphone* para ler o QR code que está na embalagem do produto.

2. O QR code tem um *link* para uma página *web* que também contém os dados do produto (ID). O servidor no qual a página *web* encontra-se hospedada entende a requisição.

3, 4 e 5. Nesse ponto, o servidor entende qual o id que se deve verificar e solicita seus dados ao sistema de rastreabilidade (3), que então procura os dados referentes aos processos pelo qual o produto passou (4) e os retorna para o servidor (5);

6. O servidor de posse dos dados obtidos na etapa anterior, “devolve-os” para a página *web* mostrada na tela do *smartphone* do consumidor.

Obs: O sistema comporta-se de forma muito parecida para o auditor e consumidor. A diferença é que são solicitadas credenciais ao auditor para ele entrar no sistema e são mostradas informações mais detalhadas para um auditor do que para os consumidores. Isso acontece pois nem todos os dados apresentados para um auditor são pertinentes ao consumidor.



**Figura 4. Diagrama de rastreabilidade**

## 5 Avaliação da Solução Proposta

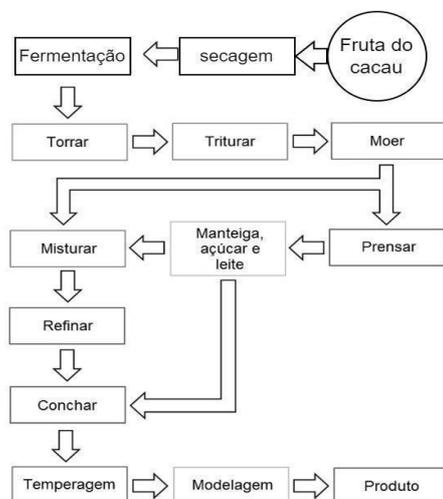
A cadeia produtiva do cacau está em fase de automatização, por esse motivo não foi possível rodar o sistema dentro do ambiente real. Os testes foram feitos empregando-se as saídas das máquinas reais operando isoladamente, que foram inseridos, de forma manual, no sistema de rastreabilidade.

### 5.1 Descrição do Ambiente de Teste

O ambiente cria uma imagem digital da cadeia produtiva do chocolate, inserindo a entrada e saída de cada máquina do processo, conforme acontece no sistema real. Para isso, os dados foram previamente criados para se assemelharem ao máximo com os que serão gerados quando o sistema estiver automatizado. Para tanto foram coletados dados de cada máquina, de forma manual, com auxílio de sensores como a temperatura de funcionamento da máquina, os rpm de um motor, entre outros.

A figura 5 mostra as fases de pré-processamento e processamento da cadeia produtiva do cacau.

Os processos que estão no ambiente de teste são os mesmos que compõem a cadeia produtiva do cacau e são mostrados de forma visual na figura 5. Pode-se perceber que os processos nem sempre seguem um formato linear, onde cada saída é uma entrada para o próximo. No caso do processo de moagem, por exemplo, as suas saídas vão para o próximo processo do chocolate “mistura” como também para o processo de confecção da manteiga de cacau que também tem uma saída para outros dois processos.



**Figura 5. Fase de pré-processamento e processamento cadeia produtiva do cacau**

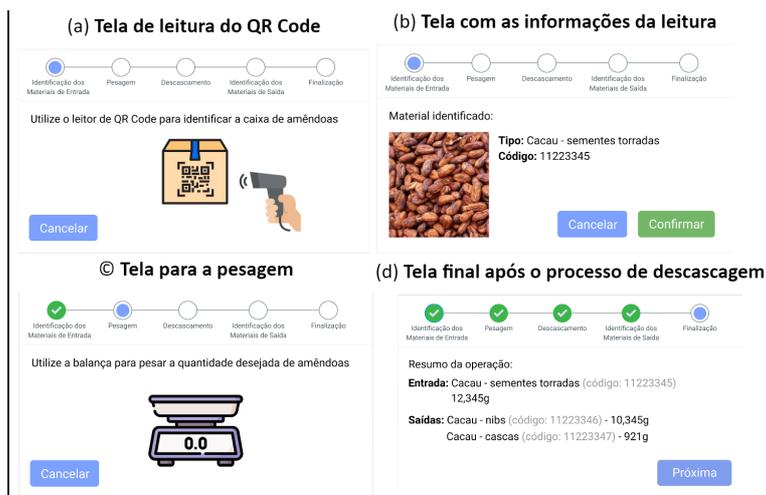
### 5.2 Interface com Usuário

Para que o operador tenha acesso à máquina e possa iniciar um processo, foi desenvolvida uma interface homem máquina (IHM) para cada máquina. Para fins de ilustração, é mostrada na figura 6 a IHM do processo de descascamento da amêndoa de cacau. Os dados de saída desse processo são os mesmos do processo real.

Na figura 6, pode-se observar:

- Interface do sistema para realizar a leitura/identificação dos dados do material de entrada (e.g, amêndoas de cacau).

- b) Apresentação dos dados identificados por meio da leitura do QR code. Nessa tela após o operador fazer a leitura do QR code, os dados do material são mostrados na tela.
- c) Interface referente à leitura do peso do material de entrada. A imagem mostra uma parte do processo da descascagem que é a pesagem dos materiais de saída do processo.
- d) Interface com a resumo dos dados, contendo dados de entrada (e.g, peso das amêndoas de cacau) e saída (peso das *nibs* e das cascas das amêndoas de cacau). Essas informações serão enviadas para o sistema de *Blockchain*.



**Figura 6. Telas do Sistema**

O operador coloca as amêndoas para pesar manualmente e o sistema obtém o valor do peso automaticamente. Isso pode ocasionar erros, pois o operador pode indevidamente colocar algo a mais e assim alterar o peso. Esse tipo de problema pode ser mitigado, colocando-se câmeras que fariam a validação com uso de IA para verificar se o que está sendo colocado é correto. Esse trabalho não tratou deste problema, que ficará para uma fase posterior do projeto.

### 5.3 Resultados da Prova de Conceito

Após a finalização dos testes foi verificada a rastreabilidade da cadeia produtiva do chocolate e se os dados inseridos mostram todos os processos pelo qual o chocolate passou tomando por base a figura 5.

Primeiramente foi acessado o sistema de rastreabilidade. A sua tela inicial é mostrada na figura 7, onde é informado qual o código do produto final (Na sua versão final, essa tela irá ler um QR code para a facilidade de busca). Foi digitado o identificador do produto final e, após isso, o sistema buscou os dados no Sistema de *blockchain*.

Como resultado, o sistema retornou os processos pelos quais o produto final passou, conforme mostrado na tela da figura 7. No canto superior esquerdo tem-se as informações sobre o produto final, incluindo o peso, a porcentagem do cacau e seu identificador (o mesmo usado no passo anterior). Logo abaixo tem-se a sequência dos processos pelos quais o chocolate passou. Essa sequência é dividida em blocos que representam cada processo linear e contêm as informações do próprio processo. No caso, por exemplo do processo de mistura, tem-se as datas e horários de início e fim do processo, a identificação do operador responsável pelo processo e os insumos de entrada.

Os insumos de entrada desse processo são a saída do processo de moagem e do processo de criação da manteiga de cacau.

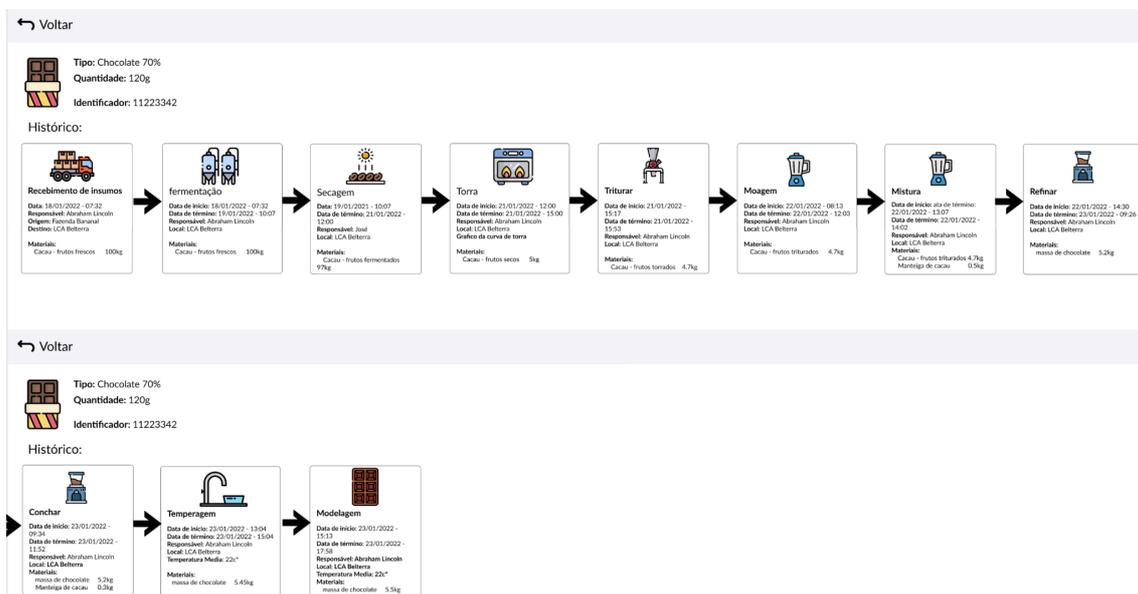


Figura 7. Tela de rastreabilidade do chocolate

Fez-se então uma comparação entre os dados mostrados pela figura 7 e a cadeia produtiva do cacau ilustrada na figura 5. Constatou-se que os processos pelos quais o produto final passou são os mesmos que estão descritos. Vale lembrar que a figura 7 mostra de forma linear a cadeia e não é mostrado o processo “prensar” e “manteiga, açúcar e leite”. A geração da manteiga de cacau pode ser visualizada quando inserido a identificação desse subproduto no sistema como mostrado na figura 8.



Figura 8. Tela da rastreabilidade da manteiga de cacau

## 6 Considerações Finais

Nesta seção são apresentadas as principais contribuições deste trabalho e suas próximas etapas.

### 6.1 Principais Contribuições

As principais contribuições deste trabalho referem-se à criação de um sistema de rastreabilidade, que armazena informações sobre os processos de uma cadeia produtiva, incluindo parâmetros de operação das máquinas empregadas e dados de entrada/saída de cada processo. Esse sistema de rastreabilidade foi incluído no escopo da cadeia produtiva

de cacau do projeto Amazônia 4.0, mas sua solução pode ser empregada em qualquer cadeia produtiva que faça uso de máquinas de produção gerenciáveis.

Esse sistema de rastreabilidade pode ser empregado por um consumidor de chocolate, que queira obter mais informações sobre a origem do cacau que está consumindo, bem como características dos processos produtivos pelo qual passou e ingredientes adicionados. Da mesma forma, esse sistema pode ser usado para fins de auditoria. Isso dá maior confiabilidade para o produtor, criando oportunidades de mercado antes impensáveis.

## 6.2 Próximas Etapas

À medida que a cadeia produtiva do cacau for sendo automatizada, será possível estender a PoC (*Proof of Concept*) para uma cadeia em produção real, realizando eventuais ajustes no sistema de rastreabilidade. Além disso, pretende-se aplicar essa mesma solução para outros produtos amazônicos.

A solução proposta será implantada em sites da Amazônia, que se caracterizam pela baixa conectividade com a Internet e instabilidade do fornecimento de energia elétrica. Acredita-se que, então, que tais desafios de campo tenham outros impactos na solução proposta.

## Agradecimentos

Este trabalho foi em parte financiado pelo CNPq (bolsa de produtividade 304643/2020-3), pela Ripple por meio da University Blockchain Research Initiative, pela GEF (Good Energies Foundation) Grant GR-074840, pelo BID Lab Grant ATN/ME – 18275 – BR e pela FAPESP 2018/23097-3.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.Zhang, Aditi Mankad, and Anoma Ariyawardana. Establishing confidence in food safety: is traceability a solution in consumers' eyes? *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 15(2):99–107, Jun 2020.
- BERNARD, Alfred et al. The Belgian PCB/dioxin incident: analysis of the food chain contamination and health risk evaluation. *Environmental Research*, v. 88, n. 1, p. 1-18, 2002.
- D.Bertoldi, Alice Barbero, Federica Camin, Augusta Caligiani, and Roberto Larcher. Multielemental fingerprinting and geographic traceability of theobroma cacao beans and cocoa products. *Food Control*, 65:46–53, 2016.
- F.Tian, "An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology," 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), Kunming, China, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICSSSM.2016.7538424.
- J.Sunny, Naveen Undralla, V. Madhusudanan Pillai, "Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration", *Computers & Industrial Engineering*, Volume 150, 2020, 106895, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106895>.
- I.NOBRE, A.MARGIT, C.A. NOBRE, M.KOCH-WESER, A. VERÍSSIMO. Laboratório criativo da amazônia cupuaçu cacau, abril 2019

MENDONÇA, Ronan Dutra; GOMES, Otávio Santos; PEREIRA, Pollyanna Cardoso; VIEIRA, Alex Borges; NACIF, José Augusto. Utilização de Blockchain na Rastreabilidade da Cadeia Produtiva do Leite. In: WORKSHOP EM BLOCKCHAIN: TEORIA, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES (WBLOCKCHAIN), 3. , 2020, Rio de Janeiro. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020 . p. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.5753/wblockchain.2020.12433>.

MONTEIRO, Emiliano S.; MIGNONI, Maria Eloisa; RIGHI, Rodrigo R.; COSTA, Cristiano A. da; KUNST, Rafael; ALBERTI, Antônio. Combinando Internet das Coisas, Inteligência Artificial e Blockchain para Monitorar a Cadeia de Agroquímicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO UBÍQUA E PERVASIVA (SBCUP), 13. , 2021, Evento Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021 . p. 61-70. ISSN 2595-6183. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbcup.2021.16004>.

O que são cadeias produtivas do agronegócio? totvs, cidade de publicação, 30 março, 2020. GESTÃO AGRÍCOLA . Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-agricola/cadeias-produtivas-do-agronegocio/>. Acesso em: 29, 05 de 2021.

OLSEN, Petter; BORIT, Melania. How to define traceability. Trends in food science & technology, v. 29, n. 2, p. 142-150, 2013.

Supply Chain: O que é, como funciona e dicas, totvs, cidade de publicação, 18 JANEIRO, 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/supply-chain/> Acesso em: 05, 11 de 2021.

USDA, OIG; MANUAL, Poultry Inspection. Food Safety and Inspection Service. Imported Meat and Poultry Reinspection Process, Phase II, February, 2003.

WALES, Corinne; HARVEY, Mark; WARDE, Alan. Recuperating from BSE: The shifting UK institutional basis for trust in food. Appetite, v. 47, n. 2, p. 187-195, 2006.